

CIBIA VI

VI Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos

Contenido

Editorial. Luis Amoroso Mora. 1

Presentación. Juan de Dios Alvarado. 3

CONFERENCIAS

PROCESOS

Food Engineering applied to accommodate food regulations, quality and testing. Charm, Stanley. USA. 5

Hydrophobically modified potato starch. A rheological study. Ortega-Ojeda, Fernando E.; Larsson, Helena and Eliasson, Ann-Charlotte. Ecuador-Suecia. 9

Estabilización y desestabilización de emulsiones en la industria alimentaria. Zaritzky, Noemí. Argentina. 13

Trends in food deep-fat frying. Bouchon, Pedro. Chile 16

Fluidized bed dehydration in a jet-zone drier and modeling dehydration rates using Diffusional and Luikov models. Toledo, Romeo T. Cinar, Inci and Amorsin, Aswin. USA. 19

Diseñando alimentos para la salud, bienestar y gastronomía. Aguilera, José Miguel. Chile. 20

TECNOLOGÍA

The role of alternative processing technologies in quality improvement of shelf-stable foods. Heldman, Dennis. USA. 21

Role of heat transfer and fluid dynamics in designing packages for horticultural products. Singh, Paul. USA. 24

Películas comestibles: Principales resultados del Proyecto XI.20 del CYTED. Sobral, Paulo. Brasil. 29

Tecnología de membranas en la industria alimentaria. Ruales, Jenny. Ecuador. 32

Aplicación de ultrasonidos de alta intensidad en el secado convectivo de alimentos. Mulet, Antonio. García-Pérez, J. V., Cárcel, J. A. y Riera, E. España. 34

Validación del proceso de tostado de castaña de marañón por calor seco. Massaguer, P.R y Rodrigues Jr, S. Brasil. 39

Living food: Knowledge base and technology. Gómez, Federico. Ecuador. 44

Alimentos de interés social en base a granos. Armada, Margarita. Argentina. 48

Construcción de micro y nano-estructuras: Una posibilidad para conservación de alimentos. Gutiérrez-López, Gustavo. México. 54

PROPIEDADES

Fast determination of the molar mass and root-mean-square radius of starch from different botanical origin by asymmetrical flow field-flow fractionation and multiangle light scattering. Leeman Mats, Santacruz Stalin *, Wahlund Karl-Gustav. Ecuador. 64

Evolución y perspectivas de la investigación en el estudio de las propiedades fisicoquímicas, estabilidad microbiológica y enzimática de cremogenados de frutas tropicales. Salamanca Grosso, Guillermo. Colombia. 67

Avances en la medida de la textura por métodos físicos. Durán, Luis y Costell, Elvira. España. 73

Caracterización fisicoquimica del primer almidon natural de yuca ceroso (libre de amilosa) descubierto en CIAT. Sánchez Teresa, Dufour Dominique, Morante Nelson, Ceballos Hernán. Colombia. 75

EDUCACIÓN

Formación del profesional de ingeniería basado en competencia. Matos, Alfredo. Perú. 78

La enseñanza por Competencias en la Universidad Técnica de Ambato. Naranjo, Galo. Ecuador. 82

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN ACEPTADOS EN CIBIA VI

P1. PROCESOS PARA EL DISEÑO DE ALIMENTOS

Utilización de tecnología de membranas para la obtención de jugo clarificado concentrado de mora *(Rubus glaucus)*. Marcillo, V.; Cruz, A.P.G.; Cabral, L.M.C.; Matta, V.M.; Vera, E.; Ruales, J. (MarcilloP1Ecuador). 89

Valoración metodológica para el estudio de mezclas ternarias en sistemas alimentarios. Álvarez Laverde, Héctor Rene y Salamanca Grosso, Guillermo. (ÁlvarezP1Colombia-España). 92

Contribución a la optimización de una operación de liquefacción mediante diseño central compuesto y aproximación por regresion Ridge. Rodríguez Arias Nelson; Salamanca Grosso Guillermo. (RodriguezP1Colombia). 97

Desarrollo de un cremogenado lácteo a base de mango (*Mangifera indica L.*) a través de diseño experimental de mezclas. Salamanca Grosso, Guillermo; Reyes Méndez, Laura María; Rocha Parra, Diego Fernando; Rodríguez Barragán, Oscar Alberto; Osorio Mónica, Patricia; Rocha Parra, Andrés Felipe. (SalamancaP1Colombia). 100

Conservación de oleorresina de pimiento rojo utilizando un material de pared nanoestructurado. Pascual-Pineda Luz Alicia, Azuara-Nieto Ebner, Alamilla-Beltrán Liliana, Chanona-López, José Jorge, Gutiérrez-López Gustavo Fidel y Flores-Andrade Enrique. (PascualP1México). 104

Control de la estabilidad de polvos sacarosa-calcio mediante la nanoestructuración con etanol criogénico. Flores-Andrade Enrique, Azuara-Nieto Ebner, Gutiérrez-López Gustavo Fidel, Alamilla-Beltrán Liliana, Chanona-Pérez José Jorge y Pascual-Pineda Luz Alicia. (FloresP1México). 107

Proceso de producción y caracterización de harina de lombriz (*Eisenia foetida*) para nutrición animal. Echeverry, Sandra; Ortega, Eduar. (EcheverryP1Colombia). 110

Desarrollo de un confite con características funcionales para niños, empleando biomasa liofilizada de *Spirulina platenses*. Vélez, O. F.; Sotelo, I.; González-Mariño G. (VélezP1Colombia). 114

Efecto de la temperatura en la aparición de defectos en aperitivos coextrusionados. Valverde M., Capilla V., García P., García-Reverter J., Mulet A. (ValverdeP1España). 117

Estabilidad del sabor y del aroma de la cebolla junca *Allium fistulosum, L* en la elaboración industrial de pasta para condimentar. Rueda, Bibiana; Malagón, César; Prieto, Lena. (RuedaP1Colombia). 120

P2. PROCESOS DE SEPARACIÓN MECÁNICA, REOLOGÍA Y TRANSPORTE.

Cambios reológicos durante el proceso de elaboración de yogurt de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet). Segovia, Gabriela; Villacrés, Elena; Paredes, Mario. (SegoviaP2Ecuador). 123

Uso de enzimas para mejorar las propiedades reológicas de la gelatina. Serna-Cock, Liliana; Pineda Cuervo, Darío y Ayala Aponte, Alfredo. (SemaP2Colombia). 127

Efecto de la fibra en las características reológicas de una mayonesa. Camacho, Francisco Javier; Tovar, Lucia; Ramírez, Karla Isabel y Gallardo, Yoja. (CamachoP2México). 130

Propiedades reológicas de la mezcla lista para torta elaborada con harina compuesta trigo:yuca. Cueto Bautista Davdmary Esmeralda y Pérez Sira Elevina Eduviges. (CuetoP2Venezuela). 133

Propiedades viscoelásticas de masas de yuca reconstituidas. Rodríguez-Sandoval Eduardo, Fernández-Quintero Alejandro, Cuvelier Gerard. (RodriguezP2Colombia). 137

Comportamiento reológico de la pulpa de zapote (*Calocarpum sapota Merr*). Andrade, Ricardo David, Bustamante, Cindy Elena, Mora, Bettina Beatriz y Torres, Ramiro. (AndradeP2Colombia). 142

Estudio reológico en almidones aislados de diferentes fuentes. Casarrubias-Castillo, María Guadalupe; Sánchez-Rivera, Mirna Ma.; Méndez-Montealvo, Guadalupe y Bello-Pérez, Luis A. (CasarrubiasP2México). 144

Efecto de la temperatura y concentración de sólidos solubles en los parámetros reológicos de soluciones de carboxilmetilcelulosa con fructosa. Corona, Kathia; Godínez, Dellino y Delgado, Virginia. (CoronaP2México). 147

Comportamiento al flujo de zumo clarificado de naranja a bajas temperaturas. Ibarz, Raquel ; Falguera, Víctor; Garza, Salvador; Pagán, Jordi y Ibarz, Albert. (IbarzP2España). 150

Comportamiento reológico del puré concentrado de melocotón de 21°Brix. Massa, Alberto; González, Carmen; Maestro, Alicia; Labanda, Jordi y Ibarz, Albert. (MassaP2España). 153

Filtración tangencial de extracto de nopal. Orozco Alvarez Carlos, Ramírez Villagomez Denise y Ordaz Contreras Leobardo. (OrozcoP2México). 156

Extracto de nopal: reología y secado por aspersión. Orozco Alvarez Carlos, Díaz Sánchez Cristina y Yánez Fernández Jorge. (OrozcoP2México). 159

Producción de agua de alta pureza. Orozco Álvarez Carlos, Méndez Cárcamo Silvia y García Salas Sergio. (OrozcoP2México). 162

Comportamento reológico, sólidos solúveis e atividade de água da polpa de maracujá congelada com adição de sacrose e pectina. Fernandes, Tatiana Nunes; Resende, Jaime Vilela; Prado, Cruvinel, Rafael S. Ribeiro y Reno, Marciu José. (FernandesP2Brasil). 165

Diversidad del plátano de cocción consumido en Colombia. Dufour Dominique, Giraldo Andrés, López Ximena, Castellanos Francisco Javier, Sánchez Teresa, Fernández Alejandro, Díaz Alberto. (DufourP2Colombia). 168

Efecto del proceso de concentración en las propiedades de jugo de tuna. Rodríguez-Martínez, V.; Sosa-Morales, M.E. y Vélez-Ruiz, J.F. (RodríguezP2México). 173

Uso de enzimas para mejorar las propiedades reologicas de la gelatina. Serna-Cock, Liliana; Pineda Cuervo, Darío; Ayala Aponte, Alfredo. (SernaP2Colombia). 176

Propiedades reológicas de algunos cremogenados de mango (*Mangifera indica L*). Salamanca Grosso Guillermo, Díaz Crismat Carolina, Salazar Mendoza Boris Eduardo. (SalamancaP2Colombia). 180

P3. PROCESOS CON TRANSFERENCIA DE CALOR, MASA Y COMBINADOS

Cinética de absorción de agua en maíz durante el remojo. Lara Nelly y Lescano Giovanna. (LaraP3Ecuador). 183

Refinación química del aceite obtenido del mesocarpo del fruto de la palma corozo (*Acrocomia aculeata*). Hernández, Carlos Enrique., Mieres-Pitre, Alberto. (HernándezP3Venezuela). 186

Análisis de la distribución de carga en una unidad de molienda de trigo durum. Mieres-Pitre Alberto, Arteaga Flor, Flores Isabel, Garrido Galán Aníbal. (MieresP3Venezuela). 188

Aplicación del modelo de Weibull a la modelización del secado de raspón de uva. García-Pérez, J.V., Cárcel, J.A., Acosta, M., García-Reverter, J., Mulet, A. (GarcíaP3España). 190

Influencia de la osmodeshidratación previa al secado sobre el proceso de rehidratación de mango. Maldonado Silvina, Bertuzzi María A., Arnau Enrique. (MaldonadoP3Argentina). 193

Estudo comparativo das propriedades de um *mix* reconstituído e sua polpa *in natura*. Medeiros, M. de Fátima Dantas; Souza, Josilma S; Araújo, Vanessa P. U; Rocha, Sandra C. S. (MedeirosP3Brasil). 196

Secado de rodajas de piña (*Ananas comosus)* previamente deshidratadas en soluciones osmóticas de sacarosa-agua-etanol. Aguilar-Paz, Selfa; Mendieta-Taboada, Oscar; Bardales, Clarissa; Medina-Vivanco, Mari. (AguilarP3 Perú). 199

Efecto de diferentes variables de proceso en la deshidratación osmótica de piña (*Ananas comosus*). Rosas M., Marta Elvia; Meléndez P., Rosalía; Cruz D., Benito. (RosasP3México). 202

Cinetica de secado en bandejas de arroz integral precocido. Colina, Jhoana; Guerra, Marisa. (ColinaP3Venezuela). 205

Study of pre-tratments on the osmotic dehydration behavior of carrots (Daucus carota. L. cv. Nerac). Paredes Escobar Mayra , Federico Gómez Galindo, Lars Wadso, Jenny Ruales Nájeraa, Ingegerd Siohölm. (ParedesP3Ecuador). 208

Isotermas de sorción de humedad de grano reventado de amaranto. Cangás Adriana y Lara Nelly. (CangásP3Ecuador). 211

P4. TIEMPOS DE VIDA ÚTIL Y PROCESOS DE DETERIORO

Tiempos de vida útil de naranjillas recubiertas con quitosano almacenadas a temperatura constante y variable. Alvarado, Juan de Dios; Almeida, Alba V. y Arancibia, Mirari Y. (AlvaradoP4Ecuador). 215

Mapping of dairy cream shelf-life by means of mechanical measurements combined with multivariate analysis. Piazza, Laura; Gigli, Jiabril; Rojas, Cristian; Ballabio, Davide; Todeschini, Roberto and Tripaldi. Piero. (PiazzaP4Italia-Ecuador). 218

Cambios del índice de acidez y de peróxido del aceite de la almendra del corozo (*Acrocomia aculeata*) a diferentes temperaturas. Mieres-Pitre Alberto y Hernández Carlos Enrique. (MieresP4Venezuela). 221

Estudo do comportamento higroscópico de pós obtidos da polpa de pequi *(Caryocar brasiliense Camb.)* liofilizada. Alves, Cibele Cristina de Oliveira; Resende, Jaime Vilela; Prado, Mônica; Cruvinel, Rafael; Lima. Helena. (AlvesP4Brasil). 224

Evaluación de cambios en propiedades mecánicas y agua exudada por efecto de congelación y almacenamiento refrigerado en falda de res (*Cutaneous trunci*). Zambrano Z. M. L., Álvarez C. A., Meléndez P. R.. y Hernández A. (ZambranoP4México). 227

Influencia de las condiciones de procesamiento y almacenamiento sobre el contenido de ácido ascórbico y la acidez titulable del jugo de limón congelado. Mujica, María Virginia, Uris, Karina y Luzardo, Marisela. (MujicaP4Venezuela). 230

Influencia del pretratamiento en la evolución del color de caqui (*Diospyros kaki*) deshidratado. Cárcel, J. A., García-Pérez, J. V., Clemente, G. y Mulet, A. (CárcelP4España). 233

Vida útil de productos elaborados en base a algas nativas chilenas *Callophyllis, Chondracanthus* y *Ulva*. De la Fuente, Lucía; López Ma. Elita; Trujillo Lilian; Douglas Karin; González Luisa. (De la FuenteP4Chile). 236

Influência de embalagens na modificação da atmosfera gasosa em alface americana cv. Lucy Brown minimamente processada. Vaz, S.G., Regis, S. A., Rocha, G.O., Cenci, S. A., Freitas-Silva, O. (VazP4Brasil). 240

Pardeamiento no enzimático de zumo de mandarina clarificado y concentrado durante el almacenamiento. Falguera, V.; Garza, S.; Garvin, A.; Ibarz, A. (FalgueraP4España). 242

Efecto de la temperatura sobre la vida útil de productos a base de grano reventado de amaranto. Lara Nelly y Mejía Ana. (LaraP4Ecuador). 245

Calidad de pastas orgánicas refrigeradas. Olivera D., Coll Cárdenas F., Salvadori V. (OliveraP4Argentina). 248

P5. MODELADO Y SIMULACIÓN

Variable retort temperature optimization Using adaptive random search techniques. Simpson, R., Almonacid, S., Carevic, E., Abakarov A. (SimpsonP5Chile). 249 251

Desarrollo y validación de ecuaciones que relacionan a los sólidos totales y a la proteína de leche de vaca con la gravedad específica. Alvarado, Juan de Dios y Pujos Al., Maritza Isabel. (PujosP5Ecuador). 254 256

Simulación de la incrustación de proteínas del procesamiento animal en el interior de tubos. López Del Mar, Jean y Gasparetto, Carlos Alberto. (LópezP5Brasil-Perú). 259

Programa para el analisis dinamico de curvas de penetracion de calor en alimentos enlatados. Barragán Oscar Alberto; Forero Longas Freddy; Salamanca Grosso Guillermo. (BarragánP5Colombia). 261

Desarrollo de una herramienta computacional para la determinacion de curvas de penetracion de calor en alimentos enlatados *"CPC PLUS"*. Rodriguez Barragán, Oscar Alberto; Forero Longas, Freddy; Salamanca Grosso. Guillermo. (RodríguezP5Colombia). 265

Desarrollo de un software empleando LabVIEW® para evaluación y cálculo de procesos térmicos. Inoura, Hiroko y Velezmoro, Carmen. (InouraP5Perú). 268

Desarrollo de un programa en microbiología predictiva para el crecimiento de agentes de significación en productos agroalimentarios. Martínez Manrique Pilar A.; Váquiro Herrera Henry A.; Salamanca Grosso Guillermo. (MartínezP5Colombia). 271

Herramienta de predicción de la inactivación en microbiología de agentes de interés alimentario. Martínez Manrique Pilar A.; Váquiro Herrera Henry A.; Salamanca Grosso Guillermo. (MartínezP5Colombia). 274

Modelado matemático de la cinética de secado de algunos alimentos a través de ecuaciones empíricas. Vega-Gálvez, Antonio; Lemus-Mondaca, Roberto; Miranda, Margarita y Uribe, Elsa. (VegaP5Chile). 277

Potencial de tinción y estabilidad térmica de un jugo de cranberry concentrado por nanofiltración. Ah-Hen, Kong Shun, Rebolledo Fernanda, Figuerola Fernando, Costa Marcia y Martínez Maria Adela. (Ah-HenP5Chile). 280

Modelación de la evolución del contenido de amigdalina y prunasina durante el desarrollo de la almendra (*Prunus dulcis miller)*. Arrázola Paternina Guillermo; Villalba Cadavid Marcela; Dicenta Federico. (ArrázolaP5Colombia). 284

Modelado y optimización del proceso de deshidratación de hongos y perejil por secado combinado convectivo y a vacío. Gerla, Patricia; Martínez, Jorge; Zecchi, Berta; Clavijo, Leonardo. (GerlaP5Uruguay). 286

Modelado matemático de la cinética de secado por aire caliente de músculo de camarón gigante. Díaz-Viteri, Javier, Medina-Vivanco, Mari y Mendieta-Taboada, Oscar. (DíazP5Perú). 290

PREDIBAL 1.0: Herramienta informática para la predicción de la población de dos bacterias ácido lácticas, aisladas del suero costeño. Cueto Clementina, García Diego, Cepeda Jihan. (CuetoP5Colombia). 293

Simulación de los procesos de transporte de calor y masa en un secador por aspersión a escala de laboratorio. Morales- Durán, Ulises; Chanona-Pérez, J.J., Ordorica-Vargas, C., Alamilla- Beltrán, Liliana; Gutierrez- Lopez. Gustavo. (MoralesP5México). 296

Modelagem do processo de desidratação osmótica de banana. Fernandes, Fabiano A.N.; Rodrigues, Sueli; Gaspareto, Odisséia C.P.; Oliveira, Edson Leandro e Oliveira, Antônia Beatriz Viana. (FernandesP5Brasil). 299

Modelo matemático de la producción microbiológica de fructooligosacáridos. Salinas, Martín A. y Perotti, Nora I. (SalinasP5Argentina). 302

Drying model at pore-level. Solute-liquid effects on transport parameters. San Martín Francisco A. and Segura Luis A. (SanMartínP5Chile). 305

Evaluación de las variables operativas en la ultrafiltración de extracto de pectina. Stechina, D.; Iribarren, O.; Pauletti, M.; Lesa, C., Maffioly, R. y Bogdanoff, N. (StechinaP5Argentina). 308

Caracterización de mieles a través del análisis factorial múltiple y el modelamiento PLS PATH. Álvarez Laverde Héctor René; Salamanca Grosso Guillermo. (ÁlvarezP5España). 311

P6. EQUIPOS Y PLANTAS INDUSTRIALES

Diseño de un equipo de laboratorio para fritura a vacío. Bravo Juan, Sanjuán Neus, Peña Ramón, Mulet Antonio y Ruales Jenny. (BravoP6Ecuador). 315

Factibilidad técnica económica de una planta de producción de ácido cítrico en Venezuela. Hernández, Carlos Enrique, Silva, Brenly. (HernándezP6Venezuela). 318

Selección de las mejores condiciones de operación mediante análisis estadístico en el proceso de extracción líquido-líquido para la recuperación de capsaicina a partir de miscela de chile de árbol. Bautista Pérez Simeón, Milla Vela René Alberto, Martínez González José Luis, Pizano Barrientos Susana, Barranco Jiménez Rosita, Bautista Cano Perla del Carmen, Juárez Goiz Mayolo, Ramírez Estrada Serafín. (BautistaP6México). 320

Evaluación de la generación y aprovechamiento de la energía calórica y mecánica en la planta de lácteos ECOLAC. Meneses C. Miguel A., Quezada Z. Darwin W., Romero B Juan C. (MenesesP6Ecuador). 323

Equipo de crioconcentración de fluidos por placas de película descendente. Raventós, Mercè , Auleda, Josep Maria, Hernández, Eduard, Ibarz, Albert. (RaventósP6España). 326

Prototipo para la granulación de panela granulada. Sandoval, Galo; Mora, Wilson y Tuz, Carlos. (SandovalP6Ecuador). 329

Construção de lavadora de laranjas em escala piloto para teste de desinfecção de superfície de laranjas, frente a *Alicyclobacillus acidoterrestris*. Rodrigues Jr., Salatir; Barbosa, Marcos de Freitas; Ferreira, José Orlando: Reves, Alessandra: Massaguer, Pilar Rodriguez de. (RodriguesP6 Brasil). 332

Estudio de métodos en un packing. Alves, Nancy. (AlvesP6Argentina). 335

EDITORIAL

Hemos empezado a vivir los inicios del Tercer Milenio y constituye por lo tanto un gran reto, ser parte de la *sociedad del conocimiento,* por que exige estar preparados para avanzar en los grandes cambios que ha significado el desarrollo de la información, la globalización en todas sus instancias y el avance continuo y sin retorno de la investigación científica y tecnológica.

Ante el avance arrollador de estos factores la Universidad definitivamente será el vínculo preponderante que con una nueva visión de futuro sea dinámica, investigadora, creadora y que sea capaz de producir transformaciones fundamentales para el desarrollo

Las Universidades y todos quienes hacen investigación no pueden quedar fuera del impacto social que significa una nueva sociedad globalizada con un reacomodo acelerado de los movimientos políticos, económicos y culturales y que por supuesto afecta a las organizaciones en su ámbito de formación educativa.

Por lo señalado la Universidad Ecuatoriana y su futuro dependerá de la capacidad de transformación, innovación y aporte a una sociedad tan cambiante y que debemos estar preparados para dar respuesta a los grandes desafíos de una época exigente como la que nos ha tocado vivir.

Por otro lado nuestro compromiso debe consistir en la vinculación estrecha y permanente con la colectividad, que permita impulsar procesos de desarrollo con la intervención protagónica de los sectores sociales, productivos, económicos e instituciones publicas y privadas, y que trabajando juntos impulsemos la construcción de un mundo diferente, con una visión compartida y con un liderazgo moral que pueda garantizar su accionar en todos los niveles.

Ante estos acontecimientos Iberoamérica debe tener propuestas claras para avanzar en los diversos campos del conocimiento y que alentador resulta para la humanidad la investigación y aplicación de nuevos conceptos para la tecnificación y desarrollo de innovadores procesos en el campo de la Ingeniería de Alimentos en todas sus especialidades y que empieza desde el mejoramiento de los suelos, y avanzan con la producción de alimentos y nuevas tecnologías para imprimir calidad al servicio del hombre.

En el Ecuador, la formación profesional para el procesamiento y producción de alimentos fue llevada al campo de la ingeniería por iniciativa de la Universidad Técnica de Ambato. Esta labor académica permitió hacer que la ciencia y la tecnología, como fundamentos de la ingeniería, contribuyan al mejoramiento de la producción industrial y la comercialización de alimentos en nuestro país.

La ingeniería en alimentos debe responder fundamentalmente a dos problemas de especial importancia. Por un lado realizar una producción en volúmenes suficientemente altos y con costos que permitan atender la demanda de la población en sus diferentes estratos diferenciados por distinta capacidad adquisitiva. En el caso de Ecuador la población crece con tasas relativamente elevadas; a esta realidad debe agregarse la desnutrición que al igual que otros países sub-desarrollados se mantienen en niveles altos.

El segundo problema es satisfacer las exigencias de un mercado dinámico caracterizado por la innovación. Continuamente aparecen nuevos productos, nuevas presentaciones, nuevos envases, etc. a lo que debe agregarse las innovaciones tecnológicas que se incorporan los procesos productivos y que no son percibidos por el consumidor. Esto constituye un reto para la industria alimentaría expuesta a la competencia de otros países en un mundo globalizado.

Este VI Congreso Iberoamericano de Ingeniería en Alimentos, por su Convocatoria y participación de diferentes personalidades de tantos países amigos incrementará a no dudarlo los vínculos suficientemente fuertes entre la sociedad y los procesos de investigación científica, análisis tecnológico y difusión del pensamiento creador.

Desde nuestra Universidad Técnica de Ambato pionera de la Ingeniería en Alimentos en el Ecuador se difundirá a no dudarlo a todos los confines del planeta el pensamiento creador de gente que considera que a través del conocimiento tendremos siempre un mundo mejor.



M. Sc. Ing. Luis Amoroso Mora
RECTOR UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

PRESENTACIÓN DE LAS PUBLICACIONES DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN ACEPTADOS EN EL SEXTO CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS.

Iberoamérica se destaca como una de las regiones o posiblemente como la región de mayor biodiversidad en el planeta y con numerosos casos de megadiversidad. Los alimentos son una parte extremadamente importante de esta megadiversidad y son un pilar para la generación de nuevas variedades y para la seguridad alimentaria futura. En otras palabras las posibilidades de producir nuevos y mejores alimentos es prácticamente infinita, pues siempre aparecerán o se desarrollarán nuevas variedades y genes con características propias. La Ingeniería de Alimentos está llamada para aceptar el reto de transformar, conservar, producir nuevos y mejores alimentos utilizando adecuadamente estos vastos recursos, no es posible pensar en cambios beneficiosos, tampoco en la industrialización de productos alimenticios, sin el aporte directo de los conocimientos y de las personas directamente relacionadas con esta actividad.

Sin duda una de las áreas del conocimiento de mayor desarrollo en el momento actual en el mundo, es la relacionada con los Alimentos. Políticas de Estado de muchos países y regiones, como es la Seguridad Alimentaria, son motivo de permanente preocupación y apoyo. En este marco la Ingeniería de Alimentos desempeña un rol protagónico.

Varios son los intentos realizados para definir lo que es la Ingeniería de Alimentos, sin embargo ninguna de ellas ha podido satisfacer a plenitud todo su ámbito de acción y proyecciones. Lo que si está claro es que conforme avanza el tiempo, las definiciones también se amplían y abarcan nuevos y más amplios sectores en los cuales su participación es extremadamente importante.

Al intentar relacionar lo indicado con una cadena alimentaria básica que incluya: la producción, la transformación, la comercialización y el consumo de alimentos; fácilmente se establece que la Ingeniería de Alimentos está vinculada con las cuatro fases indicadas de la cadena alimentaria. Hace relativamente pocos años se asociaba a esta profesión únicamente con la segunda fase, transformación de alimentos, especialmente con el cálculo, diseño, construcción e instalación de empresas y plantas industriales, en el momento actual todo cambia y la incidencia de la profesión es cada vez mayor.

En CIBIA VI se expresa este desarrollo y cambio constante a través de cuatro engranajes o ruedas dentadas, pensemos que siempre están girando y que al final se unen, pues los resultados que se obtengan al final en el consumo, retroalimentan a las investigaciones sobre producción y así sucesivamente.

En el primero de los engranajes está representada la fase de producción mediante varias frutas, es fácil reconocer que varios de los temas seleccionados para este Congreso en la parte de Ciencia de Alimentos, están directamente relacionados con la producción, así: Propiedades físicas y coeficientes de transferencia. Propiedades químicas y bioquímicas. Biología, Microbiología predictiva y microestructura. Modelado y simulación. Sin embargo se debe señalar que estos temas también son indispensables en toda la cadena alimentaria, pues proporcionan la información fundamental para la caracterización y mejor conocimiento de todos los alimentos, estén éstos en su estado original o procesados. Se destaca también la importancia que tienen las Ciencias Naturales: Física, Química y Biología en el estudio de los alimentos, por ello no es extraño que un elevado número de las contribuciones científicas traten estos temas, manteniendo como base a las Matemáticas con el sorprendente avance de las herramientas de computación.

La segunda rueda dentada simboliza la transformación en una planta procesadora. Es el sector de mayor incidencia actual de la Ingeniería de Alimentos y varios de los temas de CIBIA VI, en especial los de Tecnología y Procesos están estrechamente relacionados, así: Procesos para el diseño de alimentos. Procesos de separación mecánica, reología y transporte. Procesos con transferencia de calor, masa y combinados. Equipos y plantas industriales. Biotecnología de alimentos. Tecnologías emergentes y ambientales. Procesamiento de alimentos y de subproductos.

La tercera rueda dentada representa la siguiente fase de la cadena alimentaria, la comercialización, aparecen entonces las figuras de las frutas procesadas y envasadas. Nuevamente se pueden asociar varios temas de CIBIA VI que están directamente relacionados con esta fase, entre ellos: Tiempos de vida útil y procesos de deterioro. Películas biodegradables, envases y empaques. Almacenamiento y poscosecha.

El cuarto engranaje simboliza posiblemente la fase más importante de la cadena alimentaria, el consumo de manera primordial por los humanos, todos los esfuerzos que se realizan en Ingeniería de Alimentos deberán estar orientados hacia la conservación y mejor utilización de los alimentos con criterios de calidad, inocuidad y protección del medio ambiente. Que importantes son los trabajos relacionados con: Inovación tecnológica. Propiedades funcionales y sensoriales. Nutrición y control de calidad.

Se establece entonces la gran importancia que tiene la Ingeniería de Alimentos a lo largo de toda la cadena alimentaria, desde la producción hasta su utilización final, es un hecho que en varias de las fases se constituye en un elemento esencial y con gran futuro. A manera de ejemplo no está lejano el día en que se conozca, modele y simule mediante computadoras, la transferencia de masa de las moléculas de hierro o de otros nutrientes a través de la membrana intestinal, como un aporte para entender y mejorar la utilización nutricional de los alimentos; estos resultados retroalimentan las fases anteriores para seleccionar productos, procesarlos disminuyendo pérdidas, comercializarlos en forma adecuada y aprovecharlos de la mejor manera. El ciclo se repetirá y continuará.

Más allá del enfoque de la cadena alimentaria, es para la Universidad Técnica de Ambato de primordial relevancia el tema de la Educación. Según la Misión Institucional de nuestra Universidad se intenta: Satisfacer las demandas científico-tecnológicas de la sociedad ecuatoriana en interacción dinámica con sus autores, formar profesionales líderes con pensamiento crítico, reflexivo, creativo, con conciencia social que contribuya al desarrollo científico, técnico, cultural y axiológico del país; desarrollar la investigación científica y tecnológica como un aporte en la solución de los problemas; producir bienes y prestar servicios, para contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los ecuatorianos e impulsar el desarrollo sustentable del país. CIBIA VI cumple con los propósitos de la Universidad en lo relacionado con los Alimentos.

En este amplio marco se presenta el esfuerzo de la publicación de los trabajos de investigación aceptados para su presentación en el Sexto Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos, oportunidad única para Ecuador y Ambato de participar en el avance de esta rama del conocimiento con los más destacados científicos de Iberoamérica, Estados Unidos de América y de otros países del mundo. La Revista de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos: ALIMENTOS: CIENCIA E INGENIERÍA, Volumen 16 correspondiente al año 2007, sirve como medio adecuado para la difusión de los trabajos como una Memoria del esfuerzo investigativo realizado en México que es el país con el mayor número de artículos de investigación presentados, seguido de Colombia y Ecuador. Otros países que enviaron sus contribuciones fueron: Brasil, Argentina, Chile, Perú, Venezuela, España, Uruguay, Costa Rica, USA, Alemania, Italia y Suecia; a todos muchas gracias por el esfuerzo y la confianza depositada en el Comité Organizador de CIBIA VI, en la ciudad de Ambato y en general en Ecuador.

Por la elevada cantidad de contribuciones, trescientos cincuenta, fue necesario ordenarlas y distribuirlas en distintos Números de la Revista, destinados de manera específica a trabajos que según el Temario corresponden a Procesos, Ciencia y Tecnología.

Quienes hacemos la Facultad de Ciencia e Ingeniería de Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato-Ecuador, creemos firmemente que además de los medios electrónicos de comunicación, los documentos escritos constituyen un mejor testimonio de la historia de acontecimientos relevantes. Por ello es grato someter a consideración de Iberoamérica y del mundo el estado del conocimiento y esfuerzo investigativo que se realiza especialmente en nuestros países en el campo de la Ingeniería de Alimentos, sus bases científicas y aplicaciones tecnológicas.

Ecuador. Ambato. Noviembre del 2007.



Presidente CIBIA VI

FOOD ENGINEERING APPLIED TO ACCOMMODATE FOOD REGULATIONS, QUALITY AND TESTING

Stanley E. Charm ScD. Charm Sciences, Inc
Lawrence, MA USA. Email: drcharm@charm.com Internet: www.charm.com

SUMMARY

The new approach to controlling food production and manufacturing is through prevention of problems rather than solving after occurring. Testing finished product is not always an effective option for control. This becomes obvious from statistical considerations. Examples of employing "prevention" are examined with respect to mycotoxin in grain, microbial contamination of extended shelf life and UHT products, allergen cross contact, and E.coli in bagged fresh cut produce. Calculation of product shelf-life using Arrhenius equation format is performed.
Problem prevention in several cases is associated with validated sanitation. There is the consideration of economics of "prevention" vs. economics of "cure".
The Six Sigma concept is noted for producing near-perfect products and is an idea for food engineering study.

INTRODUCTION

There is increasing interest in preventing the causes of problems in contrast to solving problems after they occur. There is no question about the wisdom of "an ounce of prevention is worth a pound of cure". However, the ounce of prevention may be costly. The engineering challenge is to make prevention practical.

There have been a number of food poisoning outbreaks from time to time some of which change industry practice so that a particular problem won't reoccur, for example botulinum poisoning that occurred in 1922 due to under heat processing canned olives. This resulted in determining how to calculate proper heating and cooling of canned food to prevent such an event and introduced the 12D process.

Today, the idea of prevention finds its way into food manufacturing with US FDA good manufacturing practices or CGMP. These are federal regulations enforced by US FDA that apply to all human food regulated by FDA. CGMPs are preventative control programs that work with other preventive control programs such as HACCP, which are specific for a particular process. The FDA has begun the process of upgrading the CGMP (Zink and Seltzer, 2006).

Certain problems associated with food processing are selected for analysis with respect to how problems might be prevented (although the cost of prevention might make the prevention impossible). These problems are now controlled by testing which is not always effective. The problems include: 1) Mycotoxin in grain, 2) Microbial contamination in UHT fruit juice, 3) Allergen cross contamination from common equipment, 4) E. coli H0157 contamination on fresh cut spinach.

Problem prevention is exemplified in the Six Sigma concept. This provides the methodology for problem prevention by discovering and eliminating sources of variation inherent in a system. The Six Sigma denotes a production where a defect is six standard deviations from an acceptable average in a normal distribution. This is a failure rate of 3.4 per million. The Six Sigma concept is under consideration in food industries to reduce failure rates.

PREVENTING MYCOTOXINS IN GRAIN

Molds infect agricultural products in the field when moisture and temperature conditions are sufficiently high. The type of toxin is dependent on type of mold, product and conditions. Mold also occurs in storage silos where mold infected grain may infect other grain or may generate when storage conditions are favorable.

Control of mold infection in the field is attempted with chemicals and in storage, by controlling temperature and moisture, e.g. Figure 1 & Figure 2 (Morantes, 2006). The final control for mycotoxin is in testing product at storage silos. Testing is awkward. When a grain truck is to be unloaded, a representative sample is collected, ground up, extracted in methanol-water, and extract testing that can take up to 20 minutes. If the test is positive, the truck is rejected. It is estimated that mycotoxin contamination costs 1 billion dollars per year. In addition to grain and feed, other products affected include milk, meat, spices, wine, and nuts.

If mold infection of farm products can be eliminated before storage in a silo and if moisture and temperature can be controlled in storage, mycotoxin generation could be reduced. One way this might be done is through irradiation using electron beam, as grain is being transferred from trucks to storage silos. Relative low levels of irradiation would be needed. However, preliminary results indicate that grain can be damaged by irradiation. This is a challenge.

Controlling storage humidity so that grain is less than 13% moisture and temperature is about 20°C, should limit the generation of mycotoxin, (Figure 2). Irradiation and temperature-humidity control in storage are costly. It is not clear that the remedies suggested can be engineered to be financially acceptable. The example offers a guide to thinking.

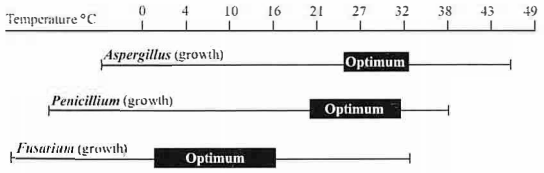


Figure 1. Temperature range for mold growth. (G. Mortantes, 2006)

	Moisture Content of the Grain(%)		
Temp. (C°)	13.0	14.0	15.0
20	100	41	20
25	59	24	12
30	35	15	7
35	21	9	4

In: USGC U.S. Corn Storage in Tropical Conditions, 2001

Figure 2. Days of safe storage by temperature and moisture convert. (G. Mortantes, 2006)

WHEN THE PERCEPTION OF CONTROL BY TESTING IS MISLEADING AND PREVENTION IS NEEDED

It is common practice in manufacturing extended shelf-life or UHT products to store samples of finished product for several days at appropriate incubation temperature to accelerate spoilage and determine if there are defects before the lot is released from a warehouse for commerce.

In some cases a system using the increase in ATP (adenosine triphosphate) over 48 hrs incubation at temperature for microbial growth identifies defects. The increase in ATP indicates growth of microorganisms.

A UHT juice plant using ATP for control tested 100 incubated samples from each lot of 50,000 packages. Although no defects were detected, there were complaints from customers. The plant wanted to have a failure rate of 0.01% or 1 in 10,000. From the statistical Table 1, it can be seen that testing could produce zero defect, while up to 3% of the lot is defective or 1500 defects. The only way to achieve the 0.01% defect rate is to prevent the defects by examining where and why they occur and revising the manufacturing and maintenance. In this case, engineering a plant sanitation program with a validated procedure would be a good start for prevention.

Maximum defect rates, % Confidence level 95%	Number of defects						Sample size
	0	1	2	5	10	20	
	2.99	4.75	6.3	N/A	N/A	N/A	100
	1.5	2.37	3.15	5.25	8.48	N/A	200
	1.00	1.58	2.0	3.50	5.65	9.69	300
	0.75	1.18	1.57	2.67	4.24	7.27	400
	0.60	0.95	1.26	2.10	3.39	5.81	500
	0.50	0.79	1.05	1.75	2.83	4.84	600
	0.43	0.68	0.90	1.50	2.42	4.15	700
	0.37	0.59	0.79	1.31	2.12	3.63	800
	0.33	0.53	0.70	1.16	1.89	3.23	900
	0.30	0.47	0.63	1.05	1.70	2.91	1000
	0.15	0.24	0.32	0.53	0.85	1.45	2000
	0.10	0.16	0.21	0.35	0.56	0.97	3000
	0.075	0.12	0.16	0.26	0.42	0.73	4000
	0.060	0.095	0.13	0.21	0.34	0.58	5000
	0.050	0.079	0.10	0.18	0.28	0.48	6000
	0.043	0.068	0.090	0.15	0.24	0.42	7000
	0.037	0.059	0.079	0.13	0.21	0.36	8000
	0.01						30000*

* Extrapolated

Table 1. Number of samples tested and maximum defects detected (%). Samples are selected randomly from lot. (TETRAPAK, 2004)

CROSS CONTACT FROM ALLERGENIC FOOD RESIDUE ON PROCESSING EQUIPMENT

Allergenic food residue contamination is a major regulatory concern. The FDA CGMPS consider cross contact prevention and validated cleaning procedures for food contact equipment areas that must be addressed (Zink and Seltzer, 2006). When various products are processed in the same equipment where contact leaves a residue, it is possible to have cross contamination unless the equipment is adequately cleaned. For example, a candy manufacturer may make products with and without peanut. With one in 200 people allergic to peanut, it would be important to have a cleaning procedure to avoid peanut contamination. This can be done by correlating a sensitive ATP test for equipment sanitation with the sensitivity of a specific peanut allergen test. The ATP test must be able to detect 0.02 femtomoles ATP to be comparable with specific allergen tests. The specific allergen test takes 15 minutes, while ATP test takes 30 seconds (Salter et al, 2005). The engineering challenge is to design and validate an acceptable cleaning procedure and water system. Final rinse water is tested along with swabbing equipment surfaces. The following example demonstrates this.

A plant processing nuts determined that when the ATP level in rinse water tested below a certain level, (950,000 RLU), rinse water was negative by a specific allergen test. Comparing 100 samples this way, only one ATP test failed with respect to the allergen test. Testing with ATP permitted immediate recleaning if it exceeded 950,000 RLU. The specific allergen test was used to check only when cleaning was satisfactory by ATP. This saved both time and money. It points out that with proper sanitation and test by ATP, allergen cross contact can be prevented. (Salter, 2006)

CALCULATION OF SHELF LIFE

Shelf life designation is a critical attribute associated with a product that prevents misuse. It must be determined for each manufactured lot, usually by stressing the product under storage conditions that accelerate spoilage and predict shelf life under less severe conditions.
The Arrhenius equation format is used to predict shelf life at any given storage temperature.

The format of the Arrhenius equation is:

1) $\mathbf{k = A \cdot e^{-H/T}}$

where k= rate constant (hr^{-1})
A= kinetic constant (hr^{-1})
H= kinetic constant (°K)
T= absolute temperature (°K)

Assume degradation is first order:

2) $\mathbf{\ln(N/N_0) = k\,\theta}$

where: N/N_0 = fraction of product that is acceptable after time, θ
θ = storage time (hr)

To use equation (2) it is necessary to define a characteristic of the product that limits shelf life and be able to numerically measure it. For example, it may be flavor, (measured by taste panel), pH, color, etc. It is essential to have a numerical definition of degradation as well as numerical definition of amount that still leaves an acceptable product.

Consider the shelf life calculation for an ATP Hygiene test swab that has a defined limit of acceptability with a numerical result. Degradation is measured by the decrease in response to a given concentration of ATP. The control result, $\mathbf{N_0}$, is obtained by testing samples stored at 4°C at zero time. One hundred test samples are stored at each of 5 higher temperatures, 64°C, 52°C, 45°C, 37°C, and 30°C. At each temperature at various times, groups of 10 samples are tested and results are averaged. An example of raw data at 64°C is in Table 2. The **ln** average result, $\mathbf{\ln(N/N_0)}$, is plotted against time in Figure 3a for the various storage temperatures. The **ln** slope associated with each temperature is plotted against **1/T** in Figure 3b. From this "**H**" and "**A**" in equation (1) are calculated.

In this case "**H**" is 16363°K and "**A**" is 1.678×10^{19} hr^{-1}. The average fraction that is acceptable for degradation for shelf life is $\mathbf{N/N_0} = 0.8$

Using equations (1) and (2), the shelf life at 25°C is

$$\ln(0.8) = -1.678 \cdot 10^{19} \cdot e^{\frac{-16363}{25+273}} \cdot \theta$$

θ = 9346 hr or 13 months at 25°C

It should be recognized that 0.8 is acceptable and not failure. Failure at the end of shelf life should not encompass a significant amount of the lot. The average Failure Point ($N/N_0 = 0.4$) in this case is separated from the acceptable limit by at least 6 standard deviations (SD) i.e. about one per hundred failure rate at the end of shelf life, see Fig 4.

For variable storage, the temperature as a function of time, $\mathbf{Tf(\theta)}$, is substituted for "**T**" and equations (1) and (2) become equation (3)

$$3) \qquad \ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -A\cdot\int_{\theta}^{0} e^{\frac{-H}{Tf(\theta)}}\, d\theta$$

Initial			
1st	**2nd**	**3rd**	**4th**
0	24	48	72
21662	15255	9257	9533
19627	11919	9963	7344
21006	13305	12291	9308
20625	15455	12664	5022
19055	13859	10397	5416
19347	12211	9650	10694
23101	16602	11616	5517
20616	15501	11016	8427
23367	14291	11225	9618
20147	13919	9395	6358
20324	NA	NA	NA
23354	NA	NA	NA
18197	NA	NA	NA
21114	NA	NA	NA
24498	NA	NA	NA
21018	NA	NA	NA
18124	NA	NA	NA
21151	NA	NA	NA
13767	NA	NA	NA
19333	NA	NA	NA

Time Interval Hours

Table 2. Example of raw data at various time intervals at 64°C.

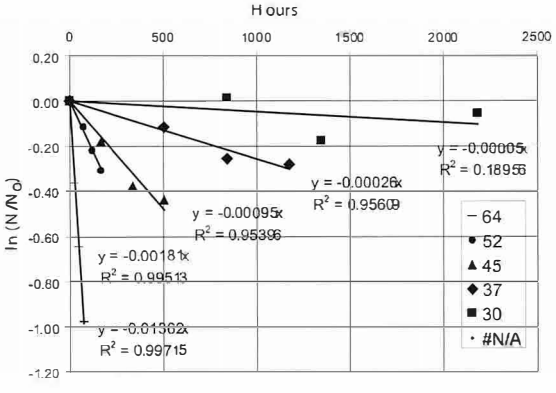


Figure 3a. Acceptable Fraction plotted for various temperatures and time.

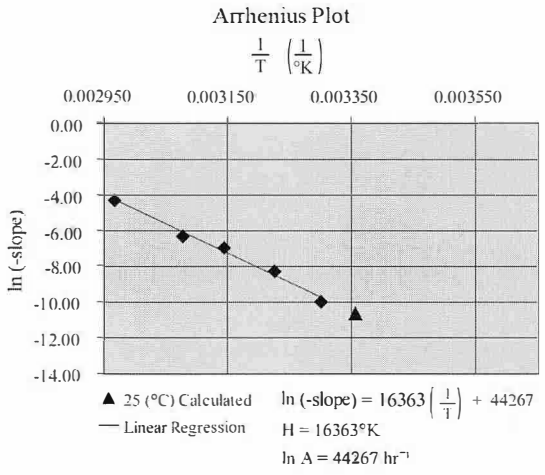


Figure 3b. Calculation of kinetic constants "A" and "H".

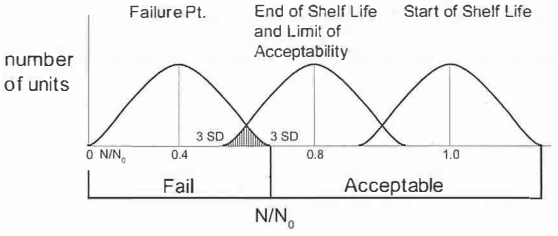


Figure 4. Comparison of unit distribution in a lot at the end of shelf life with the failure distribution. Shaded area shows failures. At the end of shelf life there should be no significant failures.

Six Sigma Concepts for Preventing Problems in Manufacture, e.g. E.coli H0157 in Fresh Cut Bagged Spinach

Six Sigma is a concept for producing near perfect products. It requires significant commitment to put in place. Digital measurement at every step is needed, along with documentation. It includes comprehensive maintenance and equipment replacement to prevent equipment failure. It also extends to suppliers. Six Sigma company employees like to do business with Six Sigma suppliers. This is somewhat idealistic but it points a way to improving manufacturing.

It is estimated that many food companies operate between 2 and 3 Sigma. An advance to 4 Sigma would be a significant improvement. It is interesting to note the State of Wisconsin is awarding grants to have cheese companies employees trained in the initial steps of Six Sigma (Cheese Market News, 2006). These include: define, measure, analyze, improve, and control. An example of Six Sigma thinking may be applied to preventing contamination in fresh cut and bagged spinach.

Recently, this product was responsible for 3 deaths and about 200 poisonings in the U.S., from E.coli H0157. It was caused by growing produce close to dairy and beef cattle. It is associated with soil, irrigation water and fertilizer. Washing spinach reduces E.coli about 2 log cycles. Some contamination is systemic and cannot be washed out. The problem is thought to occur when the bagged contaminated spinach is exposed to higher temperatures that encourage E.coli toxin development.

In order to prevent this event from ever occurring, it is necessary to:

1. Decontaminate irrigation water
2. Decontaminate fertilizer
3. Clean wash water
4. Have temperature control
5. Clean harvesting systems

1. Decontaminated irrigation water could be obtained by pasteurizing the raw water possibly by solar heating and storing in a tank. Also chemical treatment might work.
2. Decontaminating fertilizer could be done by heating chemically or by solar means.
3. Clean wash water can be obtained by reclaiming or replacing.
4. Temperature control can be checked with temperature tags and proper control equipment.
5. Harvesting equipment can be cleaned and tested with validated methods.

Every step mentioned must be measured or tested and documented. Finally alarms must be in place to alert when accepted limits are exceeded.

The testing of bagged spinach as a check against contaminations is difficult because of test time required and as mentioned in the case of the juice example, the number of samples needed would make this an impractical control, since such a low level of failure is tolerable. For example, if there are 1 million bags/day shipped, there should be no failure due to toxic contamination, i.e. defect must be less than one in a million. Noting Table 1, the number of samples tested to check this failure rate, would be greater than 100,000 bags. If one hundred bags were tested and none came up positive, the failure rate could be up to 3%, obviously a disaster. Thus, negatives in testing this way cannot be a measure of safety.

It has been suggested that fresh cut bagged produce should be irradiated to destroy pathogens. A recent study by the USDA Research Service notes "Most fresh cut fruits and vegetables can tolerate a radiation of 1.0 kGy, a dose that can reduce E.coli 5 log cycles." Mexico, India, and Thailand are starting to irradiate most of the food they export to the U.S. (Wall Street Journal, 2006).

This may be useful to treat the problem, but it does not remove the cause. However, since systemic contamination, e.g. from contaminated soil, has not been accommodated, this is certainly worth considering.

Thoroughly washing with chemical treated water is used. But "washing by itself wont take care of the problem because E.Coli sometimes gets inside the cells of produce," (Chemical Engineering News, 2007).

CONCLUSIONS:

It is suggested that problems in food production should be dealt with through prevention rather than just treatment. Examining a number of contamination problems, it appears that sanitation and cleaning are frequently part of prevention. As food engineers, more engineering attention should be focused on how to accomplish this. The Six Sigma approach is just now emerging in food manufacturing and should be part of a good food engineering curriculum. There are a number of industries where this approach is used successfully, e.g. pharma industry.

REFERENCES:

Cheese Marketing News, 2006.
Wisconsin Awards Grants to Each Dairy Plant Workers Cost-Effective Manufacturing Skills, September 1, P15.

Chemical Engineering News, 2007.
Food Irradiation, recent E.Coli outbreaks heighten interest in the technology. By Bette Hiceman Chen, January 15, p.41-43.

Morantes G. 2006.
Mold and Mycotoxin: Managing Risk in the Global Feed Supply Chain. April 25, www.wattnet.com

Salter R.S, Hefle S, Jackson L, Swanson K. 2005.
"Use of a Sensitive ATP Method to Quickly Verify Wet Cleaning Effectiveness at Removing Food Soils and Allergens from Food Contact Surfaces." Poster IAFP, Baltimore, see www.charmsciences.com, Allergiene.

Salter R, Holmes S. 2006
Practical Use of Sensitive ATP Test (Allergiene) to Verify Equipment Cleaning As Part of Allergen Cross-Contact Avoidance Programs, Abstract 033-09, IFT, Orlando, Florida.

TETRAPAK Company, 2004.
Personal communication. Also Sampling Plan Analyzer 2.0 software www.variation.com

Wall Street Journal, December 18, 2006 Editorial, " E.Coli Enablers".

Zink D. and Seltzer H. 2006.
FDA Regulatory Report, Opportunities for Food CGMP Modernization.
Food Safety Magazine, August/September P35-62.

Submitted in February 2007 for CIBIA VI, November 2007.

HYDROPHOBICALLY MODIFIED POTATO STARCH. A RHEOLOGICAL STUDY

Fernando E. Ortega-Ojeda*, Helena Larsson, Ann-Charlotte Eliasson

*** Fernando Ortega-Ojeda, Dr.; Nutrición, Bromatología y Tecnología de Alimentos; Facultad de Farmacia - Universidad San Pablo CEU; 28668 Boadilla del Monte (Madrid); Spain; Phone: +3491 372 4719; Fax: +34913510475; e mail: fortega@ceu.es. Helena Larsson, Dr., and Ann-Charlotte Eliasson, Prof.; Division of Food Technology; Department of Food Technology, Engineering and Nutrition; University of Lund, Box 124, S-221 00, Lund, Sweden.**

ABSTRACT

The rheological properties of gels of high amylopectin potato starch (HAPP) and hydrophobically modified potato starch (HMPot) were studied by means of small deformation oscillatory rheometry. The hydrophobic modification consisted of octenyl succinate anhydride (OSA) chains grafted mainly on the amylopectin molecules. A higher level of OSA substitution led to lower moduli values. The gel formation of HMPot was slower than the gel formation of native potato starch and HAPP. This was explained by the formation of amylose-OSA inclusion complexes and OSA-OSA hydrophobic interactions. Addition of sodium dodecyl sulphate (SDS) to HMPot reduced the moduli at lower concentrations (1 %). Further increase in SDS concentration (2 %) increased the moduli values. However, the moduli values were still lower than for pure HMPot. The decrease in the moduli when SDS was added is suggested to be due to a replacement of OSA by SDS in the amylose-inclusion complex. The strengthening of the existing OSA-OSA hydrophobic interaction when further SDS was added is explained by the formation of polymer-micelles.

INTRODUCTION

Modified starches are native starches that have been transformed (*e.g.*, cross-linked, esterified, hydrolised) to improve their properties. Potato starch may turn into an amphiphilic polymer after a hydrophobical modification, thus gaining surface active properties ready to stabilize oil/water systems. The hydrophobic modification of starches consists on grafting hydrophobic groups (about 1-2 %) either to the amylose or particularly to the amylopectin branches [3-6]. Amylose and amylopectin form inclusion complexes with hydrophobic ligand molecules (*i.e.*, fatty acids, iodine, flavour compounds or emulsifiers) [7]. Hydrophobicity of the ligand chains could lead amylose to coil around the complexing structures to form single amylose helices [7-9]. Mainly linear structures are included in the helical cavity of amylase [7], while molecules with a cyclic structure may be located between the helices in the amylose crystal [10]. A number of studies on amylopectin complexes have been reported as well [11-15]. The amount of ligand complexed to the starch depends on the size and structure of the ligand molecule [8, 16-20]. Octenyl succinate anhydride (OSA)-modified starches and other hydrophobically modified polymers are called associative thickeners since they can change the rheological properties of a sample by interacting with other components (*e.g.*, other polymers and surfactants). In a hydrophobically modified polymer, the hydrophobic tails grafted on the polymer are hydrophobically attracted to other neighbour hydrophobic chains grafted on the same or on another polymer. These hydrophobic tails may also be attracted to the hydrophobic tails of surfactant micelles [21].

Surfactant micelles form at surfactant concentrations above the critical micelle concentration (*cmc*) [22]. The concentration of surfactant below which no surfactant/polymer cooperative binding takes place is called the critical association concentration (*cac*) [23]. Hydrophobic interactions between a surfactant tail and a hydrophobic chain in the modified polymer initiate cooperative surfactant binding, where the hydrophobic chain is a template for the first surfactant molecule. Driven by the hydrophobic interaction with the already bound surfactant chain, another surfactant binds to the initial complex at an adjacent site. Mixed micelle-like aggregates with the hydrophobic polymer chains are formed above *cac* until surfactant saturate the grafted hydrophobic chains. This is true at a surfactant saturation concentration (c_{sat}), which depends on the hydrophobic modification, molecular weight, polymer concentration, and temperature. Micelles binding only one hydrophobic polymer chain at a time are the only further self-assembled structures formed when the surfactant concentration increases above c_{sat} [24, 25].

Rheological measurements are well established techniques that widely help to understand the behaviour and interactions between the different components of a system. This work aimed to study the influence of hydrophobic (OSA) chains on the rheological behaviour of hydrophobically modified potato starch (HMPot). The effect of OSA chains on the rheological properties was studied by mixing sodium dodecyl sulphate (SDS) with HMPot starch. SDS has a linear chain similar to OSA and might compete for the formation of an inclusion complex. In this study, the OSA hydrophobic groups substitution is present at the carbons 2, 3, and 6 in the glucose molecule [26].

MATERIALS AND METHODS

Materials

HMPot was provided by Lyckeby Stärkelsen (Nöbbelöv, Sweden) with nominally 1 and 2 % octenyl succinate anhydride (OSA) substitution degrees. They are refereed to as HMPot1 and HMPot2, respectively. SDS (M = 288.38; *cmc* ~0.24 % w/v (8.3 mM)[27]) was purchased from BDH Laboratory Supplies (Poole, England).

Methods

Rheological Measurements

The rheological behaviour of HMPot was studied at different starch concentrations (2-20 %). To reduce the amount of granular remnants in the sample, they were prepared following the procedure previously developed for high amylopectin potato starch (HAPP)[2]. For the SDS tests, SDS solutions were added at 60 °C under gently mixing to the previously dissolved samples. The final SDS concentration in the samples was 1 or 2 % SDS on starch basis. The samples were then transferred to the cone-plate geometry of a StressTech controlled stress rheometer (Reologica AB, Lund, Sweden), and the analysis was carried out at 10 °C. The storage and loss moduli (G' and G'') as function of time (t) were measured at 0.025 strain and at a frequency (f) of 0.2 Hz. After the curing, a frequency sweep (0.001-10 Hz) at 0.025 strain was performed. At least three different sample preparations were run, and their average reported with a coefficient variation less than 10 %.

RESULTS

Gels of Hydrophobically Modified Potato Starch

Figure 1a shows the curing process during 8 h at 10 °C for 2-20 % samples of HMPot1 at 0.2 Hz. The values of G' increased with curing time, and much faster than G'' (results not shown). The increase in the storage modulus was faster for the samples containing 15 and 20 % HMPot1. Figure 1b shows the mechanical spectra at the end of the measurements shown in Fig. 1a, *i.e.*, after 8 h at 10 °C. The values of G' and G'' showed frequency dependence, which decreased with increasing concentration. The viscoelastic behaviour illustrated by the frequency sweeps may be divided into two groups. For concentrations equal to or higher than 10 % G' was higher than G'', and showed almost no frequency dependence. From and below 5 % HMPot G' was lower than G'', and the moduli showed strong frequency dependence. For HMPot2, the results were similar to those for HMPot1 starch, although the limit for the two types of viscoelastic behaviour was 15 % HMPot2.

Gels with SDS

Figure 2a shows the curing process for 20 % of HMPot starches, with and without the addition of SDS. It can be seen that for HMPot1 the increase in G' with time was faster (< 10 min) when SDS was present. This phenomenon was enhanced when the SDS concentration was increased. After the initial increase, G' remained nearly constant. However, the G' values for pure HMPot1 were much higher than for the samples containing 1 and 2 % SDS. The values of G' for the HMPot1 sample containing 2 % SDS were higher than those for the sample containing 1 % SDS. Qualitatively comparable behaviour was observed for the HMPot2 samples with addition of SDS. However, the effect of SDS on the initial increase in G' was even stronger for HMPot2 than for HMPot1. Figure 2b shows the mechanical spectra for the samples shown in Fig. 2a. All samples showed solid-like behaviour ($G' > G''$) with a plateau in the G' at lower frequencies, and a slight frequency dependence for G'' at higher frequencies.

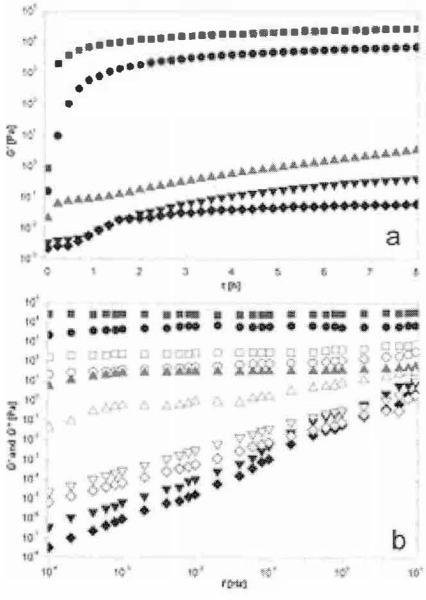


Figure 1. a) Storage modulus (G') against time for HMPot1 samples at different concentrations, after heating at 140 °C, quenching to 60 °C and measured at 10 °C at 0.025 strain and 0.2 Hz. b) Mechanical spectra for the HMPot1 samples in Fig. 1a. ■,□ = 20 %; ●,○ = 15 %; ▲,△ = 10 %; ▼,▽ = 5 %; ◆,◇ = 2 %. The closed symbols are the storage modulus (G'), and the open symbols are the loss modulus (G'').

DISCUSSION

Basic Characterisation of Hydrophobically Modified Potato Starches

Both HMPot starches dissolved faster at 140 °C in comparison with native potato starch and HAPP [1,2]. Even at concentrations as high as 20 % HMPot, 5 min heating was enough to produce a fluid sample. This fast dissolution of HMPot could be due to the derivatization process, which may have affected the granules and its crystalline structure, thus allowing them to swell and dissolve more easily than native potato starch and HAPP. However, the fast dissolution of HMPot granules remains controversial due to the fact that Maltese-crosses associated with the crystallinity order of native starch were observed in the granules. Moreover, the crystalline domains in OSA-starch were reported not to be significantly influenced by the derivatization process [28].

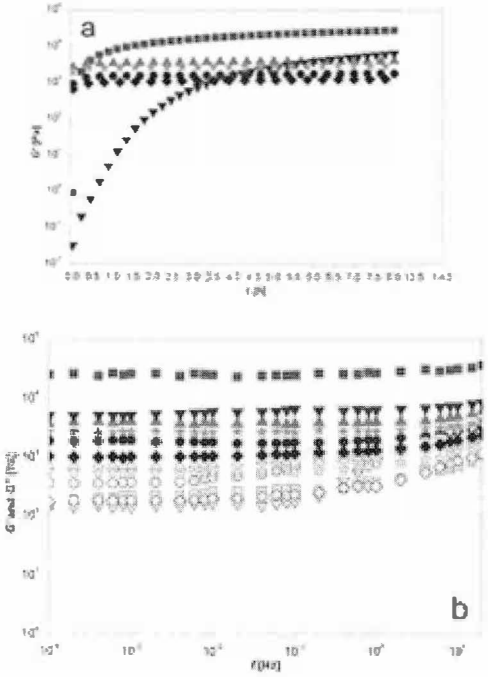


Figure 2. a) Storage modulus (G') against time for 20 % HMPot with and without 1 or 2 % SDS. b) Mechanical spectra for the samples shown in Fig. 3a: ■,□ = HMPot1; ●,○ = HMPot1 with 1 % SDS; ▲,△ = HMPot1 with 2 % SDS; ▼,▽ = HMPot2; ◆,◇ = HMPot2 with 1 % SDS; ★,< = HMPot2 with 2 % SDS. The closed symbols are the storage modulus (G'), and the open symbols are the loss modulus (G'').

Figure 3 compares the effect of total polysaccharide concentration on G' and G'' for HMPot1, HMPot2, native potato starch, and HAPP. The rheological behaviour for HMPot is significantly different from that of native potato starch and HAPP. The moduli for both HMPot were lower than for native potato and HAPP at concentrations lower than ~10 % HMPot1 and ~15 % HMPot2. When the HMPot concentration was higher than ~15 % for HMPot1 and ~20 % for HMPot2 the moduli of the HMPot samples increased strongly to values higher than those of native potato starch and HAPP. A relatively small difference in the degree of OSA substitution between HMPot1 and HMPot2 produced a large effect on the rheological behaviour compared to the difference in amylopectin content between native potato starch and HAPP. The moduli were higher for HMPot1 than for HMPot2 in the whole concentration range investigated. The different rheological behaviour of HMPot compared with native

potato starch and HAPP, *i.e.* slow increase in G' with time, and higher G' values of the final gels at concentrations above ~14 % for HMPot1 and ~20 % for HMPot2, may be explained by two phenomena, *i.e.* the formation of amylose-OSA and short outer amylopectin-OSA inclusion complexes, and the formation of hydrophobic associations between OSA chains.

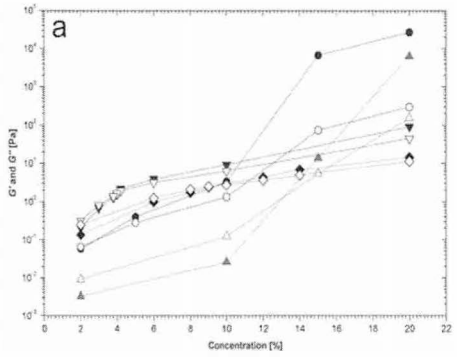


Figure 3. Limiting moduli (after 8 h curing time) against total polysaccharide concentration for HMPot, native potato starch and HAPP samples. ●,○ = HMPot1; ▲,△ = HMPot2; ▼,▽ = native potato starch [1]; ◆,◇ = HAPP [2]. The closed symbols are the storage modulus (G'), and the open symbols are the loss modulus (G'').

The formation of amylose-OSA, and short outer amylopectin chains-OSA inclusion complexes is expected to be due to the presence of amylose, amylopectin and OSA hydrophobic tails in HMPot (located mostly in its amylopectin). The flexibility and length of amylose allow the amylose molecule to extend and form complexes over more than one amylopectin molecule domain. In this way, the amylose-OSA complex could join neighbour amylopectin branches and hence form an extended network. Due to the limited length of the outer amylopectin branches, amylopectin-OSA inclusion complexes should be shorter and more local, therefore only neighbour amylopectin chains which are close enough would be joined by amylopectin-OSA inclusion complexes. Amylose-OSA inclusion complexes would thus be more efficient in forming networks than amylopectin-OSA inclusion complexes. A similar slow development in G' observed for the two hydrophobically modified starches has also been observed for the formation of inclusion complexes with other grafted polymers, like, amylose-hydrophobically modified ethyl (hydroxyl-ethyl) cellulose (HM-EHEC)[29].

Hydrophobic interactions between OSA chains located in neighbour amylopectin branch chains may also lead to the formation of a network. Network formation by hydrophobic interactions has been described for other hydrophobically modified graft-polymers like hydroxyethyl cellulose (HMHEC)[6], hydrophobically modified pullulan [30], ethoxylated alkali-soluble associative polymers (HASE)[31], hydrophobically modified polyacrylamide (HMPAM)[32], hydrophobically modified hydroxypropyl cellulose (HMHPC)[33], and polystyrene-block-polyethylene oxide associative water-soluble polymers (PS-block-PEO)[34, 35]. With increasing OSA modification, the ability of HMPot to form a network at short times was reduced especially at lower polysaccharide concentrations (10 % and less)(Fig. 1a). This may be due to substantial intra-molecular associations between the hydrophobic OSA tails present in the same amylopectin molecule at higher degree of OSA substitution. Because of this, the amylopectin molecules would contract and the possibility to form an extended network may be reduced. In this case, G' will decrease. An increase in G' would be observed only above a certain polymer concentration, when the contact points between polymers increase due to inter-molecular associations via OSA-OSA hydrophobic interactions and entanglements. Similar behaviour where an increase in the degree of hydrophobic modification induced intra-molecular associations has been reported for other grafted polymers like hydrophobically modified pullulan [30], hydrophobically modified dextrans [36], pyrenesulfonamide-labeled model associative polymers [35, 37], HMPAM [32], HMHPC [33], HASE [31], and HMHEC [6].

Mixtures with SDS

Whereas the HMPot, native potato starch, and HAPP samples without SDS were transparent, the addition of SDS induced turbidity in all samples, which indicates that aggregation had occurred. The addition of SDS to the HMPot samples resulted in an immediate gel formation. The moduli values for the samples containing SDS were lower than for the pure HMPot samples (Fig. 2a). Further increase in SDS concentration produced gels with higher values of the moduli; although still lower than for pure HMPot. The immediate formation of a stable gel (no time-dependence) when SDS was added to all starches may be due to the presence of micelle-polymer interactions, which are known to induce fast gel formation and stable gel networks [38-41]. Mobile SDS molecules may replace immobile OSA in the existing amylose-OSA and amylopectin-OSA complexes. In addition, the alkyl chains of OSA and SDS may self-associate by hydrophobic interactions. Therefore, it is expected that one or a few OSA chains become part of a SDS micelle, and the polymer chains become "cross-linked" or bridged by the SDS micelles (Fig. 2). With further SDS addition (up to 2 %), the dissociation of amylose-OSA or amylopectin-OSA complexes is expected to continue. At the same time, the added SDS may interact strongly with the hydrophobic OSA chains, which form hydrophobic bridges between amylopectin branches, leading to an increase in G'.

CONCLUSION

The influence of hydrophobic modification on the rheological properties of gels of hydrophobically modified potato starch (HMPot) and high amylopectin potato starch (HAPP) was studied using small deformation oscillatory rheometry. Two HMPot starches with different octenyl succinate anhydride (OSA) substitution degrees were investigated; HMPot1 and HMPot2, respectively. Higher levels of OSA substitution resulted in lower moduli (G' and G'') values. The gel formation of HMPot was slower than for native potato starch and HAPP. This is explained by a formation of both amylose-OSA inclusion complexes, and hydrophobic interactions between the OSA chains located mostly at the amylopectin branches. The addition of 1 % SDS to HMPot first caused a decrease in the moduli. Further increase in SDS concentration from 1 to 2 % resulted in higher values of the moduli; yet lower than for pure HMPot. A possible explanation for the decrease in the moduli is that SDS is replacing OSA chains in the amylose-inclusion complexes. With no amylose participation in the network, the moduli would initially decrease. Further addition of SDS would strengthen the still existing OSA-OSA hydrophobic interactions by polymer-micelles interactions, thus the moduli would increase.

ACKNOWLEDGMENT

Financial support was obtained from the Centre for Amphiphilic Polymers from Renewable Resources (CAP) at Lund University.

1 REFERENCES

1. Ortega-Ojeda, F., H. Larsson, and A.-C. Eliasson, *Gel Formation in Mixtures of High Amylopectin Potato Starch and Potato Starches.* Carbohydrate Polymers, 2004. **56**(4): p. 505-515.
2. Ortega-Ojeda, F., H. Larsson, and A.-C. Eliasson, *On the Dispersion and Small-Amplitude Oscillation Measurements of High Amylopectin Potato Starch.* Starch/Stärke, 2003. **55**(3-4): p. 121-130.
3. Shogren, R.L., A. Viswanathan, F.C. Felker, and R.A. Gross, *Distribution of Octenyl Succinate Groups in Octenyl Succinic Anhydrate Modified Waxy Maize Starch.* Starch/Stärke, 2000. **52**: p. 196-204.
4. Tesch, S., C. Gerhards, and H. Schubert, *Stabilization of emulsions by OSA starches.* Journal of Food Engineering, 2002. **54**: p. 167-174.
5. Viswanathan, A., *Effect of Degree of Substitution of Octenyl Succinate Starch on the Emulsification Activity on Different Oil Phases.* Journal of Environmental Polymer Degradation, 1999. **7**(4): p. 191-196.
6. Sau, A.C. and L.M. Landoll, *Synthesis and Solution Properties of Hydrophobically Modified (Hydroxyethyl)cellulose*, in *Polymers in Aqueous Media*, J.E. Glass, Editor. 1989, American Chemical Society: Washington DC. p. 343-364.
7. Thompson, J.C. and E. Hamori, *A Kinetic Investigation of the Amylose-Iodine Reaction.* The Journal of Physical Chemistry, 1971. **75**(2): p. 272-280.
8. Kuge, T. and K. Takeo, *Complexes Formation of Starch with Organic Substances. Affinity Observed by Gas Chromatography.* Agricultural and Biological Chemistry, 1967. **31**(2): p. 257-258.
9. Yamagishi, A., T. Imamura, and M. Fujimoto, *Kinetic study of the formation and decomposition of amylose-iodine-iodide complex.* Bulletin of the Chemical Society of Japan, 1972. **45**(8): p. 2304-2308.
10. Helbert, W., H. Chanzy, V. Planchot, A. Buléon, and P. Colonna, *Morphological and Structural Features of Amylose Spherocrystals of A-Type.* Int. J. Biol. Macromol., 1993. **15**(June): p. 183-187.
11. Gudmundsson, M. and A.-C. Eliasson, *Retrogradation of Amylopectin and the Effects of Amylose and Added Surfactants/Emulsifiers.* Carbohydr. Polymers, 1990. **13**: p. 295-315.
12. Batres, L.V. and P.J. White, *Interaction of amylopectin with monoglycerides in a model system.* J. Am. Oil Chem. Soc., 1986. **63**(12): p. 15371540.
13. Lundqvist, H., A.-C. Eliasson, and G. Olofsson, *Binding of hexadecyltrimethylammonium bromide to starch polysaccharides. Part I. Surface tension measurements.* Carbohydrate Polymer, 2002. **49**(1): p. 43-55.
14. Lundqvist, H., A.-C. Eliasson, and G. Olofsson, *Binding of hexadecyltrimethylammonium bromide to starch polysaccharides. Part II. Calorimetric study.* Carbohydrate Polymer, 2002. **49**(2): p. 109-120.
15. Ortega-Ojeda, F., H. Larsson, and A.-C. Eliasson, *Gel Formation in Mixtures of Hydrophobically Modified Potato and High Amylopectin Potato Starch.* Carbohydrate Polymers, 2005. **59**(3): p. 313-327.
16. French, D., A.O. Pulley, and W.J. Whelan, *Starch fractionation by hydrophobic complex formation.* Starch-Starke, 1963. **15**: p. 349-354.
17. Kuge, T. and K. Takeo, *Complexes of Starchy Materials with Organic Compounds. II. Complex Formation in Aqueous Solution and Fractionation of Starch by l-Menthone.* Agricultural and Biological Chemistry, 1968. **32**(10): p. 1232-1238.
18. Schierbaum, F., *Über die Inklusion organischer Lösungsmittel durch Stärke.* Die Nahrung, 1959. **3**: p. 102-116.
19. Osman-Ismail, F. and J. Solms, *The Formation of Inclusion Compounds of Starches with Flavor Substances.* Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 1973. **6**(4): p. 147-150.
20. Ulmann, M. and F. Schierbaum, *Zur Bindung organischer Lösungmittel durch Kartoffelstärke.* Kolloid-Zeitschrift, 1958. **156**: p. 156-157.
21. Thuresson, K., B. Nystroem, G. Wang, and B. Lindman, *Effect of Surfactant on Structural and Thermodynamic Properties of Aqueous Solutions of Hydrophobically Modified Ethyl(hydroxyethyl)cellulose.* Langmuir, 1995. **11**(10): p. 3730-3736.
22. Klevens, H.B., *The critical micelle concentration of anionic soap mixtures.* Journal of Chemical Physics, 1946. **14**: p. 742.
23. Herzfeld, S.H., M.L. Corrin, and W.D. Harkins, *The effect of alcohols and of alcohols and salts on the critical micelle concentration of dodecylammonium chloride.* Journal of Physics and Colloid Chemistry, 1950. **54**: p. 271-283.
24. Piculell, L., K. Thuresson, and B. Lindman, *Mixed Solutions of Surfactant and Hydrophobically Modified Polymer.* Polymers for Advanced Technologies, 2001. **12**: p. 44-69.
25. Jönsson, B., B. Lindman, K. Holmberg, and B. Kronberg, *Surfactant-Polymer Systems*, in *Surfactants and Polymers in Aqueous Solution*. 1999, John Wiley & Sons. p. 219-245.
26. Jeon, Y.-S., A. Viswanathan Lowell, and R.A. Gross, *Studies of Starch Esterification: Reactions with Alkenylsuccinates in Aqueous Slurry Systems.* Starch/Stärke, 1999. **51**(2-3): p. 90-93.
27. Tanford, C., *Thermodynamics of Micelle Formation*, in *The Hydrophobic Effect Formation of Micelles and Biological Membranes*. 1973, Wiley-Interscience: New York. p. 45-59.
28. Bao, J., J. Xing, D.L. Phillips, and H. Corke, *Physical Properties of Octenyl Succinic Anhydride Modified Rice, Wheat, and Potato Starches.* Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003. **51**(8): p. 2283-2287.
29. Egermayer, M., M. Karlberg, and L. Piculell, *Gesl of Hydrophobically Modified Ethyl(hydroxyethyl) Cellulose Cross-Linked by Amylose: Effects of Hydrophobe Architecture.* Langmuir, 2003. **Submitted**.
30. Kuroda, K., F. Kazushi, and S. Junzo, *Hierarchical Self-Assembly of Hydrophobically Modified Pullulan in Water: Gelation by Networks of Nanoparticles.* Langmuir, 2002. **18**(10): p. 3780-3786.
31. Tam, K.C., M.L. Farmer, R.D. Jenkins, and D.R. Bassett, *Rheological properties of hydrophobically modified alkali-soluble polymers-effects of ethylene-oxide chain length.* Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics, 1998. **36**(13): p. 2275-2290.
32. Panmai, S., R.K. Prud'homme, and D.G. Peiffer, *Rheology of hydrophobically modified polymers with spherical and rod-like surfactant micelles.* Colloids and Surfaces, A: Physicochemical and Engineering Aspects, 1999. **147**(1-2): p. 3-15.
33. Taylor, K.C. and H.A. Nasr-El-Din, *Water-soluble hydrophobically associating polymers for improved oil recovery: A literature review.* Journal of Petroleum Science & Engineering, 1998. **19**(3-4): p. 265-280.
34. Boschet, F., C. Branger, and A. Margaillan, *Synthesis and characterization of PS-block-PEO associative water-soluble polymers.* European Polymer Journal, 2003. **39**(2): p. 333-339.
35. Ballard, M.J., R. Buscall, and F.A. Waite, *The theory of shear-thickening polymer solutions.* Polymer, 1988. **29**(7): p. 1287-1293.
36. Zhang, J., R. Pelton, and L. Waagberg, *Aqueous biphase formation by mixtures of dextran and hydrophobically modified dextran.* Colloid and Polymer Science, 1998. **276**(6): p. 476-482.
37. Ezzell, S.A. and C.L. McCormick, *Water-soluble copolymers. 39. Synthesis and solution properties of associative acrylamido copolymers with pyrenesulfonamide fluorescence labels.* Macromolecules, 1992. **25**(7): p. 1881-1886.
38. Myers, D., *Surfactants in Solution: Micellization and Related Association Phenomena*, in *Surfactants Science and Technology*. 1988. VCH Publishers: New York. p. 81-151.
39. Nagarajan, R., *Thermodynamics of surfactant-polymer interactions in dilute aqueous solutions.* Chemical Physics Letters, 1980. **76**(2): p. 282-286.
40. Goddard, E.D., J.A. Faucher, R.J. Scott, and M.E. Turney, *Adsorption of polymer JR on keratinous surfaces. II.* Journal of the Society of Cosmetic Chemists, 1975. **26**(11): p. 539-550.
41. Axberg, C., A.M. Wennerburg, and P. Stenius, *Flocculation of waste emulsions using polyelectrolytes.* Progress in Water Technology, 1980. **12**(6): p. 371-384.

ESTABILIZACION Y DESESTABILIZACION DE EMULSIONES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Noemi Zaritzky
Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA). CONICET-UNLP
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Calle 47 y 116, La Plata (1900), Argentina.
E-mail: zaritzky@volta.ing.unlp.edu.ar

Palabras clave: propiedades fisicoquímicas, emulsiones de bajo contenido graso, reología hidrocoloides, efluentes emulsionados

RESUMEN

Las emulsiones constituyen sistemas importantes en industria alimentaria. Las emulsiones aceite/agua (o/w) con tenor graso reducido son inestables y se les suele adicionar hidrocoloides para estabilizarlas, basándose en la capacidad que tienen los hidrocoloides para estructurar la fase continua del medio En contraste, la presencia de aceite emulsificado en efluentes provenientes de la industria alimentaria puede interferir con tratamientos terciarios o avanzados y también puede causar serios problemas en la etapa del tratamiento biológico, por lo que es necesario un tratamiento químico previo que las desestabilice, utilizando coagulantes y floculantes.

En la primera parte de la conferencia se discuten los resultados obtenidos en la estabilización de emulsiones alimentarias de bajo contenido lipídico y en la segunda parte, la desestabilización de efluentes emulsionados mediante la adición de agentes químicos.

Con respecto a las emulsiones de bajo tenor graso se discuten los efectos producidos por la presencia de hidrocoloides y de almidón sobre sus propiedades reológicas (estudios de viscoelasticidad) analizando además la estabilidad y velocidad de cremado mediante el análisis de la luz dispersada por las emulsiones con un equipo QuickScan (Beckman Coulter) Las distribuciones de tamaño de gotas fueron medidas en un Malvern Mastersizer-X y además se usó análisis de imágenes en micrografías obtenidas con un microscopio óptico. Se describen a modo de ejemplo los resultados obtenidos con emulsiones aceite/agua (o/w) preparadas usando Tween 60 como emulsificante (1%), aceite de girasol (concentraciones entre 25 y 40%) y una fase acuosa conteniendo almidón y/o hidrocoloides (gomas guar o goma xántica); además se consideró el efecto de la fuerza iónica.

En lo referente a la desestabilización de efluentes emulsionados se trabajó con sistemas o/w que contenían diferentes concentraciones de aceite de girasol, cloruro de sodio y como surfactantes dodecil o tetradecil sulfato de sodio. Los métodos de análisis fueron: titulación coloidal, observación microscópica y turbidimetría. Se analizó el efecto de la fuerza iónica del sistema, la longitud de la cadena de surfactante, el tamaño de las gotas de la emulsión y el pH sobre las dosis de quitosano, poliacrilamida o sulfato de aluminio necesarias para desestabilizar las emulsiones y se propusieron mecanismos para interpretar los resultados.

INTRODUCCIÓN

Las emulsiones constituyen sistemas importantes en la industria alimentaria.Una emulsión es una dispersión de dos líquidos, uno de los cuales forma la fase continua del sistema.; este sistema es termodinámicamente inestable.

Los emulsificantes son sustancias que se utilizan para estabilizar las emulsiones y comprenden una gran variedad de moléculas, entre las que se encuentran compuestos anfipáticos (sustancias que poseen tanto propiedades polares como no polares) de peso molecular medio (surfactantes). El rol de los surfactantes es esencial para proveer una estabilidad a largo plazo ya que éstos evitan la coalescencia de las gotas adsorbiéndose en la interfase aceite-agua y, de este modo, aumentan las interacciones repulsivas entre las gotas.

Las emulsiones aceite/agua (o/w) con reducido tenor graso son más inestables y se les suele adicionar hidrocoloides que ayudan a estabilizar este tipo de sistemas. Sus propiedades estabilizantes se basan en la capacidad que tienen para estructurar la fase continua del medio, lo cual depende de su concentración, solubilidad en agua y/o de la formación de asociaciones intermoleculares. La formación de una estructura tipo gel impide que el sistema se desestabilice por efecto de las fuerzas gravitatorias (Mc Clements, 1999). En el presente trabajo se estudian los efectos producidos por la presencia de hidrocoloides (goma xántica y guar) y de almidón sobre las propiedades reológicas de emulsiones de bajo tenor graso.

En contraste, la presencia de aceite emulsificado en efluentes provenientes de la industria alimentaria puede interferir con tratamientos terciarios o avanzados y también puede causar serios problemas en la etapa del tratamiento biológico, por lo que es necesario un tratamiento químico previo que las desestabilice. Los métodos físico-químicos para desestabilizar sistemas emulsionados emplean coagulantes y floculantes como sales inorgánicas y polielectrolitos. Los polielectrolitos pueden ser naturales como el quitosano o sintéticos como las poliacrilamidas catiónicas. El quitosano (poli [β-(1→4)-2-amino-2-deoxi-D-glucopiranosa]),es un poliaminosacárico que se obtiene por deacetilación alcalina de la quitina. La remoción de alguno de los grupos acetilo de la quitina libera grupos amino, lo que imparte al quitosano naturaleza catiónica

Los objetivos de esta disertación son: 1) Discutir los efectos del agregado de hidrocoloides en la estabilización de emulsiones alimentarias de bajo contenido lipídico analizando el comportamiento reológico y la microestructura del sistema 2) analizar los mecanismos de desestabilización de efluentes emulsionados mediante la adición de diversos agentes químicos tales como sulfato de aluminio, poliacrilamida y quitosano y determinar las dosis adecuadas en cada caso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estabilización de emulsiones de bajo contenido graso: Se formularon sistemas modelo de emulsiones (o/w) utilizando aceite comestible de girasol en dos niveles de concentración 35 o 40 % p/p; como surfactante se utilizó el sorbitol esterificado con ácido esteárico en el cual sus grupos hidroxilos se encuentran etoxilados (Tween 60, 1 % p/p). Los hidrocoloides se agregaron en la fase acuosa; se utilizaron almidón (A, 5 % p/p) goma xántica (GX) y goma guar (GG), (1%p/p). Todas las concentraciones se expresan como % en fase acuosa. El efecto de la fuerza iónica se analizó añadiendo cloruro de sodio a la fase acuosa (0.05 M). Para la preparación de los diferentes sistemas emulsionados se utilizó un homogeneizador Ultra-Turrax T25 a una velocidad de 11500 rpm y un tiempo de emulsificación de 4 minutos. Los ensayos reológicos dinámicos (G', G" vs. frecuencia, (ω)) y de estado estacionario (viscosidad (η) vs. velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$)) se realizaron utilizando un Reómetro de esfuerzo controlado RS 150 (Haake, Alemania). Los ensayos de relajación (G(t) vs. tiempo para distintas deformaciones) correspondientes al rango de viscoelasticidad no lineal se realizaron en un reómetro de deformación controlada Ares (Rheometrics Sci., Alemania). Ambos equipos pertenecen al Laboratorio de Reología de la Universidad de Huelva, España. (Quintana, Califano, Zaritzky, Partal, 2002;Quintana, Califano, Zaritzky, Partal, Franco, 2002). Las distribuciones de tamaños de gota de las emulsiones se determinaron con el Malvern MasterSizer-X (Malvern, UK) perteneciente a la Universidad de Sevilla, España. Asimismo se utilizó un microscopio Óptico Leica con sistema de adquisición de Imágenes perteneciente al CIDCA (Univ. Nacional de La Plata, Argentina). La estabilidad y velocidad de cremado de los

sistemas se estudió mediante el análisis de la luz dispersada por las emulsiones (Quintana, Califano, Zaritzky 2002) con un equipo QuickScan (Beckman Coulter).

Desestabilización de efluentes emulsionados

Como sistema modelo de efluente se trabajó con distintas emulsiones aceite de girasol/agua. Se prepararon las emulsiones variando i) la concentración de NaCl desde 10^{-3} a 10^{-1} mol/l, a fin de estudiar la influencia de la fuerza iónica ii) el tipo de surfactante: dodecil y tetradecil sulfato de sodio, para analizar el efecto de la longitud de la cadena de surfactante iii)la concentración de surfactante entre 0.20 y 0.05 g/l, dejando constante la de aceite, y variando la concentración de aceite entre 5 y 1.33 g/l, dejando la de surfactante constante iv) el pH del sistema,v) el tamaño de las gotas de la emulsión para modificar la relación área/volumen. (Pinotti,. Bevilacqua, Zaritzky,1997, 2001; Pinotti , Zaritzky, 2001)

Para preparar las emulsiones se usó un molino coloidal marca Colmil, modelo AD-35 R, a velocidad máxima, durante 15 minutos. Para estudiar el efecto del tamaño de gotas, los tiempos de agitación se redujeron a 7.30 y 3.75 min. Los surfactantes usados para preparar las emulsiones fueron dodecil sulfato de sodio y tetradecil sulfato de sodio de pesos moleculares 288.16 y 316.88, respectivamente. El aceite de girasol utilizado fue un aceite de tipo comercial. Como agentes floculantes se trabajó con sulfato de aluminio, quitosano y una poliacrilamida catiónica (C-496 de Cytec de Argentina).

A fin de poder establecer un análisis comparativo se eligió un desestabilizante natural, uno sintético y un coagulante tradicional como el sulfato de aluminio.

Jar test: Los experimentos de floculación se llevaron a cabo en un jar test marca Decalab de 6 agitadores, cuya velocidad alcanza a 250 rpm. Se tomaron muestras de 500 ml, a las que se adicionaron distintas dosis de sulfato de aluminio, quitosano o poliacrilamida La agitación fue rápida durante 3 minutos y luego se agitó lentamente (50 rpm) durante 20 minutos.

Turbidez: Las medidas de turbidez se realizaron en un turbidímetro La Motte, modelo 2008, en unidades nefelométricas (NTU) en función de la dosis de desestabilizante.

Observación microscópica: se realizaron observaciones de las emulsiones y de los flóculos formados, con un microscopio óptico marca Leitz Ortholux II provisto de cámara fotográfica (Leitz, Germany), comprobándose la estabilidad de la emulsión original por observación de la misma después de 24 horas. Se tomaron fotografías de las distintas emulsiones y de los flóculos formados. También se observaron los flóculos obtenidos a través de un microscopio electrónico (Environmental Scanning Electron Microscope 2010, Philips).

Microelectroforesis: en general, la carga de coloides orgánicos, inorgánicos y biológicos en agua es negativa; esta carga atrae una nube de iones positivos. Normalmente se describe a estas cargas agrupadas en dos capas de distinta densidad: la interna es una capa densa de iones adsorbidos, mientras la externa es menos densa. La interna se llama capa de Stern. Entre ambas capas se ubica el plano de corte, que representa el límite externo para el movimiento del fluído. Los iones externos al plano de corte se mueven independientemente de la partícula y están sujetos al movimiento térmico y al movimiento del fluído.

El potencial eléctrico o potencial zeta, en el plano de corte, se puede medir y es una medida de la estabilidad del coloide y representa el potencial necesario para penetrar en la capa de iones que circunda a la partícula coloidal. La determinación del potencial zeta se puede realizar midiendo la movilidad electroforética, bajo la influencia de un potencial aplicado.

El sistema coloidal cuya movilidad electroforética se desea medir se coloca en una celda capilar con electrodos en los extremos, la cual va montada sobre un microscopio provisto con retículos calibrados. El procedimiento se basa en seguir el movimiento de partículas coloidales a lo largo de una distancia finita, bajo la influencia de una determinada diferencia de potencial. Cuando un líquido conteniendo partículas cargadas se coloca en un campo eléctrico, las partículas positivas son atraídas hacia el electrodo negativo y las negativas hacia el positivo. Para determinar la movilidad electroforética se construyó una celda cuyo diseño se basa en la utilizada por primera vez por Briggs (1940) y luego por otros investigadores. La celda fue construida de vidrio equipada con dos electrodos de platino. Por medio de una fuente de corriente continua conectada a los electrodos se suministró la energía necesaria para el movimiento de las partículas. Fijando la fuente en 200 volt, se observó la dirección y la velocidad de migración de los componentes de la emulsión con un microscopio óptico marca Leitz (Alemania), midiendo el tiempo que tardaban dichos componentes en atravesar dos divisiones de la escala colocada en el ocular del microscopio. Utilizando la celda diseñada se determinó movilidad electroforética de las distintas muestras.

Titulación coloidal: es una técnica que permite determinar características de carga de coloides y el punto isoeléctrico del sistema (Kawamura y col., 1967).Un coloide negativo puede ser titulado con un sistema coloidal con carga positiva de manera estequiométrica, formándose un precipitado cerca del punto isoeléctrico. Un ejemplo es la reacción entre sulfato de polivinilo y metil glicol quitosano. El polivinilo tiene un grupo funcional $-SO_4H$ y se ioniza formando $-SO_4^-$, con la producción de un coloide negativo. El metil glicol quitosano (MGQ) es un polisacárido positivo que actúa como un agente titulante positivamente cargado en todo el rango de pH. Los dos coloides reaccionan estequiométricamente formándose un precipitado insoluble. El azul de toluidina puede ser usado como indicador del punto final de la reacción. Cuando una concentración desconocida de un coloide negativo debe ser determinada, se agrega una cantidad conocida de metil glicol quitosano al coloide negativo. Los coloides con carga opuesta reaccionan estequiométricamente y se neutralizan. El exceso de MGQ es titulado con polivinilsulfato de potasio (PVSK) usando el azul de toluidina (TA) como indicador.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Estabilización de emulsiones de bajo contenido graso: Distribución de Tamaños de Gotas

La adición de hidrocoloides a la fase continua de las emulsiones analizadas no modificaron las distribuciones de tamaños de gota obtenidas con el Malvern Master Sizer Equipment. Los resultados obtenidos fueron similares a los obtenidos por microscopía óptica. La distribución de tamaños fue bimodal y el diámetro medio de los sistemas se hallaba entre 2-3 µm. La presencia de NaCl (aumento de la fuerza iónica del medio) no afectó las distribuciones de tamaños de gota. Mediante la observación microscópica de los sistemas se pudo determinar que las emulsiones que contenían xántica se encontraban floculadas.

Estudios Reológicos

Curvas de flujo: los sistemas estudiados presentaron comportamiento de tipo pseudoplástico ("shear thinning"). Las curvas de η vs. $\dot{\gamma}$(velocidad de deformación relativa) muestran que a bajos $\dot{\gamma}$ se alcanzan valores límites de η (η_0). Los valores de η_0 se incrementan cuando aumenta el porcentaje de GX en la emulsión. La GG mostró valores de η_0 sensiblemente menores. La presencia de NaCl no afectó este tipo de curvas reológicas excepto en el caso del almidón.

Ensayos dinámicos (viscoelasticidad lineal): Los barridos de frecuencia mostraron que los módulos G´(modulo de almacenamiento) y G" (módulo de pérdida) corresponden a un gel débil poco estructurado para sistemas conteniendo A o GX en donde G´ es siempre mayor que G", mientras que los que contienen únicamente GG corresponden a una solución concentrada con cruce de curvas de G´ y G". Los módulos dinámicos resultaron mayores para las emulsiones con GX conteniendo menor contenido de aceite que corresponden a un mayor % de GX en la emulsión (0.65% frente a 0.6%) (Fig.1). El agregado de NaCl no modificó significativamente los módulos G´ y G" en los sistemas que contenían GX, sin embargo los módulos disminuyeron significativamente en los sistemas que contenían almidón únicamente.

El comportamiento viscoelástico lineal fue descripto mediante el Modelo Generalizado de Maxwell, el cual conduce al espectro discreto de relajación del material.

Se observó que el efecto espesante de los estabilizantes gobernaba el comportamiento reológico de los sistemas permitiendo obtener una emulsión estable con un contenido de lípido más bajo. La mayor estructuración de los sistemas conteniendo goma xántica se debe a que las emulsiones se encuentran floculadas de modo que permiten la formación de una red que se extiende uniformemente por todo el sistema

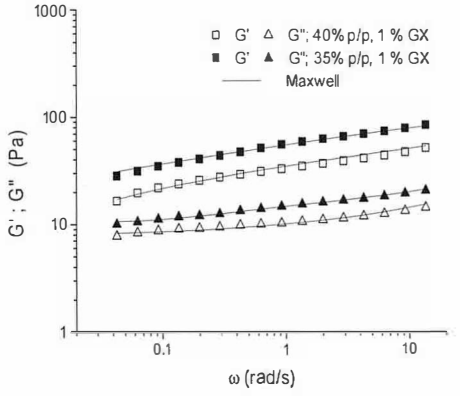


Figura 1 Barrido de frecuencias en el rango viscoelástico lineal correspondiente a emulsiones aceite /agua (35 y 40 % p/p) con el agregado de GX (1% p/p en fase acuosa)

Desestabilizacion de efluentes emulsionados

A través de los resultados experimentales se determinó la existencia de una relación lineal entre la carga coloidal inicial y la movilidad electroforética inicial Asimismo se determinaron las dosis adecuadas para lograr la mínima turbidez (máxima desestabilización de la emulsión) que coincidía en el caso de quitosano y la poliacrilamia catiónica con las dosis necesarias para lograr carga coloidal nula en el sistema.

Por otra parte se observó que a medida que disminuyó la longitud de la cadena de surfactante (dodecilsulfato de sodio respecto a tetradecilsulfato) o bien aumentó la concentración de NaCl, se produjo una disminución de las dosis de los desestabilizantes requeridas para lograr carga coloidal nula.

El fenómeno de redispersión o sea el aumento de turbidez debido a la saturación de sitios vacantes necesarios para la formación de puentes se observó en los sistemas tratados con quitosano y poliacrilamida, pero no en el caso del sulfato de aluminio (Fig.2). Por otra parte los cambios de pH no influyeron significativamente en las dosis de quitosano o de poliacrilamida catiónica necesarias para flocular el sistema, pero sí en el caso del tratamiento con sulfato de aluminio.

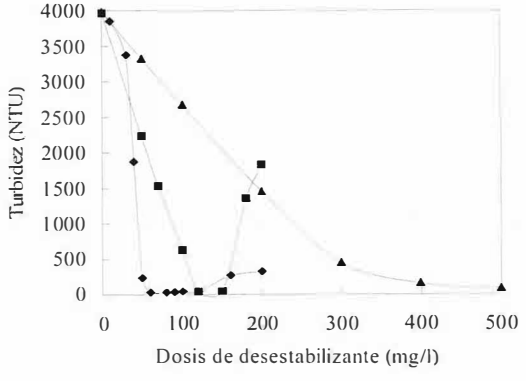


Figura 2 Turbidez en función de la dosis de desestabilizante, (♦) quitosano, (■) poliacrilamida y (▲) sulfato de aluminio para una emulsión conteniendo 10^{-3} mol/l NaCl conteniendo dodecil sulfato de sodio como surfactante.

Se observó un efecto significativo del tiempo de tratamiento en la variación de la turbidez residual. En las muestras tratadas con sulfato de aluminio la clarificación no fue instantánea; se necesitaron períodos de 4 horas para lograr la clarificación del sistema y las dosis requeridas fueron altas (500 mg/l).

En el caso de aplicar poliacrilamida o quitosano, la clarificación se logró en forma casi instantánea, con dosis de 120 y 100 mg/l respectivamente; por otra parte la turbidez residual (50 NTU) prácticamente no varió con el tiempo una vez aplicado el floculante.

CONCLUSIONES.

Se demostró mediante los estudios reológicos que el efecto espesante de los hidrocoloides gobierna el comportamiento de los sistemas, permitiendo obtener una emulsión estable con un contenido de lípido más bajo. La mayor estructuración de los sistemas conteniendo goma xántica determinados a partir de estudios de relajación y observación microscópica se debe a que las emulsiones se encuentran floculadas de modo que permiten la formación de una red que se extiende por todo el sistema

En lo referente a desestabilización de efluentes emulsionados mediante la adición de floculantes y coagulantes los resultados mostraron que a medida que disminuyó la longitud de la cadena de surfactante o aumentó la concentración de NaCl se produjo una disminución de la dosis para lograr carga coloidal nula (determinada por titulación coloidal). Los cambios de pH no influyeron significativamente sobre las dosis de quitosano o de poliacrilamida catiónica necesarias para flocular el sistema, pero sí en el caso del tratamiento con sulfato de aluminio. También se observó un efecto del tiempo en la variación de la turbidez residual; en las muestras tratadas con sulfato de aluminio la clarificación no fue instantánea. En el caso de aplicar poliacrilamida o quitosano, la turbidez residual prácticamente no varió con el tiempo una vez aplicado el floculante

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación recibida de las siguientes instituciones: Universidad Nacional de La Plata, CONICET y Agencia Nacional de Promoción Cientifica y Tecnológica de Argentina.

REFERENCIAS

-Briggs D.R. 1940. A Pyrex All-Glass Microelectrophoresis Cell. Anal.Chem., 12: 703-705.

-Kawamura, S., Hanna, G.P. y Shumate, K.S. 1967. Application of Colloid Titration Technique to Flocculation Control. *Journal AWWA,* 59, 1003-1013

-McClemens D.J. 1999. Food Emulsions: Principles, Practice and Techniques. Florida: CRC Press.

-Pinotti,A. Bevilacqua A E. Zaritzky N. 2001. Comparison of the Performance of Chitosan and a Cationic Polyacrylamide as Flocculants of Emulsion Systems. Journal of Surfactants and Detergents 4 (1): 47-63.

-Pinotti A., Zaritzky N. 2001 Effect of aluminum sulfate and cationic polyelectrolytes on the destabilization of emulsified wastes. Waste Management 21: 535-542 .

-Pinotti A., Bevilacqua A., Zaritzky N. 1997. Optimization of the flocculation stage in a model system of a food emulsion waste using chitosan as polyelectrolyte. Journal of Food Engineering 32: 69-81.

-Quintana, J.M., Califano A. Zaritzky N. 2002. Microstructure and stability of non protein stabilized oil-in-water food emulsions measured by optical methods. Journal of Food Science, 67 (3): 1130-1135.

-Quintana, J.M, Califano, A.N., Zaritzky, N.E., Partal, P. 2002. Effect of salt on the rheological properties of low-in-fat O/W emulsions stabilized with polysaccharides.Food Science and Technology International 8, (4): 213-222

-Quintana, J.M, Califano, A.N., Zaritzky, N.E., Partal, P.Franco J.M. 2002.Linear and non linear viscoelastic behavior of oil in water emulsions stabilized with polysaccharides. Journal of Texture Studies 33(3): 215-236.

TRENDS IN FOOD DEEP-FAT FRYING

Pedro Bouchon
Departmento de Ingeniería Química y Bioprocesos
Pontificia Universidad Católica de Chile, PO Box 306, 6904411, Chile
pbouchon@ing.puc.cl

Keywords: deep-fat frying, vacuum frying, oil absorption, snack

SUMMARY
Consumer trends towards healthier food create the need to reduce oil content in deep-fat fried products as well as the necessity to provide a nutritive food snack with desired sensory attributes. This difficult task may be achieved using different approaches, one of them being the development of an alternative processing technology. Vacuum deep-fat frying is a new technology that can be used to improve quality attributes of fried food because of the low temperatures employed and minimal exposure to oxygen. The objective of this paper is to describe main microstructural changes occurring during deep-fat frying and their relationships to key quality attributes, and to present vacuum deep-fat frying as a new technology capable to address some of the new challenges.

INTRODUCTION

Deep-fat or immersion frying is an old and popular process for the cooking of foods, which was originated and developed around the Mediterranean area, due to the influence of olive oil (Varela, 1998). Today, numerous processed foods are prepared by deep-fat frying all over the world, since in addition to cooking, frying provides unique flavors and textures that improve the overall palatability. In fact, the desirable characteristics of most fried foods are derived from the formation of a composite structure: a crispy, porous, and oily outer layer or crust, and a moist cooked interior or core, whose microstructures formed during the process.

Fried foods are consumed in large amounts, and one of the most important quality parameters of such products is the amount of fat absorbed during the process, which is incompatible with new consumer trends towards healthier food and low fat products. Oil consumption, especially saturated fat, is recognized as one of the major factors playing a significant adverse role in health hazard, such as coronary heart disease, cancer, diabetes and hypertension (Saguy and Dana, 2003). In addition, during deep-fat frying degradation of important nutritional compounds may occur as well as the generation of toxic molecules such as acrylamide in the foodstuff and toxic compounds in the oil (Rojas – González et al., 2006). Consequently efforts should be addressed not only in the development of a snack with a low fat content, but also a food product with a greater nutritional value without incorporation of detrimental and/or toxic compounds.

Despite such market forces, consumption of snack foods is increasing in developed and developing countries, and fried products still contain large amounts of fat (up to 40% in potato chips). For instance, in the United States consumers eat four or more snacks a day and consume more than 6.5 billion pounds of snack food annually. As such, salty snacks account for slightly over half of total snack sales and are consequently a large part of the American diet (Mintel, 2006). Key growth categories are those that offer a wide range of product alternatives, adhering to convenience, sensory and health trends. In terms of health, interest in salty snack products that are organic or all natural, low-calorie, low-fat, low-carbohydrate, low-sodium or offer some health-promoting benefit, are in greater demand by consumers. Although consumers are in terested in healthier snack products, they are not willing to sacrifice flavor. Intense and full-flavor snacks remain an important trend in the snack market (Mariscal and Bouchon, 2007).

In this paper changes of main product constituents and their influence on main quality parameters of fried food including oil uptake are presented. In addition, vacuum frying is introduced as a new technology that can be utilized to overcome some of the negative effects induced by atmospheric frying.

MAIN MICROST RUCTURAL CHANGES OCCURRING DURING DEEP-FAT FRYING

Deep-fat frying is defined as a process where a food is cooked by immersing it in an edible oil or fat heated above the boiling point of water. The process is traditionally carried out under atmospheric conditions and the frying temperature is usually near to 180 °C (Dobraszczyk et al., 2006). It is a complex unit operation involving high temperatures and significant microstructural changes both to the surface and the body of the chip.

As shown in Figure 1, frying induces physicochemical alterations of major food components at the cellular level. In fact, most of the desirable characteristics of fried foods are derived from the formation of a composite structure, which develops due to these changes. The crust is the result of changes at the cellular and sub-cellular levels in the outermost layers of the product. These chemical and physical changes include: physical damage produced when the product is cut and a rough surface is formed with release of intracellular material; starch gelatinization and consequent dehydration; protein denaturation; breakdown of adhesive forces between the cells; water evaporation, rapid dehydration, expansion and browning of the tissue, and finally oil uptake itself. These changes begin at the outside surface of the foodstuff and propagate inwards as cooking progresses.

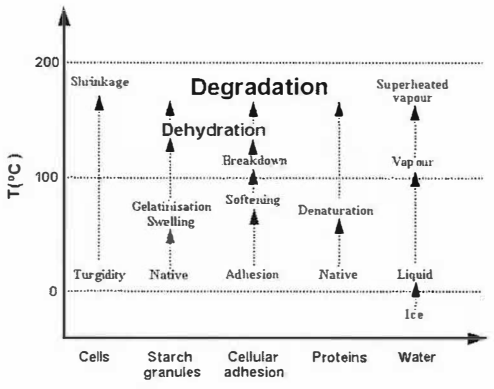


Figure 1. Schematic representation of cell structural changes taking place during frying (from Aguilera, 1997).

The vigorous escape of water vapor through food microstructure creates selective weaknesses, including cracks, open capillaries and channels in the cellular structure and membranes, which later accommodate the oil of the immersion bath (Figure 2).

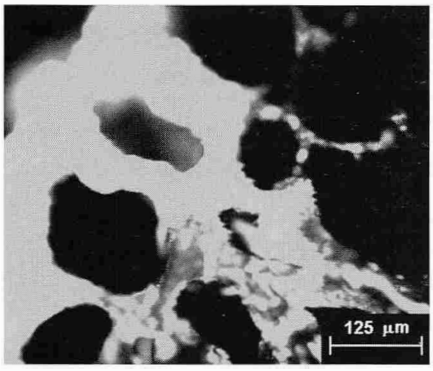
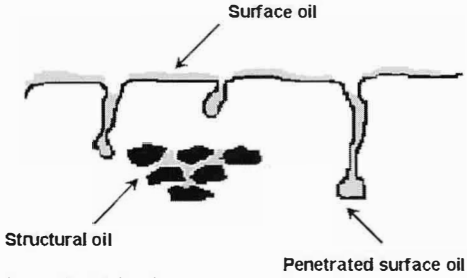


Figure 2. Cross section of a potato cylinder, fried at 185°C for 5 minutes observed by means of confocal scanning laser microscopy (Bouchon et al., 2003).

Oil suction though is mainly restricted to the end of the process since steam's strong escape precludes oil migration into the porous structure durin g most of the immersion period. Consequently, it corresponds essentially to a surface-related phenomenon resulting from the competition between drainage and suction into the porous crust once the fried potato is removed from the oil and begins to cool (Gamble et al., 1987; Ufheil & Escher 1996; Moreira et al., 1997). To dig further into this hypothesis, Bouchon et al. (2003) distinguished the different oil fractions that are absorbed during the process (see Figure 3): structural oil (fraction absorbed during frying), penetrated surface oil (fraction surface oil suctioned during cooling) and surface oil (fraction of oil that remains on the surface). They concluded that only a small amount of oil penetrates during frying and that after cooling, oil locates either on the surface of the chip or is suctioned into the porous crust microstructure, with an inverse relationship between them for



increasing frying times.

Figure 3. Diagram showing the three oil fractions absorbed during the frying process (Bouchon et al., 2003).

Consequently, it has been suggested that the micro-structure (that is, the mean pore size, connectedness and permeability) of the crust region, which is formed while the food is being fried, is the single most important product-related determinant of the final oil uptake into the chip.

In accordance with these findings and through empiricism many oil reduction techniques have been proposed and developed (Dobraszczyk et al., 2006). Post-frying treatments such as hot air drying and super-heated steam drying are two processes which have shown to reduce significantly oil absorption after frying and are based on partial surface oil removal before suction takes place. Also different pre-frying treatments have shown to reduce oil absorption. Lowering the moisture content of the food prior to frying using microwave, hot-air treatment and baking has resulted in a significant reduction in oil content in different products because of induced microstructural changes that decrease crust permeability, rather than mere water elimination as has been suggested. In addition, much attention has been given to the use of hydrocolloids such as methylcellulose, hydroxypropyl methylcellulose, long fibre cellulose and corn zein, to reduce surface permeability and inhibit oil uptake. In terms of quality improvement, besides oil uptake reduction, the blanching step prior to frying has shown to improve color and texture (Pedreschi, & Moyano, 2005). In terms of oil degradation improvement, very little has been carried out. Besides the use of antioxidant and adequate oil type selection (low in poli-unsaturated fatty acids) no further improvements have been analyzed.

VACUUM FRYING TECHNOLOGY

Vacuum frying is a new technology that might be an option for the production of novel snacks with lower oil content and desired quality attributes. It is defined as the frying process carried out under pressures well below atmospheric levels, therefore lowering the boiling point of water, making possible to reduce substantially the frying temperature (Garayo & Moreira, 2002).

Figure 4 shows a diagram of a vacuum deep-fat frying system that we have used in early experiments in our laboratory, where the frying vessel is connected to a vacuum pump that is adequately separated from the vessel by means of three dry-ice traps, used to prevent water vapor inclusion in the pump's oil system.

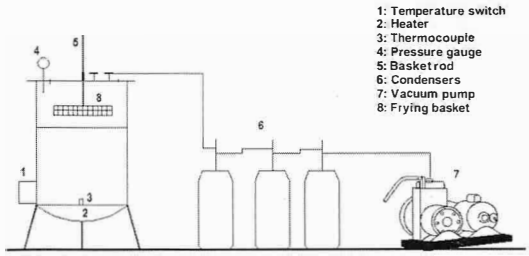


Figure 4. Diagram of the vacuum frying system (Mariscal, 2007)

In the literature, only few works are found in relation to this topic since research in this field is initiating. At present, vacuum frying has shown to have some advantages that include: (1) reduction of the oil content in the fried product, (2) preservation of natural color and flavors and (3) reduction of adverse effects on oil quality (Garayo and Moreira, 2002; Shyu et al., 2001). Granda et al. (2004) have concluded that vacuum frying can also diminish acrylamide content in potato crisps, a compound that has been classified as probably carcinogenic to humans. The major reactants leading to the formation of acrylamide are sugars and asparagine at temperatures above 120°C (Gökmen et al., 2006). Consequently, temperature lowering as in vacuum frying can greatly diminish its synthesis.

Overall, benefits of vacuum frying are mainly derived from the low temperatures employed and minimal exposure to oxygen. These two aspects allow better natural color and flavor preservation, prevent beneficial compound degradation, such as vitamins present in the raw material and fatty acids from the frying oil, and therefore give a longer shelf life to the frying oil.

To compare vacuum and atmospheric frying, Mariscal and Bouchon (2007) introduced the term "thermal equivalent driving force". This can be achieved by keeping a constant difference between oil temperature and the boiling point of water at the working pressure, so quality parameters such as oil uptake and color development can be compared in a satisfactory way. Figure 5 shows apple discs that have been fried under atmospheric (left) and vacuum (right) conditions keeping a constant driving force ($\Delta T = (160\text{-}100)_{atm} = (115 - 55)_{vacuum}$). Raw material color preservation is evident from this picture.

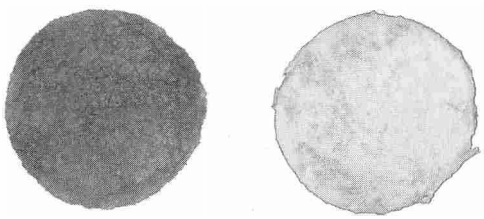


Figure 5. Photographs of apple chips fried under atmospheric (at 160°C) y vacuum conditions (at 115°C and 100 torr)

In terms of the raw materials under study, most researches have been oriented towards potatoes and only few works based in other foods are found. In relation to the effect of frying conditions, Garayo et al. (2002) observed that oil absorption in potato crisps was related to the moisture lost during the process and that color was not significantly affected by the oil temperature (118, 132 and 144 °C) and vacuum pressure used (16.661, 9.888 and 3.115 kPa). On the other hand, Shyu et al. (2001), when studying the effect of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips using a single vacuum pressure condition (3.115 kPa), and three different oil temperatures (90, 100, 110 °C), concluded that oil content increased for increasing frying times and temperatures. Recently, Mariscal and Bouchon (2007) determined a strong relationship between water loss and oil content during vacuum of apple slices. This result allows extending observations that have been carried out by other researchers when studying atmospheric frying and implies that oil reduction in vacuum fried slices could mainly be a consequence of a reduction in moisture loss for the same frying time. Further research in terms of the role of vacuum frying in oil absorption is needed.

CONCLUSIONS

Low-fat, nutritious and toxic-compounds free snack products are of primary concern and will probably be the driving force of the snack industry during the next few years. In this context, vacuum frying seems to be a promising technology that can be used to preserve adequately food constituents (vitamins and pigments, among others), while preserving desired sensory attributes, because of the low oil temperatures that can be used and minimum exposure to oxygen. Also, under these processing conditions, frying oil degradation can be lowered, allowing the use of polyunsaturated fatty-acids rich oils as frying medium, a practice that is restricted in atmospheric frying and can enhance the nutritional value of the product. Oil reduction has also been proposed as an advantage of this technology; however, further research is needed to confirm this result.

REFERENCES

- Aguilera, J.M. (1997). Fritura de alimentos. In: Temas en tecnología de alimentos, pp. 187-214. Edited by J.M. Aguilera. México D.F.: Instituto Politécnico Nacional.

- Bouchon P., Aguilera, J. M. and Pyle, D. L. (2003). Structure oil-absorption relationships during deep-fat frying. Journal of Food Science, 68(9), 2711-2716.

- Dobraszczyk, B. J, Ainsworth, P., Ibanoglu, S. and Bouchon, P. (2006). Baking, Extrusion and Frying. In: Food Processing Handbook, pp. 237-290. Edited by J.G. Brennan. Weinheim: Wiley-VCH.

- Gamble, M. H., Rice, P. and Selman, J. D. (1987). Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from c.v. Record U.K. tubers. International Journal of Food Science and Technology, 22, 233-241.

- Garayo, J. and Moreira R. (2002). Vacuum frying of potato chips. Journal of Food Engineering, 55, 181-191.

- Gökmen, V. Palazoglu, T.K. and Senyuva, H. (2006). Relation between the acrylamide formation and time-temperature history of surface and core regions of French fries. Journal of Food Engineering, 77, 972-976.

- Granda, C., Moreira R. G. and Tichy, S.E. (2004). Reduction of acrylamide formation in potato chips by low-temperature vacuum frying. Journal of Food Science, 69(8), 405-411.

- Mariscal, M. and Bouchon, P. (2007). Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. Food Chemistry (In press, available on-line).

- Mintel International Group Ltd. (2006) Salty Snacks - US. Recovery on august, 2006 from: http://www.marketresearch.com.

- Moreira R. G., Sun X., and Chen Y. (1997). Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. Journal of Food Engineering, 31(4), 485-498.

- Pedreschi, F., and Moyano, P. (2005). Oil uptake and texture development in fried potato slices. Journal of Food Engineering, 70, 557-563.

- Rojas-González, J. Avallone, S. Brat, P. Trystram, G. and Bohuon, P. (2006) Effect of Deep-fat Frying on Ascorbic Acid, Carotenoids and Potassium Contents of Plantain Cylinders. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 57 (12) 123-136.

- Saguy, S. and Dana, D. (2003). Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. Journal of Food Engineering, 56, 143-152.

- Shyu, S. L., and Hwang, L. S. (2001). Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. Food Research International, 34, 133-142.

- Ufheil G. & Escher F. (1996). Dynamics of oil uptake during deep-fat frying of potato slices. Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie, 52, 640-644.

- Varela G. (1988). Current facts about the frying of food. In: Frying of Food: Principles, Changes, New Approaches, pp 9-25. Edited by G. Varela, A.E. Bender and I.D. Morton. Chichester: Ellis Horwood.

FLUIDIZED BED DEHYDRATION IN A JET-ZONE DRIER AND MODELING DEHYDRATION RATES USING DIFFUSIONAL AND LUIKOV MODELS.

Romeo T. Toledo[1], Inci Cinar[2], and Aswin Amorsin[3]

[1]Dept. Food Science and Technol., Univ. of Georgia
Athens, GA 30602 USA
[2]Kahramanmaras Sutcu Imam Univ, Turkey
[3]Mahasarakham Univ., Thailand

A jet zone drier is a continuous fluidized bed drier where the product is conveyed under a series of uniquely arranged tubes which direct high velocity air over the product. When the air jet impinges on the product, the particles rise and once the product leaves the jet zone, the particles fall back on the conveyor and are conveyed forward until another set of air jets lifts them from the conveyor. The intermittent lifting and dropping of the particles permits mixing and accelerates heat and mass transfer. Data on dehydration of osmotically sugar-infused blueberries show very rapid dehydration rates to produce intermediate moisture products with raisin-like properties. Moisture and temperature distributions in both blueberries during either tunnel or fluidized bed drying were described by a set of coupled non-linear heat and mass transfer equations. Non-linearities in these models were introduced by the use of moisture or temperature dependent transport parameters and material properties. The Luikov model considered both liquid water and vapor diffusion whereas the diffusional model assumed only liquid water transfer and surface evaporation. The finite element formulation was developed using Galerkin's weighted residual technique. Numerical solution of these models took into account non-linearities. Coupling effects, which improves the predictions, were presented in governing equations and boundary conditions. Simulation data was verified by the experimental drying data for infused berries in tunnel and jet-zone. Initial moisture content of thawed berries was 578.99 kg water/100kg DM and of infused berries was 127.87 kg water/100kg DM. Tunnel drying was done at 60 o C with air velocity of 4 m/s and 0% relative air humidity. The temperature of the air jets was 110 C and the air velocity was 12 m/s. The Luikov model gave better approximations to the moisture distribution due to its ability to account for the vapor diffusion.

DISEÑANDO ALIMENTOS PARA LA SALUD, BIENESTAR Y GASTRONOMÍA

José Miguel Aguilera

Departamento de Ingeniería Química y Bioprocesos

Pontificia Universidad Católica de Chile

RESUMEN

La industria alimentaria tiene ventas anuales a nivel global por cerca de 3,5 billones de dólares. En la próxima década la industria de alimentos procesados se verá enfocada a responder las demandas de los consumidores por salud, bienestar, vitalidad, y buena gastronomía, lo que define un nuevo eje de acción: el que une cerebro-boca-aparato digestivo. Esta presentación abordará el tema de cómo la emergente ciencia de los materiales alimentarios se está abocando al diseño de estructuras alimentarias que sean apetecibles, saludables y dispensen nutrientes y compuestos bio-activos de manera efectiva durante la digestión. Esto significa entender la relación entre los componentes de los alimentos, el efecto del procesamiento sobre ellos a distintas escalas, la formación de microestructuras funcionales y el desarrollo de propiedades deseables en su apariencia, características organolépticas y nutricionales. Un desarrollo reciente es el interés de renombrados chefs en aplicar principios de ciencia e ingeniería para crear estructuras gastronómicas.

THE ROLE OF ALTERNATIVE PROCESSING TECHNOLOGIES IN QUALITY IMPROVEMENT OF SHELF-STABLE FOODS

Dennis R. Heldman
Adjunct Professor, University of California - Davis
Heldman Associates, Weston, FL 33331

Key Words: Thermal processing, Alternative technologies, Shelf-stable foods.

SUMMARY

The efforts to improve the quality of thermally processed shelf-stable foods focus on reducing the intensity of the thermal process, while ensuring traditional levels of food safety. There has been renewed interest in application of alternative processing technologies, with specific attention to microwave heating, ohmic heating, ultrahigh pressure and pulsed electric fields. The use of microwave and ohmic heating provides modest improvements through more rapid and uniform temperature distribution during heating. Ultrahigh pressure and pulsed electric fields have the potential to reduce thermal intensity, but are most likely to be used in combination with other technologies to achieve microbiological safety.

INTRODUCTION

Traditional approaches to production of shelf-stable foods using thermal energy have establishes an excellent record of safety for well over 50 years. The use of elevated temperatures to reduce the populations of pathogenic and spoilage microorganisms is well established in the food industry, and there are been only a limited number of outbreaks of consumer illness based on improper processing of shelf-stable foods. Overt he same period of time, there have been a growing concerns among consumers about the quality of shelf-stable foods, at least in comparison to similar products using other preservation processes. Over the past 10-15 years, increased attention to an array of alternative technologies has evolved and the results of new research on applications of these technologies for preservation of foods have become available. Although these results are encouraging, there are numerous challenges to the commercial applications of these alternative technologies. Ultimately, a significant change in an established commercial practice will require evidence of increased process efficient or improved product quality or both. A departure from the traditional approach to thermally processed shelf stable foods will require a significant improvement in the quality attributes of the product presented to the consumer.

The overall objective of this paper is to evaluate the current role of alternative technologies for preservation of shelf stable food products. More specifically, the following issues will be addressed:

1. The effectiveness of alternative technologies in meeting food safety expectations for shelf-stable foods.
2. The potential for alternative technologies in providing significant improvements in the quality attributes of shelf-stable foods.
3. The opportunities for use of combination processes to achieve product quality improvements, while meeting current food safety expectations.

PRESERVATION PROCESS TECHNOLOGIES

Systems used for preservation of foods vary with the type of product being processed. Traditional thermal processing systems have been used for both partial processing (pasteurization, blanching) and commercial sterilization to manufacture shelf stable food products. These processes depend on the use of elevated product temperatures in reduce the microbial populations within the product. The systems used to accomplish traditional thermal processes are designed to increase product temperatures by conduction or convection heat transfer within the product, control the times at elevated temperatures, and reduce the product temperature to ambient levels. Alternative preservation technologies use different approaches to increase product temperatures or use other agents to inactivate microbial populations in the food product.

According to Teixeira (2006), there are several different types of systems used for commercial sterilization of food products. The most widely commercial systems include batch retorts, continuous retorts, crateless retorts, continuous retort cookers and hydrostatic sterilizers. All of these systems are designed to increase the product temperature for a predetermined period of time. Steam is the typical heating medium, and the vessels are designed to maintain the pressure of the steam above atmospheric conditions and achieve heating medium temperatures above the boiling point of water.

A unique type of continuous sterilization system for liquid foods is aseptic processing [Lewis and Heppell (2000)]. For these systems, product is pumped through a heat exchanger to elevate the product temperature, followed by flow through a holding tube, before the product is cooled in a heat exchanger. After the product has received the desired thermal process, packaging is accomplished in an aseptic environment. The separate processes fro product and package differentiate this system from the more typical commercial sterilization systems for shelf-stable food products, as illustrated in Fig. 1.

Two alternative technologies that use thermal energy to achieve inactivation of the microbial populations, but initiate the temperature increase in a different manner than the traditional systems are microwave (or radio frequency) heating and ohmic heating. As indicated by Tang, et al (2004), there has been renewed focus on the use of microwave energy to accomplish the preservation process for foods on a commercial scale. The use of ohmic heating evolved from needs to achieve uniform heating of food particles during aseptic processing as described by Sastry (2003). Although both of these systems cause the temperature increase in the product in a different manner than traditional commercial sterilization, the preservation process is based on a time-temperature process.

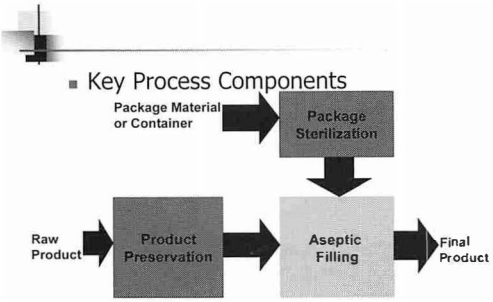


Figure 1. Aseptic Processing and Packaging System

The most promising non-thermal technology for food products is ultrahigh pressure. As illustrated by Balasubramaniam (2003) and Hogan, et al (2005), systems based on the exposure of foods product to high pressures result in significant reductions in the microbial populations within the product. By introducing the product into a vessel, followed by elevating the pressure to 400 to 600 MPa, and holding for a short period of time (3 to 5 min), significant reductions in microbial populations are possible. A second non-thermal alternative technology uses exposure of the product to pulsed electric fields to reduce microbial populations as suggested by Sepulveda, et al (2003). By exposing the food product to electric field intensities of 15 to 30 kV/cm, the microbial populations in the product are reduced very rapidly.

Other alternative technologies investigated include high intensity pulsed light, oscillating magnetic fields, ultraviolet light, high voltage arc discharge, and ultrasound . Although preliminary results are encouraging, the applications to foods will require significant investigation and time.

FOOD SAFETY CONSIDERATIONS

Food safety for a thermally processed shelf-stable food is based on the concept of delivery of a minimum lethality to the population of pathogenic and spoilage microorganisms within the food product. Traditionally, lethality has been defined by an integration of the time-temperature relationship needed to reduce the microbial population by a predetermined magnitude. As indicated by Fig 2, a given magnitude of lethality can be delivered to the product by different temperature-time profiles. For products with significant mass and heat by conduction (Profile B), the increase in temperature will be gradual and the temperature may never reach the temperature of the heating medium. Alternatively, the temperature of a liquid product in a heat

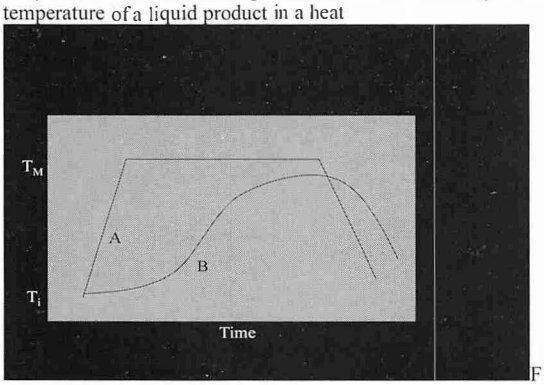


Figure 2. Temperature –time profiles during thermal process

exchanger will increase rapidly to the heating medium temperature, before being held for come period of time, followed by rapid cooling (Profile A). Based on knowledge of the kinetic parameters for describing the reduction in the target microbial population, the time-temperature profiles for the two approaches needed to achieve the same lethality can be established. Both profiles may deliver the same magnitude of lethality.

A second important consideration is delivery of a minimum lethality requirement to the slowest heating location within a product mass. This importance of this consideration is most obvious in conduction heating foods, since all other locations within the product will be at higher temperatures for longer periods of time during the process. Since the lethality delivered to these locations exceed the lethality at the slowest heating location, the slowest heating location, the majority of the product mass is "over-processing" and has received a greater thermal treatment than required for safety of the product. When considering technologies such as microwave or ohmic heating, the generation of thermal energy within the product mass results in more rapid temperature rise than occurs during conduction heating. It is more important to note that the temperature increase is more uniform throughout the product mass, as illustrated in Fig 3, than would occur during conduction heating. The parameters influencing uniformity of temperature distributions during heating have discussed by Tang, et al (2000) and Sastry (2003). The food safety challenge for these technologies has been to ensure that the delivery of lethality is uniform.

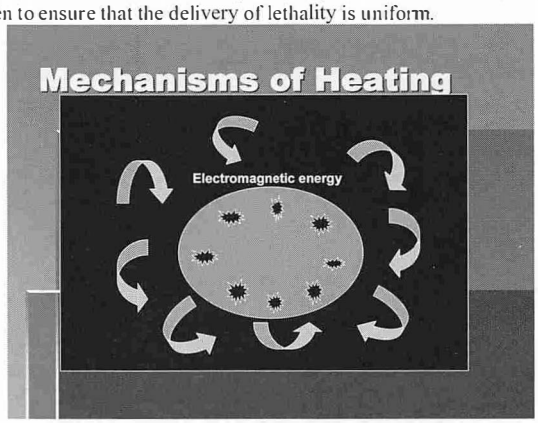


Figure 3. Uniform generation of thermal energy within product.

The assurance of food safety when using non-thermal technologies requires careful consideration. When using ultrahigh pressure, the concept of lethality becomes a function of a pressure-time relationship; the process can be quantified by integration of pressure as a function of time. By using the appropriate kinetic parameters to evaluate these processes, the lethal impact of the pressure treatment can be established. A positive aspect of the pressure process is that pressure should be relatively uniform throughout the product mass, and the lethality is delivered uniformly to all locations within the product. As discussed by Mor-Mur and Yuste (2005), the inactivation of pathogenic spores requires very high pressures (over 1000 MPa) and may not be a practical commercial process. The evaluation of lethality associated with application of pulsed electric field technology to a food product is somewhat more complex due to the rapid microbial inactivation rates. Martin-Belloso and Elez-Martinez (2005) have indicated that microbial spores are very resistant to pulsed electric field treatment. In addition, most applications have been limited to liquid foods, so use of the pulse electric field technology for processing of shelf stable foods seems unlikely in the near future.

The potential applications of non-thermal technologies for shelf stable foods most likely will require the combination of two or more technologies., as suggested by Mor-Mur and Yuste (2005) and Gudmundsson and Hafsteinsson (2005). For example, the use of

ultra-high pressure in combination with modest temperature magnitudes seems to be the most likely combination of opportunity. Since adiabatic heating occurs during the application of pressure to a product, the optimum process may be achieved by adjusting the initial temperature of the product to some modest magnitude, and take maximum advantage of the temperature-pressure-time profile to achieve the desired lethality. Other research outcomes suggest the use of pressure to cause spore germination, followed by a modest thermal treatment to complete the process. Additional research outcomes suggest that use of pressure pulses may increase the magnitudes of reductions in microbial populations.

PRODUCT QUALITY IMPROVEMENT

The changes in food product quality attributes due to thermal processes have been documented over a significant period of time. Over the past 20years, there has been more focus on quantification of changes in product quality as the result of measurement and publication of kinetic parameter to describe changes in quality [Villota and Hawkes (2006)]. The attention to product quality has been accelerated by consumer interests and trends toward reduced processing of foods. Non-thermal technologies seem to offer an appropriate alternative reducing the impact of thermal processes and achieve product quality improvements.

As indicated earlier, the quantitative impact of thermal processes on the microbial population in a food is expressed by the magnitude of lethality. The same approach has been proposed to quantify the changes in quality attributes during a thermal process. Due to the relationship between the magnitude of kinetic parameters for reductions in microbial populations, and the parameters to describe changes in product quality attributes, there is a clear advantage to the thermal processes that achieve the required lethality by using a higher temperature for a shorter period of time. As illustrated in Fig 2, the thermal process accomplished with rapid temperature increase to a constant holding temperature (Profile A), followed by a short holding time and rapid decrease in temperature, will have much less impact on the quality attributes than the process using a lower temperature for a longer period of time (Profile B). Both thermal processes illustrated have the same lethality for microbial inactivation, but much different impacts on the product quality attributes.

When the concept of lethality is used to compare thermal process technologies, it becomes evident that the use of either microwave or ohmic heating will reduce the overall impact of the thermal process and improve retention of product quality attributes. Both processes result in a more rapid temperature increase within a product mass than traditional conduction heat transfer. In addition, both technologies provide the added advantage of uniform heating within the product mass, and eliminate the "over-processing" associated with traditional thermal processing. These potential improvements in product quality should be sufficient to stimulate continued efforts to develop commercial scale systems for manufacturing of shelf stable foods using microwave or ohmic heating technologies.

In order to achieve even more significant improvements in food product quality, the overall intensity of the thermal process must be reduced. Non-thermal technologies should offer opportunities to improve retention of product quality attributes, while maintaining food product safety expectations. Since independent use of either ultrahigh pressure or pulsed electric field technologies appears to be impractical for inactivation of pathogenic spores, the use of these technologies in combination with other technologies should be considered [Balasubramaniam (2003); Mittal and Griffiths (2005)]. These combination processes should lead to more evident improvements in product quality, when compared to products manufactured with traditional thermal processes.

The development of combination processes will require access to a complex set of kinetic parameters. For example, the application of both pressure and temperature for food preservation will require knowledge of rate constants for inactivation of the target microbial populations, as a function of both temperature and pressure. In addition, the kinetic parameters to describe changes in key quality attributes, as a function of both temperature and pressure, would be needed to optimize the process. The contributions of other factors, such as pressure pulses, to the process would be valuable in further enhancement of the product quality attributes.

CONCLUSIONS

The challenges to improving the quality of shelf stable foods should be eased by the availability of alternative processing technologies. Based on an analysis of currently available information; the following conclusions are evident:

1. The food safety requirements of shelf stable processed foods can be achieved using either non-traditional thermal processes or non-thermal technologies.
2. The kinetics of microbial inactivation and the changes in product quality attributes favor the use of either non-traditional thermal processes or non-thermal processing technologies, as an approach to enhancing food product quality.
3. The combination of process technologies to reduce the impact of the thermal process provides feasible opportunities for improvements in product quality.

REFERENCES

Balasubramaniam, V.M. 2003. High pressure food preservation. In Encyclopedia of Agricultural, Food and Biological Engineering. (Heldman, Dennis R., ed) Marcel Dekker, Inc., New York.

Gudmundsson, M. and H. Hafsteinsson. 2005. Effect of high intensity electric field pulses on solid foods. In Emerging Technologies for Food Processing. (Da-Wen Sun, ed). Elsevier Academic Press, San Diego.

Hogan, E. A.L. Kelly and Da-Wen Sun. 2005. High pressure processing of foods: an overview. In Emerging Technologies for Food Processing. (Da-Wen Sun, ed). Elsevier Academic Press, San Diego.

Lewis. M. and Neil Heppell. 2000. Continuous Thermal Processing of Foods. Aspen Pub., Inc., Gaithersburg, MD.

Martin-Bellaso, O. and P. Elez-Martinez. 2005. Food safety aspects of pulsed electric fields. In Emerging Technologies for Food Processing. (Da-Wen Sun, ed). Elsevier Academic Press, San Diego.

Mittal, G.S. and M.W. Griffiths. 2005. Pulsed electric field processing of liquid foods and beverages. In Emerging Technologies for Food Processing. (Da-Wen Sun, ed). Elsevier Academic Press, San Diego.

Mor-Mur, M and J. Yuste. 2005. Microbiological aspects of high-pressure processing. In Emerging Technologies for Food Processing. (Da-Wen Sun, ed). Elsevier Academic Press, San Diego.

Sastry, S.K. 2003. Ohmic heating. In Encyclopedia of Agricultural, Food and Biological Engineering. (Heldman, Dennis R., ed) Marcel Dekker, Inc., New York.

Sepulveda, D.K., G.V. Barbosa-Canovas and B.G. Swanson. 2003. Pulsed electric fields: Food preservation. In Encyclopedia of Agricultural, Food and Biological Engineering. (Heldman, Dennis R., ed) Marcel Dekker, Inc., New York.

Tang, J., Y.F. Wang and T.V. Chow Ting Chan. 2004. Radio frequency heating in food processing. In Novel Food Processing Technologies. (Barbosa-Canovas, G.V., M. Soledad Tapia and M. Pilar-Cano, eds), Marcel Dekker, New York.

Teixeira, A.A. 2007. Thermal processing of canned foods. In Handbook of Food Engineering. (Heldman, Dennis R. and D.B. Lund, eds), CRC Press, Boca Raton, FL.

Villota, R. and J.G. Hawkes. 2007. Reaction kinetics in food systems. In Handbook of Food Engineering. (Heldman, Dennis R. and D.B. Lund, eds), CRC Press, Boca Raton, FL.

ROLE OF FLUID DYNAMICS AND HEAT TRANSFER IN DESIGNING PACKAGES FOR STRAWBERRIES

R. Paul Singh and M. J. Ferrua
Dept. of Biological and Agricultural Engineering, University of California at Davis.
One Shields Avenue, Davis, CA 95616

A proper postharvest cooling to 0-3°C is one of the most critical factors to maintain the quality and enhance the shelf life of fresh berries (Kader [1], Émond et al. [2], Fikiin et al. [3]). Although the industry routinely cools the fruits by conveying cold air through individual packages of products, it still faces an important loss of product quality due to non uniform cooling.

Traditionally, berries have been packed and sold in open-topped pint baskets, but over the last years, new thermoformed vented packages have streamlined the distribution and marketing of berries. The design of these new packages is largely based on their mechanical strength, but their ability to promote a rapid and uniform cooling is often deficient.

Experimental research conducted during the last decade has shown that the design of vent openings in the walls of individual packages plays a major role in the efficiency of the cooling process (Émond et al. [2], Vigneault and Goyette [4], Anderson et al. [5], Castro et al. [6]). Poor design results in low and uneven airflow rates through packages, which in turn results in slow and non-uniform product cooling. However, these studies have remained limited in their scope due to the cost and time required to gather appropriate data and the difficulty in measuring the fluid flow within fruit packages.

An alternative approach to improve the design and efficiency of the forced-air cooling is to develop mathematical models capable of predicting the airflow field and heat transfer within packages during the process (Talbot [7], Xu and Burfoot [8], Hoang et al. [9], van der Sman [10], Tanner et al. [11, 12], Hoang et al. [13], Alvarez et al. [14], Zou [15, 16]). Due to limitations in computational resources, the available models rely on assuming the package structure as a porous media. However, this assumption cannot be justified when the container-to-product diameter ratio is under 10 (Whitaker [17]), a common occurrence in the case of individual packages of horticultural products. In these cases, the heterogeneity in the local airflow pattern has a major impact on the transport phenomena during the forced-air cooling process and the plug-flow behavior assumed by the porous media approach is not valid anymore. Despite the extensive efforts made in this area, the lack of a consensus solution among available models has prevented a reliable solution.

With the recent advances in computational resources, there has been considerable interest in developing predictive capabilities for design and analysis of innovative systems. In this work, a computational fluid dynamic (CFD) model was used together with a non-intrusive flow measurement technique (Particle Image Velocimetry) to analyze the airflow distribution and product cooling within individual packages, during a typical forced-air cooling process of strawberries.

A detailed characterization of the packaging structure and airflow conditions were obtained from a full-scale commercial cooling facility. Strawberries at 21 °C were packed in 0.454 kg clamshell containers and placed inside corrugated fiberboard trays (0.406 x 0.508 m), as shown in Figure 1.

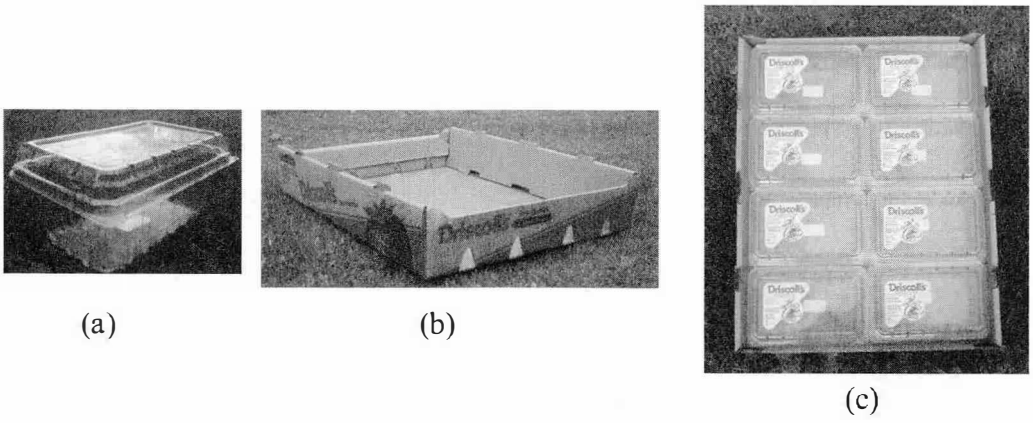


Figure 1: a) Strawberry 0.454 kg clamshell b) Corrugated fiberboard tray (16 x 20 in.) c) Distribution of strawberry packages within the corrugated tray.

Trays were arranged in pallets following a 6-down configuration and each pallet consisted of eighteen layers of corrugated trays (Figure 2)

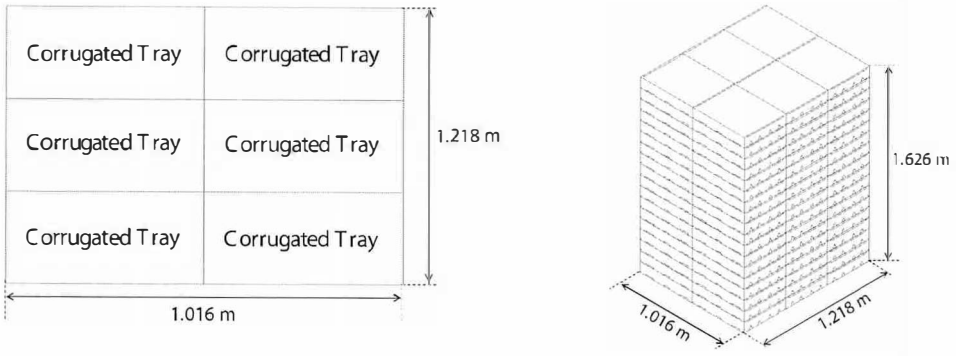


Figure 2: Pallet arrangement for 0.406 x 0.508 m. corrugated trays in 6-down configuration a) Top view b) 3-D view.

Two rows of pallets were lined up against an open cooler wall where the suction fan was located. Each row consisted of four pallets placed next to each other along the 1.016 m side. The airflow rate through the palletized structure ($8x10^{-3}$ m^3/s) was obtained by averaging the airflow rate measured at nine different locations within each row using a standard balometer (Alnor), as shown in Figure 3.

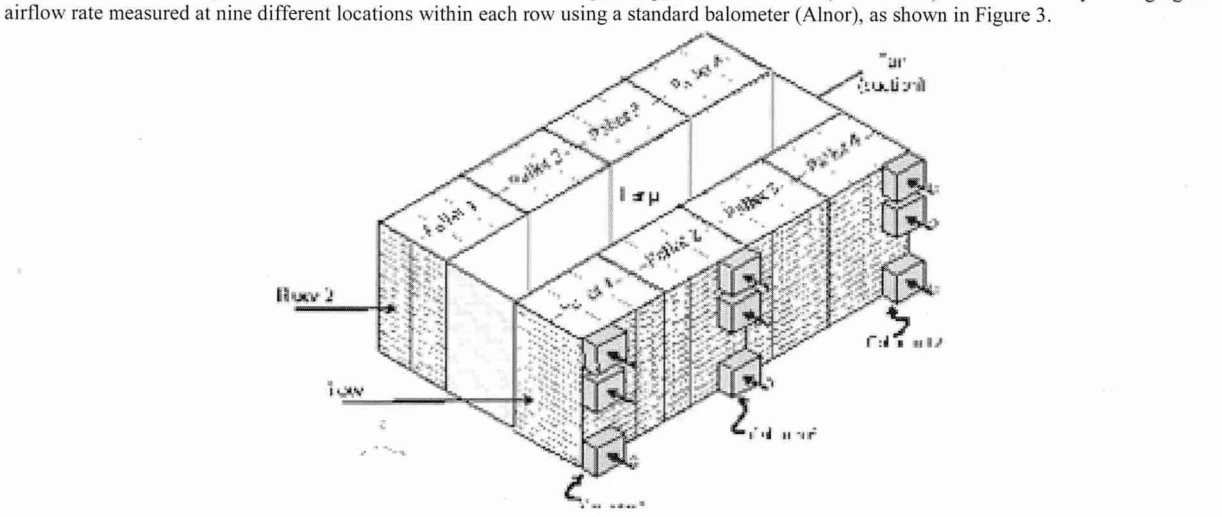


Figure 3: Locations where the volumetric airflow rate measurements were performed.

The relative airflow rate through each vent of the tray was determined by measuring the local air velocity at each vent using a hot-wire anemometer (Figure 4).

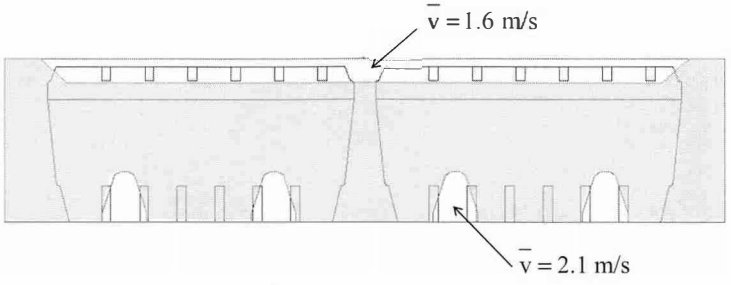


Figure 4: Average velocity measured through each of the corrugated tray vents.

The average inlet air temperature was measured as -1°C. The pressure drop across each palletized row was measured using a pressure digital manometer (Dwyer Instruments Inc.), and it varied between 65-160 Pa.

A computational model that accurately reproduces the commercial packaging structure was developed, based on the symmetrical properties of the palletized structure (Figure 5).

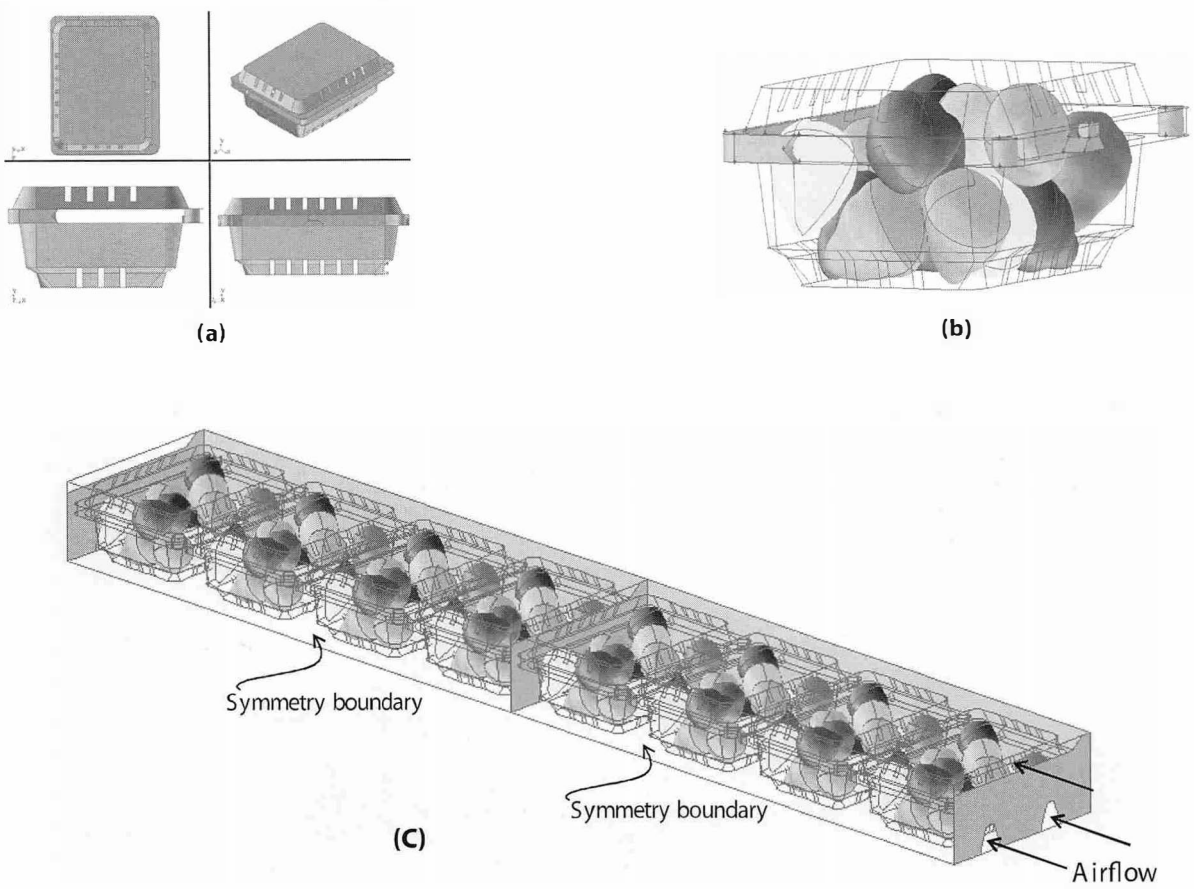


Figure 6: Computational model a) clamshell geometry b) fruit packaging c) palletized structure.

The airflow field within trays was modeled by solving the Navier-Stokes equations using CFD (code Fluent). Assuming uncoupled heat and momentum transfer process, the cooling rate of each individual product within the model was predicted.

The CFD analysis shows a complex and uneven distribution of the airflow within trays (Figure 6). On average, only 22% of the total airflow rate forced through the tray enters the individual packages (ranging from 26% for the first row of packages in the tray to 20% for the last ones).

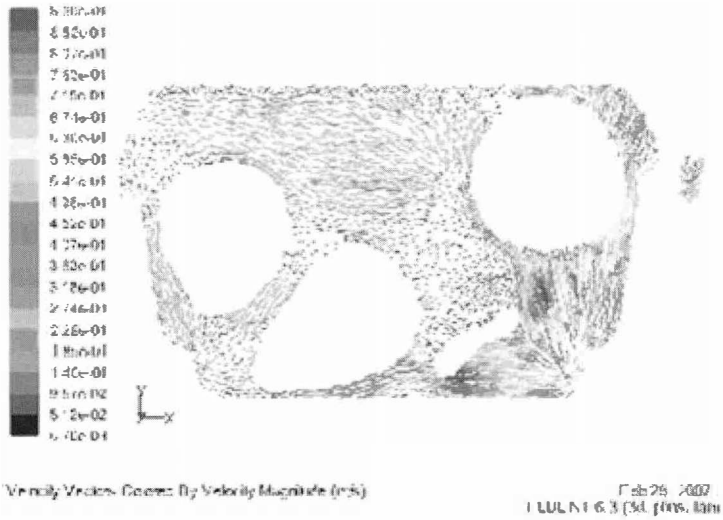


Figure 6: Velocity profile within the vertical middle plane of the package located immediately after the entrance of the airflow to the first corrugated tray.

The predicted cooling process showed significant differences between and within different packages in the tray (Figure 7 and 8). The average 7/8th cooling time ranged from 62 min for packages near the airflow inlet to 150 min for packages close to outlet. Within the package closest to the inlet the 7/8th cooling time varied between 40 to 83 min.

The use of modern CFD codes provides a powerful tool to analyze novel packaging system capable of promoting a rapid and uniform forced-air cooling process.

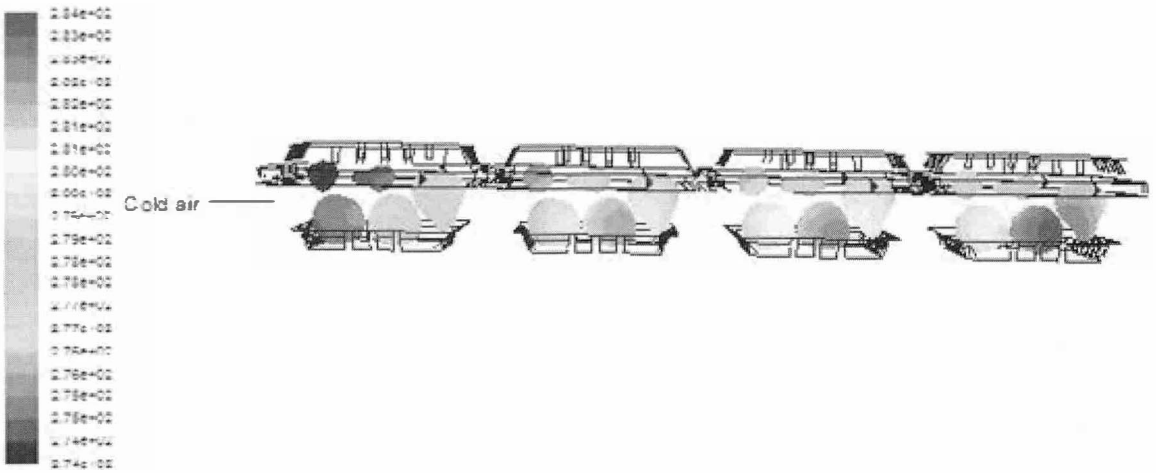


Figure 7: Temperature profile (Kelvin) after 1 hour of process for the strawberries within the first and last packages in the main flow direction.

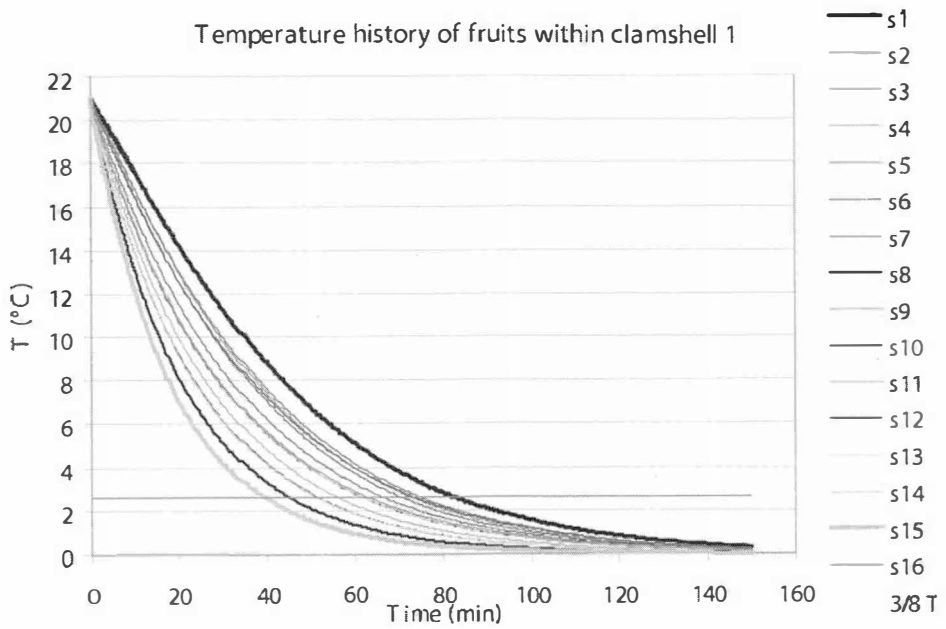


Figure 8: Plot of the temperature history for the strawberries within the package closest to the cold air inlet.

REFERENCES

1. AA Kader. Postharvest biology and technology: An overview. In: *Postharvest technology of horticultural crops*, 2nd Ed., Publication 3311, Kader, A.A. ed., Davis, University of California, 1992, pp 15-20.
2. JP Émond, F Mercier, SO Sadfa, M Bourré and A Gakwaya. Study of parameters affecting cooling rate and temperature distribution in forced-air precooling of strawberry. *American Society of Agricultural Engineers* 39 (6): 2185-2191, 1996.
3. AG Fikiin, KA Fikiin and TN Bojkov. Thermal behavior of layers of fruits and vegetables in industrial packages and transport units during quick precooling. In: *New developments in refrigeration for food safety and quality*, IIR Proceedings Series Refrigeration Science and Technology, International Institute of Refrigeration, Paris & ASAE Press, Lexington, 6, 1996, pp 254-266.
4. C Vigneault and B Goyette. Design of plastic container opening to optimize forced-air precooling of fruit and vegetables. *Applied Engineering in Agriculture* 18 (1): 73-76, 2002.
5. BA Anderson, A Sarkar, JF Thompson and RP Singh. Commercial scale forced air cooling of strawberries. *Transactions of the ASAE* 47 (1): 183-190, 2004.
6. LR Castro, C Vigneault and LAB Cortez. Effect of container opening area on air distribution during precooling of horticultural produce. *Transactions of the ASAE* 47 (6): 2033-2038, 2004. MT Talbot. An approach to better design of pressure-cooled produce containers. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 101: 165-175, 1988.
7. Y Xu and D Burfoot. Simulating the bulk storage of foodstuffs. *Journal of Food Engineering* 39: 23-29, 1999.
8. ML Hoang, P Verboven, M Baelmans and BM Nicolaï. Effect of process, box and product properties on heat and mass transfer during cooling of horticultural products in pallet boxes. In: *ASAE Annual International Meeting*. Sacramento, California, USA, 2001, Paper Number 013014.
9. RGM van der Sman. Prediction of airflow through a vented box by the Darcy-Forchheimer Equation. *Journal of Food Engineering* 55: 49-57, 2002.
10. DJ Tanner, AC Cleland, LU Opara and TR Robertson. A generalised mathematical modelling methodology for design of horticultural food packages exposed to refrigerated conditions: part 1, formulation. *International Journal of Refrigeration* 25: 33-42, 2002.
11. DJ Tanner, AC Cleland, LU Opara and TR Robertson. A generalised mathematical modelling methodology for design of horticultural food packages exposed to refrigerated conditions: part 2, heat transfer modeling and testing. *International Journal of Refrigeration* 25: 43-53, 2002.
12. ML Hoang, P Verboven, M Baelmans and BM Nicolaï . A continuum model for airflow, heat and mass transfer in bulk of chicory roots. *Transactions of the ASAE* 46 (6): 1603-1611, 2003.
13. G Alvarez, PE Bournet and D Flick. Two-dimensional simulation of turbulent flow and transfer through stacked spheres. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 46: 2459-2469, 2003.
14. Q Zou, UO Linus and RA McKibbin. CFD modeling system for airflow and heat transfer in ventilated packaging for fresh foods: I. Initial analysis and development of mathematical models. *Journal of Food Engineering* 77 (4): 1037-1047, 2006.
15. Q Zou, UO Linus and RA McKibbin. CFD modeling system for airflow and heat transfer in ventilated packaging for fresh foods: II. Computational solution, software development, and model testing. *Journal of Food Engineering* 77 (4): 1048-1058, 2006.
16. S. Whitaker. Advances in Theory of Fluid Motion in Porous Media. *Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 69 (12): 15-28, 1986.

PELÍCULAS COMESTIBLES: PRINCIPALES RESULTADOS DEL PROYECTO XI.20 DEL CYTED

Sobral, Paulo J.A.

Departamento de Engenharia de Alimentos – FZEA- UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Av. Duque de Caxias Norte, 225 - CEP 13635-900 - Pirassununga/SP. Brasil E-mail: pjsobral@usp.br

Palabras claves: alimentos, biopolímeros, propiedades físicas, propiedades funcionales.

RESUMEN

En esa charla se presentarán los principales resultados del Proyecto XI.20 del CYTED "Tecnología de Películas Biodegradables para Alimentos en Iberoamérica" acerca de películas biodegradables y/o comestibles basados en hidrocoloides y proteínas producidas en IberoAmérica. Algunos de esos biopolímeros son de fuentes no convencionales, pero presentaron buenas propiedades filmogênicas. Además, se discutirán varias contribuciones del Proyecto para el avance en la tecnología de películas comestible, especialmente en los casos de películas activadas y de mezclas de biopolímeros con polímeros sintéticos. Avances más actuales, y por lo tanto, sin relación con el referido Proyecto, como el empleo de nanopartículas de origen natural, serán también presentados y discutidos.

INTRODUCCIÓN

De manera general, la conservación de los alimentos implica la utilización de envases rígidos, como los metálicos y de vidrio, o envases flexibles, como las películas plásticas. Sin embargo, muchos países de Europa y de Iberoamérica están preocupados con los problemas ambientales causados por estos envases. Una alternativa, en el caso de envases flexibles, que ha ganado importancia en los últimos años, es la utilización de materiales biodegradables desarrollados con biopolímeros de origen agropecuario, como las proteínas (Gomez-Guillén et al., 2007, Blácido et al, 2007) y los polisacáridos (Romero-Bastida et al., 2005, Mali et al., 2006), recursos renovables abundantes en la América Latina.

La capacidad de estos biopolímeros de formar películas es buena. Pero en la mayoría de los estudios, se utilizan los biopolímeros comerciales. Entonces, se consideró que seria necesario realizar más investigaciones acerca de la preparación de los biopolímeros a partir de las materias primas disponibles en Iberoamérica, para la utilización en la elaboración de películas biodegradables. Para eso, si realizó el Proyecto XI.20 del CYTED, cuyo título fue: Tecnología de Películas Biodegradables para Alimentos en Iberoamérica.

El objetivo científico de este proyecto fue entonces desarrollar tecnologías de elaboración y de caracterización de recubrimientos comestibles y películas biodegradables, obtenidas a partir de diversas materias primas de fuentes no-tradicionales provenientes de países ibero-americanos. Los procesos tecnológicos de elaboración de dichos materiales serían entonces estudiados para adaptar las formulaciones a diferentes condiciones de almacenamiento. Consecuentemente, el objetivo buscó también valorizar las materias primas abundantes y de bajo costo, nativas de Ibero-América y que puedan utilizarse en la elaboración de biomateriales para envase, agregándoles valor a través de su procesamiento tecnológico. Dichas materias primas incluyen: a) polisacáridos como almidones de yuca, amaranto, cará, achira; quitosano proveniente de la industria de los camarones y b) proteínas como gelatina de pescado, proteínas vegetales de amaranto y soya.

LOS EQUIPOS

El Proyecto XI.20 involucró 15 equipos de 8 países de Ibero-América. En la Tabla 1, están listados los coordinadores de cada equipo.

Tabla 1. Equipos del proyecto XI.20 del CYTED.

Países	Equipos
Argentina	Dra Noemi Zaritzky. CONICET-UNLP, La Plata.
	Dra Maria Cristina Añon. CIDCA, La Plata.
	Dra Lia Gerschenson. UBA, Buenos Aires.
Brasil	Dr. Paulo J.A. Sobral. USP, Pirassununga (SP).
	Dra Florencia C. Menegalli. UNICAMP, Campinas (SP).
	Dra Maria Victoria Grossmann. UEL, Londrina (PR).
	Dr. João Borges Laurindo. UFSC, Florianópolis (SC).
Chile	MSc Valerio Bifani Cosentini. UF, Temuco.
	Dr. José Miguel Aguilera. PUC de Chile, Santiago.
Ecuador	Ing. Mayra Barba. EPN, Quito.
	MSc. Juan de Dios Alvarado. UTA, Ambato.
España	Dra María Pilar Montero García. IF-CSIC, Madrid.
México	MSc Claudia A. Romero Bastida. IPN, Yautepec. Morelos.
Portugal	Dr. Alberto Sereno. UP, Porto.
Uruguay	MSc Carlos Silvera Almitrán. UCU, Canelones.

PRINCIPALES RESULTADOS

Fueran desarrolladas películas con almidones de amaranto, cará, yuca, quinoa, okenia, achira, mango y plátano; de varios tipos de proteínas, como las de soya, amaranto, quinoa, del músculo de pescado, gelatina, y proteínas lácteas; y de derivados de celulosa. Todas esas películas fueran caracterizadas, pero continúan muy sensibles a las condiciones ambientales, notadamente, a la humedad relativa del aire, lo que dificulta el uso industrial de estos biomateriales.

Las principales correlaciones entre las características mecánicas de las películas de almidones de maíz, mandioca y cará y las propiedades estructurales y moleculares de estos almidones fueron elucidadas (Mali et al., 2004,2005,2006, Romero-Bastida et al., 2005). Además del origen botánico del almidón, el tratamiento de la solución formadora de la película también afecta las características de estas películas (Figura 1). También fue constatado que las propiedades de las películas difieren en función de la fuente de almidón utilizada cuando el tenor de plastificante (incluyendo agua) es bajo (hasta 20-25%) (Mali et al., 2006). Cuando el plastificante está en alta concentración, esas diferencias se tornan muy pequeñas.

El equipo de México estudió diferentes niveles de oxidación en el almidón de plátano debido a que a medida que se aumentaba el contenido de cloro en la película, ésta tenía un menor color que el control, lo cual mejoraba la apariencia de la película.

Esta oxidación aumentaba la absorción de agua a medida que aumentaba el contenido de cloro, esto se observó en el contenido de humedad de la monocapa que se obtuvo de realizar las isotermas de sorción. El mismo comportamiento se observó cuando se evaluó la solubilidad al vapor de agua. En cuanto a las propiedades mecánicas, se mejoraba la tensión a la fractura y disminuía la elongación. Cuando se incluyó aceite de girasol o aceite esencial de canela en la formulación, las películas mostraron una mejor permeabilidad al vapor de agua pero disminuyeron sus propiedades mecánicas. Se encontró un efecto con el tiempo de almacenamiento, la permeabilidad mejora con el tiempo.

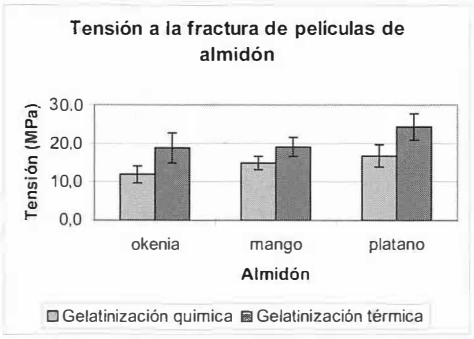


Figura 1. Propiedades mecânicas de películas de almidon producidas con dos tratamientos (Romero-Bastida et al., 2005).

El equipo del Uruguay estableció que los filmes de aislado proteico del suero de la leche soportan mayor fuerza a medida que disminuye la proporción de plastificante, al aumentar el espesor de los mismos y con una concentración de proteína del 8%, para los dos tipos de plastificantes estudiados: glicerol y sorbitol. Por otro lado, se estudió la formación y caracterización de películas proteicas a partir de dispersiones de proteínas de soja y gelatina. Se observó que las películas compuestas por ambas proteínas presentan mejores propiedades que las películas formadas por cada proteína por separado.

Se dispone de la tecnología para establecer las mejores condiciones de obtención de quitina a partir de caparazones de camarón y su posterior desacetilación para obtener quitosano, y de la tecnología para la elaboración de películas para uso alimentario (Figura 2) (Alvarado et al., 2007a). Posteriormente se desarrolló un método para obtener directamente quitosano, sin pasar por quitina, comprobándose su efecto antimicrobiano cuando se utiliza en la elaboración de películas para uso alimentario (Alvarado et al., 2007b).

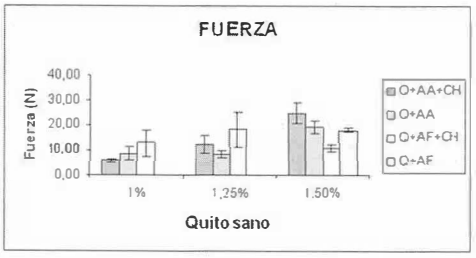


Figura 2. Propiedades mecánicas de películas de quitosano afectadas por el ácido y método de obtención del quitosano (Alvarado et al., 2007).

Se sabe ya que el ecotipo de murta utilizado como antioxidante en la película de carboximetilcelulosa altera las propiedades reológicas de estas películas y que el efecto es diferente según el ecotipo (Bifani et al., 2007). Se conoce el efecto que produce cada fracción proteica (las globulinas 7 y 11 S) en las propiedades de películas proteicas a partir de aislados de soja (Mauri y Añon, 2006).

Además, algunos estudios con biopolímeros menos convencionales también fueran hechos, con resultados muy interesantes. Películas fueran hechas con la queratina obtenida de plumas de pollos, un desecho cada vez mas importante en los planteles avícolas (Moore et al., 2006), y con harinas obtenidas de amaranto (Blácido et al., 2005,2007, Colla et al., 2006a,b). Colla et al. 2006a) observó que la adición de ácido graso en la formulación de películas a base de harina de amaranto, proporcionó una considerable reducción de la permeabilidad al vapor de água de esa película (Figura 3). También se obtuvo carragenina de algas abundantes en la costa portuguesa, que serán utilizadas en la producción de películas (Hilliou et al., 2006).

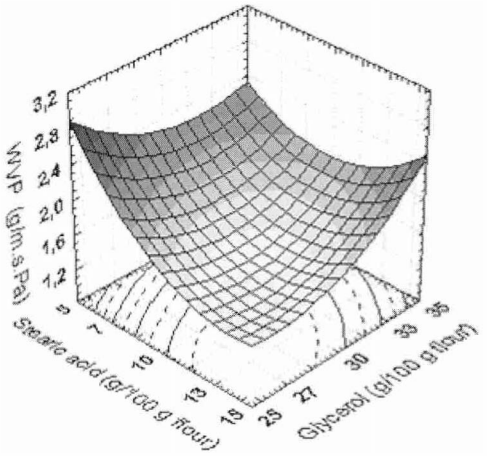


Figura 3. Permeabilidad al vapor de água de película de harina de amaranto con ácido graso (Colla et al., 2006a).

AVANCES

Se puede considerar que los avances en la tecnología de películas comestibles están clasificadas en líneas, a saber: películas activas, películas basadas en mezclas de biopolímeros con polímeros sintéticos y uso de nanopartículas como cargas en las películas. De esos tres, solo el último enfoque no fue estudiado en el Proyecto XI.20.

Algunas aplicaciones de películas activas fueron estudiadas, se destaca la aplicación de películas activadas con nisina, para inhibir el desarrollo de la *Listeria innocua*, y activadas con sorbato de potasio, para inhibir el crecimiento de Z. bailii (Sanjurjo et al., 2006). Se han aplicado películas con potencial antioxidante y antimicrobiano, utilizándose romero, orégano y quitosano como agentes activos, a sardina grasa ahumada en frío (Gomez-Guillén et al., 2007). Películas con capacidad antioxidante a base de extracto acuoso de hoja de murta (*Ugni molinae* TURCZ) también están siendo aplicadas como embalaje de frutos (Bifani et al., 2007).

En relación a las mezclas de biopolímeros con polímero sintético, dos tipos de investigación fueron hechas. Películas basadas en mezclas de gelatina y poli vinil alcohol (PVA) fueran producidas por moldeo con resultados bastantes interesantes (Bergo et al., 2006). Esas películas no son comestibles pero deben ser biodegradables, pues el PVA ya fue considerado como uno polímero sintético biodegradable.

Por otro lado, el equipo de Londrina desarrolló un método a nivel de planta piloto, utilizando un extrusor de doble usillo para elaborar las películas mezclando el almidón de plátano con el polietileno. Así, fueron producidas películas de mezclas de almidón con polímeros sintéticos (ej.: polietileno) con características mecánicas y de barrera a gases muy interesantes y, principalmente, con buena estabilidad a cambios de humedad y temperatura. Aunque estos polímeros sintéticos no sean necesariamente biodegradables, los materiales producidos serán "biofragmentables", y por lo tanto, tendrán la capacidad de desaparecer microscópicamente.

Y por ultimo, algunos trabajos muy actuales fueron publicados acerca de peliculas basadas en almidones o proteínas con nanoparticulas de origen natural, como los filamentos de chitina (Lu et al. (2004), que es una proteína microfibrilar; los filamentos de celulosa de tunicina (Anglès & Dufresne, 2000); las nanoparticulas de almidón (Angellier et al., 2006); y la montmorillonita (Rhim et al., 2006, Tunc et al., 2006).

AGRADECIMIENTOS

Al CYTED por el soporte financiero, y a todas las agencias nacionales e instituciones que apoyaron a los respectivos miembros de los equipos.

REFERENCIAS

ALVARADO, J.D.; ALMEIDA, A.; ARANCIBIA, M.; CARVALHO, R.A.; SOBRAL, P.J.A.; HABITANTE, A.M.Q.B.; MONTERREY-QUINTERO, E.S.; SERENO, A. Método directo para la obtención de quitosano de desperdicios de camarón para la elaboración de películas biodegradables. Afinidad, 64: 2007a. In press.

ALVARADO, J.D.; ALMEIDA, A.; ARANCIBIA, M.; GARCÍA, A.; PINOTTI, A.; ZARITZKY, N. Características mecánicas y ópticas de películas biodegradables de quitosano obtenido de caparazones de camarón. Ciencia y Tecnología, 8(1) 2007b. In press.

ANGELLIER, H.; MOLINA-BOISSEAU, S.; DOLE, P.; DUFRESNE, A. Thermoplastic Starch-Waxy Maize Starch Nanocrystals Nanocomposites. Biomacromolecules, 7: 531-539, 2006.

ANGLÈS, M.N. & DUFRESNE, A. Plasticized Starch/Tunicin Whiskers Nanocomposites. 1. Structural Analysis. Macromolecules, 33: 8344-8353, 2000.

BERGO, P.V.A.; CARVALHO, R.A.; SOBRAL, P.J.A.; SILVA, F.B.R.; PINTO, JKC; SOUZA, JP. Microwave Insertion Loss Measurements in Gelatin-Based Films. Measurement Science & Technology, 17: 3261-3264, 2006.

BIFANI, V.; RAMÍREZ, C.; IHL, M.;. RUBILAR, M.; GARCÍA, M.A.; ZARITZKY, N. Effects of murta (Ugni molinae Turcz) extract on gas and water vapor permeability of carboxymethylcellulose based edible films". Lebensmittel Wissenchaft und Technologuie, 40(8): 1473-1481, 2007.

BLÁCIDO, D.T.; MAURI, A.; MENEGALLI, F.C.; SOBRAL, P.J.A.; AÑON, M.C. Contribution of the starch, protein and lipid fractions to the physical, thermal and structural properties of amaranth (amaranthus caudatus) flour films. Journal of Food Science, 72: E293-E300, 2007.

BLÁCIDO, DT; SOBRAL, P.J.A.; MENEGALLI, FC. Development and characterization of edible films based on amaranth flour (Amarantus caudatus). Journal of Food Engineering, 67: 215-223, 2005.

COLLA, E.; SOBRAL, P.J.A.; MENEGALLI, FC. Amaranthus cruentus flour edible films - Influence of stearic acid addition, plasticizer concentration and the emulsion stirring speed on water vapor permeability and mechanical properties. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54: 6645-6653, 2006a.

COLLA, E.; SOBRAL, P.J.A.; MENEGALLI, FC. Effect Of Composite Edible Coating From Amaranthus Cruentus Flour And Stearic Acid On Refrigerated Strawberry (Fragaria Ananassa) Quality. Latin American Applied Research, 36(4): 249-254, 2006b.

GOMEZ-GUILLÉN, M.C.; IHL, M.; BIFANI, V.; SILVA, A.; MONTERO, P. Edible films made from tuna-fish gelatin with antioxidant extracts of two different murta ecotypes leaves (Ugni molinae-Turcz). Food Hydrocolloids, 21 (7): 1133-1143, 2007.

HILLIOU L.; LAROTONDA F. D. S.; SERENO A. M.; GONCALVES M. P.; Thermal and viscoelastic properties of κ/ι-hybrid carrageenan gels obtained from the portuguese seaweed Mastocarpus stellatus. Journal of agricultural and food chemistry, 54 (20), 7870-7878, 2006.

LU, Y.; WENG, L.; ZHANG, L. Morphology and Properties of Soy Protein Isolate Thermoplastics Reinforced with Chitin Whiskers. Biomacromolecules, 5: 1046-1051, 2004.

MALI, S., GROSSMANN, M. V. E., GARCIA, A. MARTINO, M., ZARITZKY, N. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. Carbohydrate Polymers, 56, 129–135, 2004.

MALI, S., GROSSMANN, M.V.E., GARCÍA, M.A., MARTINO, M. & ZARITZKY, N.E. Mechanical and thermal properties of yam starch films. Food Hydrocolloids, 19:157–164, 2005.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; GARCIA, M.A.; MARTINO, M.; ZARITZKY, N. Effects of controlled storage on thermal, mechanical and barrier properties of plasticized films from different starch sources. Journal of Food Engineering, 75: 453-460, 2006.

MAURI, A.N.; AÑÓN M.C. "Effect of solution pH on solubility and some structural properties of soybean protein isolate films". Journal of the Science of Food and Agriculture, 86: 1064-1072, 2006.

MOORE, G R P; MARTELLI, S M; GANDOLFO, C.; SOBRAL, P.J.A.; LAURINDO, JB. Influence of the glycerol concentration on some physical properties of feather keratin films. Food Hydrocolloids, Oxford, v. 20, n. 7, p. 975-982, 2006.

RHIM, J-W.; HONG, S-I.; PARK, H-M; PERRY, K.W.N. Preparation and Characterization of Chitosan-Based Nanocomposite Films with Antimicrobial Activity. J. Agric. Food Chem., 54: 5814-5822, 2006.

ROMERO-BASTIDA, C.A.; BELLO-PÉREZ, L.A.; GARCÍA, M.A.; MARTINO, M.N.; SOLORZA-FERIA, J.; ZARITZKY, N. Physicochemical and micro structural characterization of films prepared by thermal and cold gelatinization from non-conventional sources of starches. Carbohydrate polymers, 60(2):235-244, 2005.

SANJURJO, K.; FLORES, S.; GERSCHENSON, L.; JAGUS, R. Study of the perfomance of nisin supported in edible films. Food Research Internacional, 39 (6): 749-754, 2006.

TUNC, S.; ANGELLIER, H.; CAHYANA, Y.; CHALIER, P.; GONTARD, N.; GASTALDI, E. Functional properties of wheat gluten/montmorillonite nanocomposite films processed by casting. Journal of Membrane Science, 289(1-2): 159-168, 2007.

TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS UNA ALTERNATIVA DE PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS

Ruales, Jenny
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología
Pasaje Andalucía E 12A y Veintimilla. Casilla 17-01-2759. E. mail. jruales@pi.pro.ec.
QUITO - ECUADOR

Palabras clave: MFT, NF, UF, RO, MEMBRANAS, FRUTAS

RESUMEN

La tecnología de membranas se constituye en una alternativa para estabilizar productos líquidos. Además la tecnología de membranas se usa para concentrar biocomponentes como en el caso de jugos. Vitaminas como β-carotenos son separadas dependiendo del tipo de tecnología de membranas que se este aplicando. Microfiltración tangencial ha sido usado para producir jugos clarificados de maracuyá, tomate de árbol, mora, babaco, etc. Los jugos mantienen las propiedades organolépticas y nutriciones y no se ha observado retención de nutrientes como azúcares, ácidos orgánicos, polifenoles, y antocianinas cuando microfiltración se ha aplicado. Se ha observado retención de β-carotenos, en jugos.

INTRODUCCIÓN

Existe la necesidad de diversificar los productos derivados de frutas nativas y una alternativa es producir nuevos productos como jugos clarificados, concentrados clarificados, o separar compuestos bioactivos. La apertura de las fronteras comerciales permite la posibilidad de alcanzar mercados. La calidad de los productos toma mayor importancia, dejando en segundo plano el precio. La microfiltración tangencial brinda una alternativa de procesamiento de la fruta fresca, ofreciendo al consumidor una opción innovadora y saludable de alimentación. La aplicación de pasteurización en frío de jugos, leche, etc., se esta extendiendo en productos comerciales. Aprovechado la tendencia de la alimentación saludable, la industria debe estar preparada para ofertar productos nutracéuticos y polifuncionales. .El efecto beneficioso del tomate de árbol, mora, etc., se le atribuye al contenido de carotenos, polifenoles, antocianinas que aportan las frutas y que pueden ser aprovechadas sin desmedro a pérdidas debido al proceso aplicado.
Tecnología de membranas es usada también para concentrar los jugos, o para separa componentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Pulpas han sido obtenidas de frutas frescas. Según el caso las corteza ha sido removidas previo a la obtención de la pulpa . Diferentes cócteles enzimáticos han sido usados dependiendo de la composición de las frutas a ser procesadas: Pomalic®, Klerzyme®, Rapidasa Vegetable Juice®, etc.
La hidrólisis enzimática es realizada previamente al proceso de clarificación. El proceso de filtración se realiza usando membranas de cerámica (0.2 µm) y a temperaturas menores de 30 °C. La presión de trabajo es de 2 Bar.

La cinética durante el proceso de filtrado fue establecida para los valores de Brix, ácidos orgánicos, vitaminas, polifenoles, ácido galacturónicos, etc.
Debido a la importancia que los polifenoles tienen por su actividad antioxidante, éstos han sido cuantificados en las materias primas y en los productos.

Determinación del contenido de polifenoles solubles totales.

Para determinar el contenido de polifenoles solubles totales en el sobrenadante se utilizó el método de Folin-Ciocalteau's descrito por Bravo (1998). (*1*)

Determinación de antocianinas
El contenido de antocianinas se evaluó usando el método del diferencial de pH para antocianinas monoméricas descrito por Giusti & Wrolstad (2001). (*2*)

Análisis estadísticos
Los resultados fueron analizados utilizando el análisis de varianza anova one way. El test de comparación múltiple se realizó con la prueba LSD con el 95% de confiabilidad.
Para el análisis estadístico se utilizó el programa Statgraphics plus 5.1.

RESULTADOS

El uso de sistemas microfiltración tangencial, tienen ventaja sobre los sistemas frontales, porque alargan el tiempo de colmatación, aumentando los rendimientos de filtrado y adicionalmente se obtienen mayores valores de FRV.
La presión transmembranaria debe considerase en los sistemas de filtración, la misma que tiene una relación directa El flujo incrementa linealmente con la presión transmembranaria (ley de Darcy).

$$Jp = \frac{PTM}{R_m * \mu_0}$$

Donde μ_0 es la viscosidad del permeado, y Rm es la resistencia hidráulica de la membrana.

El pretatamiento con enzimas de jugos y/o pulpas incrementa los rendimientos en relación a flujo se ven incrementados al aumentar la cantidad de solubles en la pulpa. La hidrólisis enzimática reduce la colmatación de las membranas. Adicionalmente, la temperatura incrementa los rendimientos de flujos durante el proceso de filtración.
No retención de azúcares, ácidos orgánicos ha sido observada en ensayos de microfiltratión. Antocianinas y polifenoles no mostraron ser retenidas bajo las condiciones experimentación de 0.2 µm (porosidad).

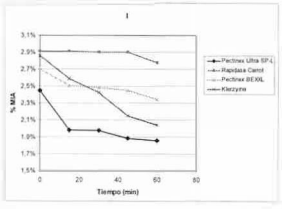


Figura 1. Efecto de la hidrólisis enzimática sobre el % de MIA en pulpa de mora

La Figura 2 muestra que las enzimas continúan actuando en la liberación de antocianinas y es así que se observa un incremento de estos compuestos bioactivos durante el procesamiento (4, 5, 6).

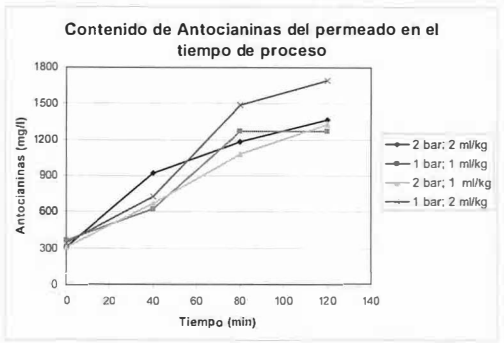


Figura 2. Variación del contenido de antocianinas durante el proceso de filtración

En la Figura 3. se presenta la variación del contenido de MIA. Se observa una disminución del contenido de MIA con el transcurso del tiempo, lo que favorece al proceso porque se incrementan los solubles en el proceso y los rendimientos.

Una cantidad de enzimas no es suficiente para incrementar el flujo, depende también de la presión de operación (Figura 3).

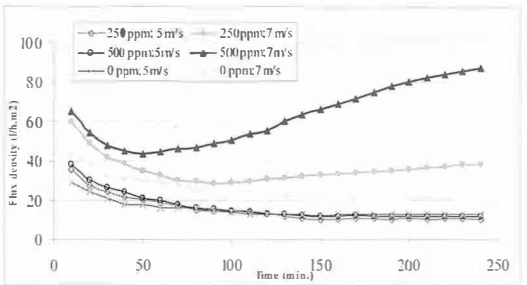


Figura 3. Efecto de la cantidad de enzimas y de la presión de operación.

	Unidad	Jus fresco	Jus clarificado	Retenido à FRV
Caracteristicas				
Solidos solubles totales	g/100 g	11.8	11.5	13
Compuestos fenolicos	mg/100 ml	36.6	33.2	31.2
	mg/100 g TSS	310.2	271.3	240.3
Vitamina A	mg/100 ml	2.6	2.6	2.6
	mg/100 g TSS	22	22	20
Vitamina C	mg/100 ml	43.2	40.2	43.7
	mg/100 g TSS	366.1	350	336.1

Tabla 1. Composición de nutrientes en el jugo fresco y jugo clarificado.

La retención de una membrana para una sustancia, es la cantidad relativa de esta sustancia, la cual no pasa la membrana.

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f}$$

Donde C_p es la concentración de partículas en el permeado, y C_f es la concentración de partículas en el alimento. Una membrana totalmente retentiva es aquella membrana que retiene el 100% de las partículas suspendidas, y por tanto tendrá un coeficiente de retención igual a 1.

La microfiltración tangencial no modifica significativamente la composición de nutrientes (Tabla 1), pero depende del peso molecular de los componentes de las pulpas.
En el caso de tomate de árbol, el retenido resultó en una fracción rica en beta-carotenos y el permeado en una fracción libre de carotenos. Se justifica por el tamaño de la molécula y quizá también porque los carotenos se encuentran entre el material insoluble de la pulpa de la fruta.
Si bien no se recuperan carotenos en el perneado del tomate de árbol, la capacidad antioxidante del jugo fresco es el mismo que en el retenido, indicando que la capacidad antioxidante en el caso del tomate de árbol estaban dados por los polifenoles y no por los carotenos (5).
La microfiltración tangencial puede ser una alternativa para separar compuestos bioactivos, como es el caso de β-carotenos (6).

Polifenoles son separados usando tecnología de membranas en tomate de árbol.

Los jugos clarificados obtenidos, maracuyá, babaco, piña, mora, tomate de árbol mantienen las características organolépticas. La estabilidad de los jugos envasados en frascos de color ámbar mantenidos a refrigeración es de por lo menos 4 meses.

Los jugos clarificados, pueden concentrase hasta aproximadamente 35 °Brix mediante ósmosis inversa, y puede usarse éste material para deshidratarse por aspersión para obtener finalmente polvos solubles. Los jugos clarificados pueden usarse como tales, ó concentrarlos y venderlos como concentrados clarificados ó usar estos concentrados para deshidratarlos por aspersión u otra alternativa.

CONCLUSIONES

- ✓ Para incrementar los rendimientos en flujo, enzimas deben utilizarse, pero el cóctel dependerá de la composición de la fruta a ser procesada.
- ✓ Las enzimas permiten una mayor extracción de polifenoles y antocianinas de la pulpa.
- ✓ Los valores de FRV varian dependiendo de la fruta procesada.
- ✓ La presión transmembranaria influye directamente sobre el flujo del jugo clarificado.

BIBLIOGRAFIA

1.Bravo, L., Polyphenols: Chemistry, Dietary sources, Metabolism, and Nutritional Significance. *Nutritions Reviews* 1998, 56, (11), 317-33.
2. Giusti, M.; Wrolstad, R., Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV - Visible Spectroscopy. 2001.
3. Villarreal, L. Tesis Ingeniería Química. Escuela Polite´cnica Nacional. 1999.
4. Salgado F. Tesis de Ingeniería Química. Escuela Politécnica Nacional. 2002.
5. Torres, L. Tesis de Ingeniería Agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 2007.
6. Yacelga, N. Tesis de Ingeniería Agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 2007.

APLICACIÓN DE ULTRASONIDOS DE ALTA INTENSIDAD EN EL SECADO CONVECTIVO DE ALIMENTOS

[1]García-Pérez, J. V., [1]Cárcel, J. A., [2]Riera, E. y [1]Mulet, A.

[1]Grupo ASPA, Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera, s/n, Valencia, España; jogarpe4@tal.upv.es, jcarcel@tal.upv.es, amulet@tal.upv.es.
[2]Instituto de Acústica, CSIC, Serrano, 144, Madrid, España; eriera@ia.cetef.csic.es

Palabras clave: Transferencia materia, ultrasonidos de potencia, deshidratación, resistencia interna, resistencia externa.

RESUMEN

La aplicación de ultrasonidos de alta intensidad durante el secado convectivo de alimentos resulta muy interesante para acelerar este tipo de procesos. La energía acústica puede afectar tanto a la resistencia interna como a la resistencia externa a la transferencia de materia y sin generar un calentamiento significativo de las muestras.

El principal objetivo de este trabajo fue estudiar la influencia de algunas de las principales variables de proceso en el secado convectivo de alimentos con aplicación de ultrasonidos de alta intensidad. Las variables que se estudiaron fueron, la velocidad del aire de secado y su temperatura, la potencia ultrasónica aplicada y las características de la materia prima.

A partir de los resultados experimentales se identificó una influencia significativa de la aplicación de ultrasonidos tanto en la resistencia interna como en la resistencia externa a la transferencia de materia. Sin embargo, el efecto de los ultrasonidos en la cinética de secado se vio influenciada por las condiciones experimentales utilizadas. Así, los ultrasonidos incrementaron significativamente la velocidad de secado en las experiencias realizadas con velocidades de aire y temperaturas moderadas. Este efecto se hizo menos evidente a las velocidades y temperaturas más elevadas. Para que la influencia de los ultrasonidos resultara significativa fue necesario aplicar un mínimo de intensidad, diferente en cada producto de los estudiados. A partir de este umbral, el efecto fue proporcional al nivel de intensidad ultrasónica aplicado. La estructura interna de los materiales estudiados podría explicar las diferencias de comportamiento.

INTRODUCCIÓN

El secado convectivo con aire caliente es un método tradicional de deshidratación. A pesar de ser un método ampliamente estudiado, presenta algunas limitaciones que dificulta su aplicación en algunos casos (Cohen y Yang, 1995). Así, la cinética de secado es lenta, principalmente durante el periodo de velocidad decreciente y/o en procesos realizados a bajas temperaturas. Se han aplicado otras fuentes de energía, complementarias al aire caliente, para acelerar la velocidad de secado como por ejemplo microondas o radiación infrarroja. Sin embargo, estas aplicaciones producen un calentamiento apreciable del producto. Por contra, el uso de ultrasonidos de alta intensidad no genera un incremento importante de la temperatura del producto (Gallego-Juárez et al., 1999). Es por ello, que esta tecnología resulta de interés en el secado de materiales sensibles al calor o en procesos de secado a bajas temperaturas.

La influencia de los ultrasonidos en la velocidad de secado es debida a los efectos que generan cuando atraviesan un medio. Así, los ultrasonidos de alta intensidad introducen variaciones de presión en las interfases gas-sólido y producen velocidades oscilantes y microcorrientes que pueden afectar al espesor de la capa límite de difusión (Muralidhara et al. 1985). Además, los ultrasonidos también producen una serie de rápidas contracciones y expansiones del material (efecto esponja) que facilitan la salida del agua de las matrices sólidas (Gallego-Juárez et al. 1999).

Sin embargo, la aplicación de ultrasonidos en sistemas sólido-gas, como es el caso del secado convectivo, resulta muy difícil (Mulet et al., 2003) debido a la gran diferencia de impedancias entre los medios (sistemas de aplicación de ultrasonidos – aire – muestra) y a que el aire es un medio muy absorbente de la energía ultrasónica. Una alternativa son los sistemas de aplicación de ultrasonidos con contacto directo (Gallego-Juárez et al., 1999). Sin embargo, a pesar de su eficacia, su adaptabilidad a los secaderos convectivos convencionales resulta muy difícil. Es por ello que se han desarrollado sistemas para aplicar ultrasonidos sin contacto con las muestras (García-Pérez et al., 2006[a]).

Por otra parte, se ha visto que la influencia de los ultrasonidos de potencia en el secado convectivo de alimentos puede variar en función de algunas variables de proceso como por ejemplo la velocidad de aire (Mulet et al., 2005; Cárcel et al., 2007[a]), la temperatura (García-Pérez et al., 2006[b]), la densidad de carga (García-Pérez et al., 2006[c]) o la potencia ultrasónica aplicada (Cárcel et al., 2007[b]; Cárcel et al., 2007[c]; Mulet et al. 2007)

El objetivo de este trabajo es mostrar la influencia de las principales variables involucradas en el secado convectivo asistido por ultrasonidos de alta intensidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sistema de secado convectivo con aplicación de ultrasonidos de alta intensidad

El sistema utilizado para realizar los secados asistidos por ultrasonidos se ha descrito en anteriores trabajos (García-Pérez et al., 2006[a]). Consiste en una modificación de un secadero por aire caliente convencional al que se sustituyó la cámara de secado por un elemento vibrante que es el encargado de transmitir la energía ultrasónica al aire y a las muestras (Figura 1). Esta nueva cámara es un cilindro hueco de aluminio (diámetro interno 100mm; altura 310 mm; grosor 10 mm) conectado a través de un amplificador mecánico a un transductor piezoeléctrico (21.7 kHz) tipo sándwich.

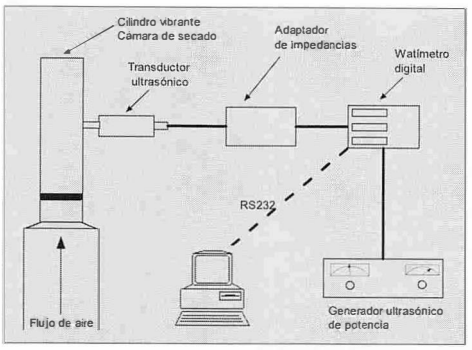


Figura 1. Esquema del sistema de secado por ultrasonidos.

Un adaptador de impedancias permite optimizar la energía eléctrica transmitida desde el generador de potencia al transductor. Los parámetros principales de la señal en las condiciones de trabajo fueron medidos utilizando un watímetro digital (WT210, Yokogawa, Japón). Así, los parámetros registrados al aplicar una potencia eléctrica de 90 W fueron: frecuencia de 21.7 kHz, un voltaje de 60 V, un desfase de 4° y una intensidad de 1.55 A. Para monitorizar y adquirir las medidas del watímetro durante las experiencias de secado, se desarrolló una aplicación utilizando LAbVIEW™ (National Instruments).

Por otra parte, el campo acústico generado en el interior de la cámara de secado se midió con un micrófono (1/8", sensibilidad de recepción de 1.06 mV/Pa, GRAS, Dinamarca). De este modo se determinó que el nivel de presión sonora medio al aplicar una potencia eléctrica al transductor de 75 W, y en ausencia de flujo de aire, fue de 154.3 dB.

Durante las experiencias de secado, se pesaron las muestras automáticamente a intervalos de tiempo preestablecidos gracias dos sistemas neumáticos controlados por un PLC (CQM41, OMRON, Japón). La temperatura y la velocidad del aire de secado se controlaron utilizando un algoritmo PID. La temperatura y la humedad relativa del ambiente se registraron mediante un dispositivo FG120 de Galltec (Boudorf, Alemania) provisto de una pt100 y un sensor de humedad.

Experiencias de secado

Las experiencias de secado se planificaron con diferentes condiciones de procesos y materias primas. Cada grupo de experiencias se realizaron con (**US**; 21.7 kHz, 75 W) y sin (**SUS**) la aplicación de ultrasonidos.

Velocidad de aire variable (0-12 m/s): Secados realizados a temperatura constante, utilizando cubos de zanahoria (8.5 mm de lado), láminas de piel de limón (10 mm de espesor) y cilindros de caqui (6.5 mm de radio y 30 mm de altura).

Temperatura de aire variable (30-70 °C): Secados realizados con una velocidad constante de aire de 1 m/s, utilizando cubos de zanahoria (8.5 mm de lado).

Potencia aplicada (0-90 W): Secados realizados aplicado diferentes niveles de potencia eléctrica al transductor con una velocidad constante de aire de 1 m/s, una temperatura de 40 °C utilizando láminas de piel de limón (7 mm de espesor) y cubos de zanahoria (8.5 mm de lado).

Modelización de las cinéticas de secado

Se utilizaron diferentes modelos difusionales que incluyeron las diferentes geometrías consideradas y la influencia (**RE**) o no (**SRE**) de la resistencia externa a la transferencia de materia. Para la resolución de los modelos **SRE** se recurrió a la solución analítica y para los **RE** a un método implícito de diferencias finitas que fue programado en Matlab.

Las parámetros de los modelos se identificaron utilizando métodos de optimización. En todos los casos, el objetivo fue encontrar los valores de los parámetros que minimizaran la suma de las diferencias al cuadrado entre las humedades de las muestras determinadas experimentalmente y las predichas por el modelo. En el modelo **SRE** únicamente se identificó la difusividad efectiva (D_e, m^2/s) utilizando el método del **Gradiente Reducido Generalizado**. En el modelo **RE**, además de la D_e, se identificó el coeficiente de transferencia de materia (**k**, kg agua/m^2/s) aplicando el método del **Simplex**.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Influencia de la velocidad del aire de secado y la estructura de la materia prima

Como era de esperar, la velocidad del aire influyó en las cinéticas de secado realizadas tanto con (**US**) como sin (**SUS**) la aplicación de ultrasonidos. En la Figura 2 se muestran las difusividades identificadas en el secado de cubos de zanahoria utilizando un modelo **SRE**. La D_e se incrementó con la velocidad del aire hasta los 6 m/s a partir de los cuales permaneció constante. Esto se explica por el hecho de que este modelo considera despreciable la resistencia externa y cuando ésta no lo es (velocidades de aire bajas) su efecto se engloba en la difusividad identificada. Por otra parte destaca que las difusividades identificadas en las experiencias **US** por debajo de 4 m/s son superiores que las identificadas en las experiencias **SUS**. La influencia de los ultrasonidos desaparece a velocidades de aire superiores. Este hecho se puede explicar a partir de la reducción de la presión sonora en la cámara de secado debido a que el aumento del flujo de aire puede afectar significativamente al campo acústico (García-Pérez et al., 2006[a]; Carcel et al., 2007[a]).

El modelo **SRE** ajustó adecuadamente las experiencias realizadas a velocidades altas de aire (> 6 m/s) ya que en esas condiciones la resistencia externa a la transferencia de materia resulta despreciable frente a la interna. En los casos en que esto no se cumple (v < 6 m/s), los ajustes resultaron deficientes con porcentajes de varianza explicada cercanos al 90 %.

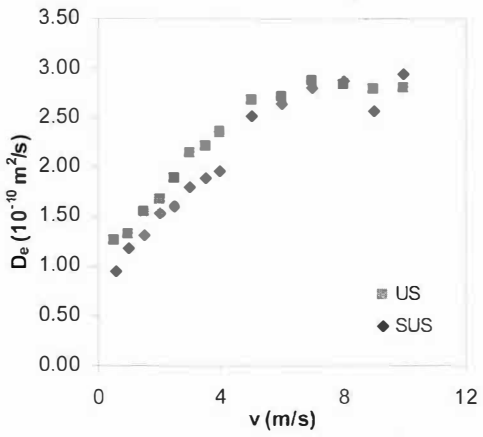


Figura 2. Difusividad efectiva identificada con un modelo SRE en secados, con (US, 75 W; 21.7 kHz) y sin (SUS) aplicación de ultrasonidos, de cubos de zanahoria a 40 °C y diferentes velocidades de aire.

Por ello, se aplicó el modelo **RE** para velocidades de aire bajas identificando simultáneamente la D_e y el coeficiente de transferencia de materia (**k**). En la Tabla 1, se muestran los resultados obtenidos para experiencias de secado de cilindros de

caqui. Como puede observarse, los porcentajes de varianza explicada (**VAR**) son superiores al 99 % y el error medio relativo (**EMR**) fue siempre inferior al 7.5 % lo que indica la bondad de los ajustes. En el caso del caqui la aplicación de ultrasonidos de alta intensidad incrementó significativamente la D_e y el coeficiente **k** lo que indicaría una influencia tanto en la resistencia interna como en la resistencia externa a la transferencia de materia.

Tabla 1. Difusividad efectiva y coeficiente de transferencia de materia identificado al aplicar un modelo RE a cinéticas de secado de cilindros de caqui a 50 °C con (US, 75 W; 21.7 kHz) y sin (SUS) la aplicación de ultrasonidos.

v (m/s)	SUS			
	D_e (10^{-10} m²/s)	k (10^{-3} kg agua/m²/s)	VAR (%)	EMR (%)
0.5	5.25	0.54	99.6	7.5
1	5.70	0.58	99.5	5.0
2	5.49	0.96	99.9	1.5
4	6.02	1.45	99.9	1.2
v (m/s)	**US**			
	D_e (10^{-10} m²/s)	k (10^{-3} kg agua/m²/s)	VAR (%)	EMR (%)
0.5	6.75	0.61	99.8	2.9
1	6.93	0.78	99.9	1.3
2	6.67	1.09	99.9	1.7
4	6.09	1.59	99.8	4.2

Influencia de la temperatura del aire

El incremento de la temperatura del aire de secado produjo un importante aumento de la velocidad de secado tanto en las experiencias **SUS** como con las **US.** En la Tabla 2 se muestran la D_e y la **k** identificadas al ajustar los datos experimentales de secado de cubos de zanahoria a un modelo **RE**. Es de destacar los buenos ajustes conseguidos con el modelo (**VAR**>99.5%; **EMR**<2.5%). Se puede observar que la D_e identificada en las experiencias **SUS** realizadas a 70 °C experimentó un incremento del 230 % respecto de la D_e identificada a 30 °C. En ese mismo sentido evolucionó el coeficiente de transferencia de materia, **k**, triplicándose al pasar de secar de 30 °C a 70 °C.

La aplicación de ultrasonidos de alta intensidad durante el secado produjo un incremento significativo ($p<0.05$) de la cinética de secado cuando la temperatura del aire de secado fue inferior a 60 °C afectando tanto a la resistencia interna como a la resistencia externa a la transferencia de materia. Así, la D_e identificada a 30 °C en las experiencias **US** resultó un 55 % superior que la identificada en las experiencias **SUS** a la misma temperatura. Sin embargo, a la temperatura de 70 °C, la aplicación de ultrasonidos no produjo un aumento significativo ($p<0.05$) de D_e (Figura 3). El coeficiente **k** también resultó significativamente superior ($p<0.05$) en las experiencias realizadas con aplicación de ultrasonidos, disminuyendo su influencia a las temperaturas más altas empleadas.

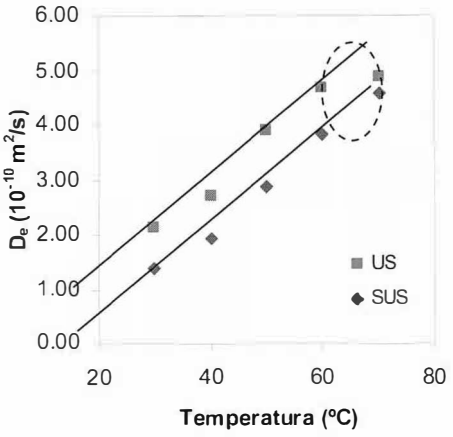


Figura 3. Influencia de la temperatura en la difusividad efectiva identificada al aplicar un modelo RE a las cinéticas de secado de cubos de zanahoria.

Tabla 2. Resultados de la modelización de las experiencias de secado de cubos de zanahoria con (US; 75 W, 21.7 kHz) y sin (SUS) la aplicación de ultrasonidos utilizando un modelo RE velocidad de aire de 1m/s.

T (°C)	SUS			
	D_e (10^{-10} m²/s)	k (10^{-4} kg water/m²/s)	VAR (%)	EMR (%)
30	1.38	2.87	99.9	1.1
40	1.93	4.13	99.9	0.9
50	2.87	6.17	99.9	1.4
60	3.83	6.77	99.9	1.5
70	4.57	8.83	99.9	2.1
T (°C)	**US**			
	D_e (10^{-10} m²/s)	k (10^{-4} kg water/m²/s)	VAR (%)	EMR (%)
30	2.14	3.06	99.9	1.8
40	2.71	5.86	99.9	1.4
50	3.91	8.80	99.9	1.3
60	4.69	9.07	99.9	2.5
70	4.88	9.40	99.9	1.6

Influencia de la intensidad acústica

Para evaluar la influencia de la intensidad del campo acústico aplicado, se alimentó el transductor con diferentes niveles de potencia eléctrica. Esta potencia eléctrica es la que se utiliza como referencia para mostrar los resultados de la influencia de la intensidad acústica sobre la cinética de secado.

Los resultados obtenidos indicaron que la potencia aplicada influyó significativamente en la velocidad del proceso de secado. En la Figura 4 se muestra la evolución experimental del contenido de agua de láminas de piel de limón con la aplicación de distintos niveles de potencia. A modo de ejemplo, el tiempo necesario para conseguir un contenido de agua de 1.5 kg de agua /kg de materia seca, se redujo un 53 % al aumentar la potencia aplicada desde 10 a 90 W.

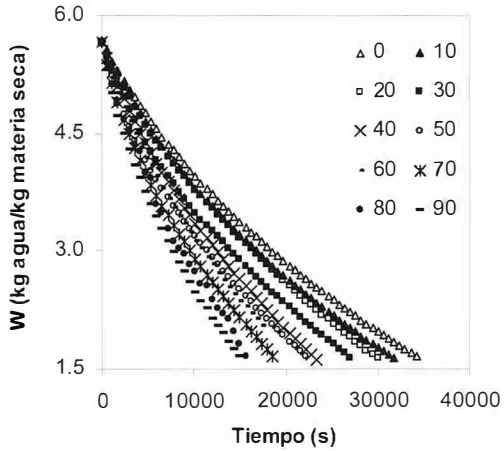


Figura 4. Evolución del contenido experimental de humedad de láminas de piel de limón a diferentes potencias eléctricas (W) aplicadas al transductor ultrasónico (21.7 kHz); 40 °C y 1 m/s.

A partir de la aplicación de un modelo **RE** se identificaron los valores de D_e y **k** observándose que la potencia aplicada afectó tanto a la resistencia interna como a la externa. Como se puede observar en la Figura 5, la relación entre la potencia aplicada y ambos coeficientes cinéticos fue lineal.

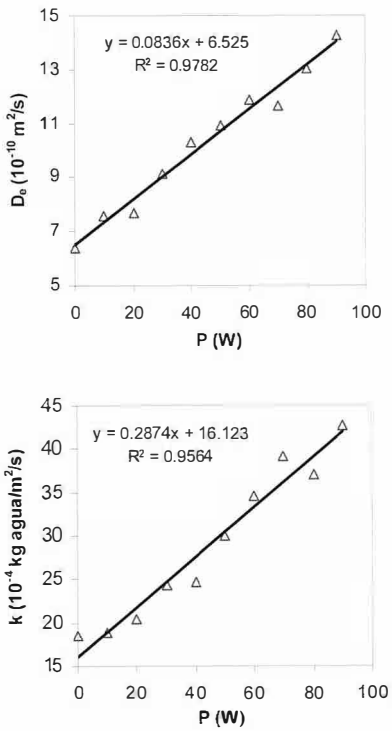


Figura 5. Influencia de la potencia sobre D_e y k identificados con un modelo RE en láminas de corteza de limón secadas a 40 °C y 1 m/s.

Influencia del material

La influencia de los ultrasonidos sobre la cinética de secado dependió del tipo de material estudiado. Como acaba de mostrarse en el caso de la piel de limón, se encontró una relación lineal entre la potencia aplicada y los coeficientes cinéticos del proceso en todo el rango de potencias ensayadas.

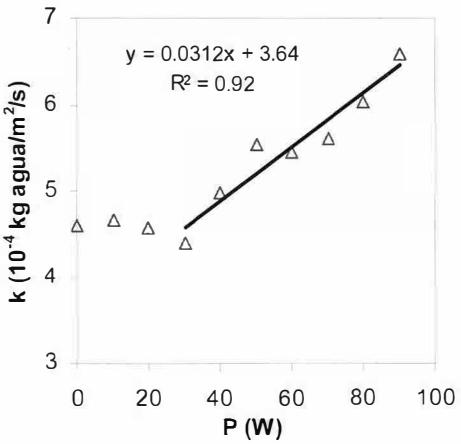


Figura 6. Influencia de la potencia sobre la k identificada con un modelo RE en el secado de cubos de zanahoria a 40 °C y 1 m/s.

Al repetir la misma serie de experiencias con cubos de zanahoria se observó que para que apareciera algún efecto de los ultrasonidos sobre la cinética fue necesario superar un cierto umbral de potencia situado entorno a los 30 W (Figura 6).

Por otra parte, al estudiar el efecto de la velocidad del aire sobre la cinética de secado, se ha mostrado que, en el caso de la zanahoria, la influencia de los ultrasonidos fue significativa hasta que la velocidad del aire alcanzó cierto nivel (Figura 2). Sin embargo, el efecto de los ultrasonidos sobre la cinética de secado en el caso de piel de limón fue visible en todo el rango de velocidades estudiado (0-12 m/s). Así, las D_e identificadas (modelo **SRE**) en las experiencias **US** fueron significativamente superiores a las de las experiencias **SUS** (Figura 7). A modo de ejemplo, la D_e identificada en experiencias **US** a 1 m/s fue un 63% superior que la identificada en las experiencias **SUS**. El efecto de los ultrasonidos fue significativo, incluso a velocidades de aire elevadas, a pesar de la reducción de la energía acústica efectiva que provocó el aumento de la velocidad del aire en la cámara de secado.

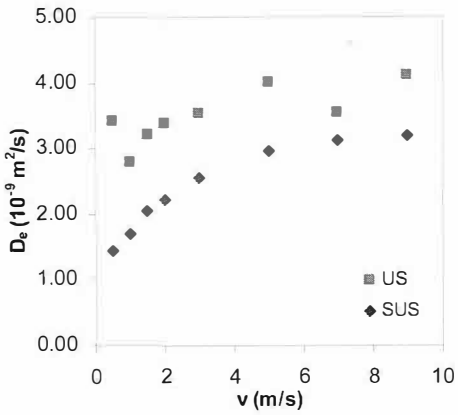


Figura 7. Difusividad efectiva identificada con un modelo SRE en secados, con (US, 75 W; 21.7 kHz) y sin (SUS) aplicación de ultrasonidos, de láminas de piel de limón a 40 °C y diferentes velocidades de aire.

Esto indicaría que los niveles de intensidad acústica necesarios para la aparición de efectos fue menor en el caso de la piel de limón que en el caso de la zanahoria. Este comportamiento diferente se podría explicar a partir de la estructura interna de estos productos (García-Pérez et al., 2007). La porosidad en la piel de limón es del orden de 10 veces superior que en la zanahoria. Las expansiones y contracciones producidas por los

ultrasonidos (efecto esponja) pueden ser mucho más intensas en productos más porosos debido a su menor resistencia mecánica. De la misma manera, los efectos de los ultrasonidos en las interfases podrían ser más intensos en sistemas con un volumen de poros mayor. Por otra parte, cabría esperar una mayor absorción de energía acústica en una estructura más porosa proporcionando mayor energía disponible en la partícula para afectar al proceso de transferencia de materia.

CONCLUSIONES

Los ultrasonidos de alta intensidad afectaron significativamente a la cinética de secado por aire caliente de productos agroalimentarios. Los efectos pueden afectar tanto a la resistencia interna como a la resistencia externa. Sin embargo, esta influencia dependió de las variables de proceso. Así, el incremento de la velocidad del aire de secado afectó a la intensidad del campo acústico aplicado y, a velocidades elevadas, hizo desaparecer el efecto de los mismos en el secado de zanahoria.

En cuanto a la temperatura del aire de secado, los efectos de los ultrasonidos son más evidentes a temperaturas moderadas llegando a desparecer a temperaturas elevadas.

El nivel de intensidad ultrasónica es otro de los factores que se deben considerar pues afecta de una manera lineal a los coeficientes cinéticos. En este sentido, se debe tener en cuenta la materia que se desea secar ya que, el nivel de intensidad acústica necesario para la aparición de los ultrasonidos puede verse afectado por la estructura de los materiales a secar.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación recibida del Ministerio de Educación y Ciencia de España a través de los proyectos de investigación AGL2005-08093-C02-01/ALI y AGL2001-2774-CO5-01 para la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Cárcel, J. A., García-Pérez, J. V., Riera, E. y Mulet, A. 2007[a]. Influence of high intensity ultrasound on drying kinetics of persimmon. Drying Technology 25:185–193.

Cárcel, J. A., Benedito, J., Rosselló, C. y Mulet, A. 2007[b]. Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. Journal of Food Engineering, 78:472–479.

Cárcel, J. A., Benedito, J., Bon, J. y Mulet, A. 2007[c]. High intensity ultrasound on meat brining. Meat Science, 76:611-619.

Cohen, J. S. y Yang, T. C. S. 1995. Progress in food dehydration. Trends in Food Science & Technology, 6:20–25.

Gallego-Juárez, J. A., Rodríguez-Corral, G., Gálvez-Moraleda J. C. y Yang, T. S. 1999. A new high intensity ultrasonic technology for food dehydration. Drying Technology, 17:597–608.

García-Pérez, J. V., Cárcel, J. A., De la Fuente y S., Riera E. 2006[a]. Ultrasonic drying of foodstuff in a fluidized bed. Parametric study. Ultrasonics, 44:e539–e543.

García-Pérez, J. V., Rosselló, C., Cárcel, J. A., De la Fuente, S. y Mulet, A. 2006[b]. Effect of air temperature on convective drying assisted by high power ultrasound. Defect and Diffusion Forum, 258-260:563–574.

García-Pérez, J. V., Bon, J., Sanjuán, N., De la Fuente, S. y Mulet, A. 2006[c]. Mass loading effect on ultrasonic drying of carrots. Proceedings International Drying Symposium (IDS2006), Budapest, Hungría, Vol. C:1466–1470.

García-Pérez, J. V., Cárcel, J. A., Benedito, J. y Mulet, A. 2007. Power ultrasound mass transfer enhancement in food drying. Food and Bioproducts Processing in press

Mulet, A., Cárcel, J. A., Sanjuán, N. y Bon, J. 2003. New food drying technologies-Use of ultrasound. Food Science and Technology International, 9:215–221.

Mulet, A., Blasco, M., García-Reverter, J. y García-Pérez, J. V. 2005. Drying kinetics of *Curcuma longa* rhizomes. Journal of Food Science, 7:318–323.

Mulet, A., Cárcel, J. A., De la Fuente-Blanco, S., Riera-Franco de Sarabia, E. y García-Pérez, J. V. 2007. Convective drying of lemon peel assisted by power ultrasound: influence of ultrasonic power applied. Proceedings International Congress on Ultrasonics (ICU), Viena, Austria.

Muralidhara, H. S., Ensminger, D. y Putnam, A. 1985. Acoustic dewatering and drying (low and high frequency): State of the art review. Drying Technology, 3:529-566

VALIDACIÓN DEL PROCESO DE TOSTADO DE CASTAÑA DE MARAÑÓN POR CALOR SECO

Massaguer, P.R y Rodrigues Jr, S.
UNICAMP, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Departamento de Ciência de Alimentos. Rua Monteiro Lobato. 80. CEP: 13083-862 - Caixa-Postal: 6121 - Campinas, SP - Brasil - Fone: (19) 3521-2174 - Fax: (19) 3289-4966. E-mail: esteril@unicamp.br
Palabras-claves: validación, castañas de marañón, tostado, *salmonella*, nueces

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue validar físicamente el proceso de tostado de 2 tipos de granulados de castaña de marañón (acajú) con la finalidad de determinar si este proceso alcanza un nivel de destrucción correspondiente a por lo menos dos reducciones decimales de *Salmonella*. Fueron acompañados los procesos mediante uso de termocuplas calibradas i sensores Data Trace estratégicamente posicionados entre los granulados en el interior del tambor. El control de proceso en planta era realizado mediante sensor Pt100 localizado en el interior de la puerta delantera del tambor rotativo que utilizaba aire caliente como medio de calentamiento. La zona fría fue establecida en la parte posterior cerca del fondo del tostador. La diferencia de temperaturas entre la zona fría i el punto de control de temperatura fue de aproximadamente 15°C durante el calentamiento del producto, este hecho se refleja en los valores de F que fueron mayores en la parte frontal del equipo, cerca de la entrada de aire caliente En todos los casos los valores de F calculados fueron superiores a 8,5 minutos a 120°C en el punto frío i como consecuencia de la agitación del producto, en todas las posiciones fueron verificadas dos o hasta 4 reducciones logarítmicas del microorganismo, validando el proceso.

.

INTRODUCCION

Las nueces secas son raramente envolvidos en surtos de enfermedades de origen alimentar i son consideradas de bajo riesgo porque su actividad de agua es muy baja para soportar el crecimiento de la mayoría de los microorganismos i porque son consumidas secas. A pesar que *salmonella* no crece a baja actividad de agua su supervivencia ha sido demostrada en varios productos como chocolate, huevos secos, etc. *Salmonella* ha sido identificada como un riesgo potencial en nueces y en maní tostados. En años recientes, dos grandes surtos de salmonelosis relacionados al consumo de almendras crudas fueron relatados en los Estados Unidos y Canadá en 2001 y en 2003-2004 (FSnet, 2004) El microorganismo implicado era *Salmonella* enterica serotipo Enteritidis (SE). La investigación del caso llevo a localizar 29 pacientes de 12 estados de Estados Unidos y Canadá de los cuales 7 fueron hospitalizados, sin ninguna muerte. Este hecho llevo al procesador a recoger 13 millones de libras de almendras crudas. La *Salmonella* fue detectada de "swabs" del descascador y en muestras del suelo de pomares de almendras. Danyluk (2006) reporta supervivencia de *Salmonella* durante secado a 15 e 37°C. . Un otro surto ocurrido en Canadá en 2001, (Isaacs *et all*., 2005) fue asociado a *Salmonella* enteritis Fagotipo PT (30) encontrada en almendras crudas sobreviviendo después de 8 meses de la cosecha. La *Salmonella* parece sobrevivir mejor en condiciones de refrigeración que a temperatura ambiente, consiguiendo existir por más de 1 ano en la superficie seca del alimento. (Weng y Gunawardena, 2006). Las almendras húmedas parecen tener mayor riesgo de altas concentraciones de *Salmonella* según Uesugi y Harris (2006). Las nueces crudas generalmente tienen una actividad de agua baja < 0,7 con humedad de 3-4% (castaña de marañón) a 12.1 % en nuez de macadamia.

No hay evidencia de que las almendras, castañas o nueces tostadas, blanqueadas o procesadas térmicamente ofrecen algún riesgo. Sin embargo, a partir de eses surtos los importadores y procesadores secundarios brasileros, que utilizan nueces en rellenos, tortas, helados, etc., pasaron a exigir validación de los procesos de tostado de estés productos como una medida preventiva. La validación debe asegurar que las fluctuaciones de los parámetros de control dentro de los límites críticos definidos no afectan la inocuidad del producto.

En Brasil la producción de castañas de marañón (*Anacardium occidentale)* se concentra en los estados del Norte y Nordeste y en 2007 alcanzó 266,384 toneladas (cajucultura, 2007), siendo superada únicamente por India. Diez por ciento de la producción atiende el mercado interno y el 90% se exporta entera o granulada. Su valor medio para exportación es de 4.41 dólares/kilo. En el mercado mundial la exportación de castañas de marañón moviliza anualmente 0.5 billones de dólares (Lima, 2007) El índice de castañas enteras recuperadas es de 55- 60% cuando se usa el sistema mecanizado de retirada de la corteza. Como las castañas quebradas no alcanzan un valor elevado en el mercado se debe procurar alternativas adecuadas para la elaboración de otros productos como los granulados, pastas, etc. Los procesos térmicos de tostado, blanqueo ayudan a desarrollar el aroma y sabores característicos y junto con los tratamientos con oxido de polipropileno (PPO) pueden ser mecanismos de control efectivo de la *Salmonella* en nueces. Un proceso térmico para ser efectivo debe entregar de forma consistente un nivel mínimo de letalidad al producto. Es esencial controlar dentro de las industrias las operaciones de proceso de tostado, el almacenamiento y manipuleo de alimentos/ingredientes para reducir los riesgos de falla de inocuidad. Un programa de control adecuado de nueces comprende un plano de Buenas practicas de Fabricación, control de puntos críticos (monitoreo y acciones correctivas), validación del proceso térmico, prevención de contaminación cruzada, monitoreo ambiental de patógenos y controle de alergénicos.

Los estudios de validación deben demostrar que bajo condiciones de control particulares, el proceso deberá entregar consistentemente una letalidad mínima requerida para la in activación de la *Salmonella* en las nueces y maní crudos. La FDA requiere un total de 5 ciclos logarítmicos de reducción de la *Salmonella* para validar los tostadores / pasteurizadores continuos de almendras (Weng & Gunawardena, 2006), Danyluk *et all*.(2006) sugieren que el riesgo de ocurrencia de 1 o más casos de salmonelosis por año, causada por consumo de almendras crudas, puede ser reducido de 78% a <1%, usando procesos de pasteurización capaces de reducir la población en 5 ciclos logarítmicos mas la mayoría de los importadores internacionales requiere una reducción de por lo menos 2 ciclos logarítmicos de la *Salmonella* vegetativa en los blanqueadores, tostadores, unidades de microondas y tratamientos de PPO considerándose el bajo nivel de contaminación inicial. Sin embargo, como el medio de calentamiento es solo aire caliente, se debe llevar en cuenta que la actividad de agua es < 1 y tratar el proceso de tostado como aplicación de calor seco (Pflug, 1999). Kirby & Davies (1990), reportaron que la actividad de agua reducida aumenta la resistencia térmica de bacterias vegetativas. Desde 1968 Mcdonough y Hargrove destacaron la importancia de la humedad en la destrucción de *Salmonella* por calor seco en leche en polvo. Una serie de criterios de puntos críticos deben ser alcanzados por los procesos mencionados y los exportadores deberán satisfacer estés requerimientos demostrándolos mediante ensayos de validación. Cuando no se puede evaluar físicamente, el proceso, como en los sistemas continuos, se debe proceder a estudios de inoculación directa y recuperación de sobrevivientes fuera de áreas de producción, para verificar el número de reducciones decimales efectivamente alcanzados.

REQUERIMIENTOS DE VALIDACIÓN FÍSICA

Los perfiles térmicos deberán ser colectados en varios puntos durante el proceso, el diseño del equipo y su distribución de calor deben ser analizados primero para establecer la localización del El equipo debe ser testado bajo las peores condiciones, esto significa punto de calentamiento mas lento (punto frío).Es en este punto que deberá ser calculada la letalidad mínima. con la mayor altura de lecho de producto, mayor velocidad de transporte de producto (procesos continuos), y en zona de temperatura mas baja.

La letalidad puntual debe ser calculada con los datos de tiempo y temperatura y la letalidad acumulada debe ser comparada con los límites críticos (tabla 1). Para calcular el tiempo y temperatura equivalente cuando se utilizan temperaturas de proceso diferentes de las indicadas en la tabla 1 se usa la ecuación siguiente:

$$F = F_R.10^{\frac{T_R - T}{z}} \quad (1)$$

Donde T = temperatura ºC
F = tiempo (min) requerido a temperatura utilizada T
F_R = tiempo requerido a la temperatura de referencia
T_R temperatura de referencia ºC
Z = coeficiente térmico de *Salmonella* (calor seco)

La letalidad acumulada para cada proceso puede ser calculada mediante el método del trapecio (Pflug ,1999) para cada sensor de temperatura. De preferencia un mínimo de 3 procesos para cada tipo de producto deben ser acompañados.

$$F_{120ºC}^{z^oC} = \int_{t_n}^{t_f} L \cdot dt \quad (2)$$

$$\int_{t_0}^{t_f} L \cdot dt \cong \Delta t \cdot \left[\left(\frac{L_0 + L_n}{2} \right) + \sum_{i=1}^{n-1} L_i \right] \quad (3)$$

Donde L_0 e L_n son la letalidad no instante inicial y final, respectivamente, Δt es el intervalo de tiempo. Li es la letalidad al tiempo i .El número de reducciones logarítmicas γ es calculado por:

$$\gamma = F_T^z \cdot D_T \quad (4)$$

Donde: D_T es el índice de reducción decimal de *salmonella* sometida a calor seco a temperatura T.

Cuando existe una alteración en el diseño o en las condiciones del proceso debe ser realizada otra validación confirmatoria.

El proceso deberá ser descrito indicando tipo, marca de equipo y las condiciones de proceso como espesura, y longitud del lecho, descripción del equipo tipo y localización de los sensores. También el producto deberá ser descrito, su tamaño y humedad.

Los datos deben ser colectados con sensores de temperatura calibrados como termocuplas, Data Trace, Pt1000 o equivalentes. Los sensores deberán asegurar lecturas a temperatura ambiente de ± 0.5C. Datos de calibración de los sensores del ensayo y del equipo deben constar en el reporte de validación.

El objetivo de esta investigación es presentar resultados de validación de proceso de tostado de granulados de castañas de marañón (*Anacardium occidentale*) para determinar su efectividad frente a eliminación de *salmonella* por calor seco.

Tabla 1: Límites críticos de tiempo y temperatura para alcanzar 2 ciclos logarítmicos de reducción de *Salmonella

Proceso	Temperatura Mínima ºC	Tiempo mínimo (min)	Observaciones
Blanqueado	81	3.8	Para otros txT equivalentes Usar z = 30ºC (54ºF). T es medido en el agua entre las nueces o en el punto frío.
	90	1,9	
	99	1.0	
Tostado en tambor con aire caliente.	90	30,5	Para otros txT equivalentes usar z = 54.05ºC (97.29ºF). T es medido entre las nueces. % humedad ≥ 3.5
	110	13,0	
	120	8,5	
Tratamientos por calor seco	120	90	Para otros txT equivalentes Usar z = 24.8ºC (44.7ºF). T medido entre las nueces Secas.
	130	35.6	
	140	14.1	

* Beuchat y Heaton (1975), Kirby y Davies (1990), Gozzer (2001)

MATERIALES Y METODOS

Los productos fueron granulados de castañas de 2 granulometrías diferentes (ver tabla 2). La altura del lecho era de aproximadamente 180mm.

El tostador era de tipo tambor rotatorio operando en régimen "batch" equipado con juego de aletas de agitación, que barrían el lecho del producto, con capacidad para tostar 240kg de castaña cruda/ciclo, funcionando con aire caliente proveniente de quemador de gas. Equipado con tapa de descarga frontal, con visor y sensor Pt100 para registro y control de la temperatura del interior del tambor y silo superior con medidor por peso, para alimentación de la castaña cruda (ver figura 1).

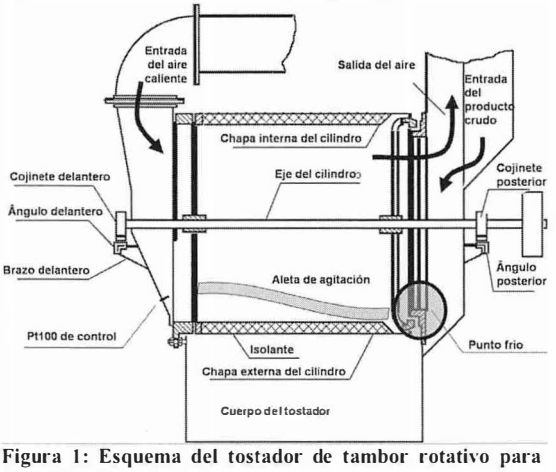


Figura 1: Esquema del tostador de tambor rotativo para granulado de castañas.

El Pt100 de control era conectado a un registrador Honeywell y a un visor en el panel de control. La temperatura del aire caliente entrando al tambor era monitoreada con una termocupla tipo K localizada próximo al final de la línea de entrada de aire y su lectura observada con un visor de temperatura. La temperatura del aire saliendo era verificada con un sensor analógico de bulbo, localizado en el lado posterior del equipo, próximo a la entrada del producto.

Fue solicitado del procesador datos de análisis microbiológicos de detección de *Salmonella* de los últimos 3 meses, en el producto antes y después de tostado.

Tabla 1: Características de granulometría y humedad de los granulados de castaña de marañón.

Tipo de granulado	Granulometría (mm)	Humedad Crudo	Humedad Torrado
1	17 a 40 % < 5,66mm 55 a 80% < 4,00mm Max 5% < 1,41	< 3 %	< 3%
2	Min 95% < 2,00mm	< 3 %	< 3 %

El proceso de tostado puede ser resumido como sigue:
Alimentación del silo superior con 200kg de granulado crudo.
Calentamiento del tambor con aire caliente hasta llegar a 150°C, Inicio de la rotación del tambor y luego entrada del producto al tambor y monitoreamento de la temperatura del producto con el Pt100 de la puerta hasta que la temperatura llega a 145°C entre los granulados, la operación de tostado era de aproximadamente 15 minutos, según información del procesador. Después de parada la rotación, el producto era retirado por la puerta delantera para una mesa de acero inoxidable donde se distribuia uniformemente. El lecho de la mesa era perforado, permitiendo la retirada del aire caliente a través del producto, mediante una bomba para acelerar el enfriamiento, por 5 minutos. A seguir el producto va para envase.
Para el ensayo de validación, fueran usados termocuplas Omega flexibles tipo TT-T-36 conectadas a un "Data logger" Fluke, Modelo 2625A Hydra Serie II, para capturar la temperatura a cada 15 segundos. Para el primer ensayo de determinación de punto frió, dos sensores remotos Data Trace (TMI-Orion), tipo Pt1000, modelo NVQL/1Tc con certificados de calibración da Orion-Francia, y errores de 0.01-0.02°C, fueran usados, siendo posicionados entre los gránulos, uno en la rampa de entrada del producto, cerca de la pared posterior, y otro suspenso por el eje central, a 30 cm del eje e a 16 cm del fondo. Las termocuplas fueran calibradas contra un Pt100 de referencia, y fueron colocadas en la siguiente disposición:
"Tc S_puerta": Termocupla instalada con su junta de medida a menos de 1cm del sensor Pt100 del tambor para medir la temperatura entre los granulados, localizado en el interior la puerta de salida del tostador.
"Tc S.analógico (T aire)": Termocupla instalada junto al sensor analógico de bulbo, en la parte posterior del equipo para medir la temperatura del aire a la salida.
"Tc producto_fondo tostador": Localizada en el interior del producto, al fondo del equipo (próximo de la entrada del granulado crudo), a 30cm abajo del eje central del tambor.
"Tc Mesa enfriamiento": Midió la temperatura del producto en la lateral de la mesa de enfriamiento, a la salida del tostador.
Fueran acompañados 3 ensayos para cada uno de los dos tipos de granulados. La letalidad fue calculada a partir de los datos de tiempo x Temperatura de las posiciones indicadas arriba, utilizando la ecuación (3).

El valor de z de *Salmonella* para calor seco usado fue de 54.05°C (Gozzer, 2001). Fue utilizado el criterio de este ultimo autor de que una exposición a 120°C/8.5 minutos es suficiente para causar una reducción de 2 ciclos logaritmicos en la población de este microorganismo en castañas con humedad 3.5% (tabla 1).

RESULTADOS E DISCUSIÓN

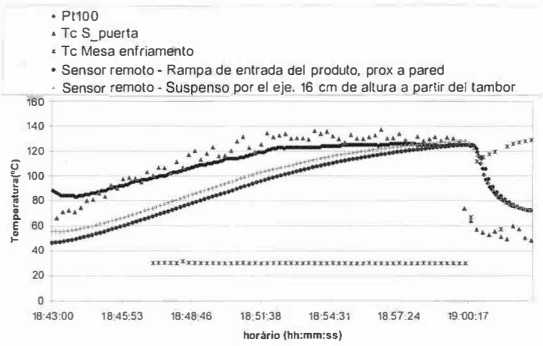


Figura 1: Historia térmica de granulado de castaña en cuatro posiciones dentro del tambor rotatorio.

En la figura 2 observa-se que la posición mas fría está localizada cerca de la rampa de entrada de producto, próximo a la pared posterior, a aproximadamente 30cm del fondo. Las otras posiciones tienen una subida de calentamiento más rápida. Por tanto, en los siguientes ensayos, esta posición fue acompañada junto con la lectura del Pt100 de la puerta y de la termocupla localizada cerca de él.

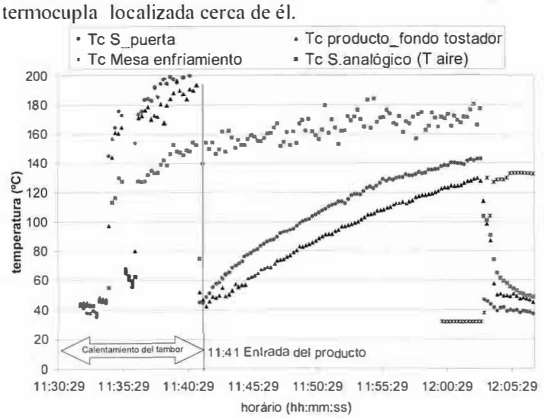


Figura 2: Gráfico de la 1ª repetición del proceso para el granulado 1.

En la figura 3 se muestra la historia térmica del proceso de tostado del granulado 1, y se observa que el punto de medida de temperatura localizado en el fundo del tostador es de calentamiento más lento, cuando comparado con el termopar que mide la temperatura junto al Pt100 de control. Existe una diferencia de temperatura de aproximadamente 20°C entre la puerta y el fundo, durante el proceso. El lado izquierdo del gráfico muestra la etapa de calentamiento del tambor a temperaturas más elevadas y el lado derecho, el calentamiento del producto. El promedio de la temperatura del aire a la salida del tambor fue de 160°C. Una vez terminado el proceso, los granulados se mantienen calientes por algunos minutos.

La figura 4, es el gráfico historia térmica del granulado 2, que completa el proceso en menor tiempo – ver tabla 3-. La diferencia entre la lectura de los termocuplas "Tc S_puerta" y "Tc producto_fondo tostador" es de aproximadamente 15°C al final del calentamiento. El promedio de la temperatura del aire a la salida del tambor fue también de 160°C.

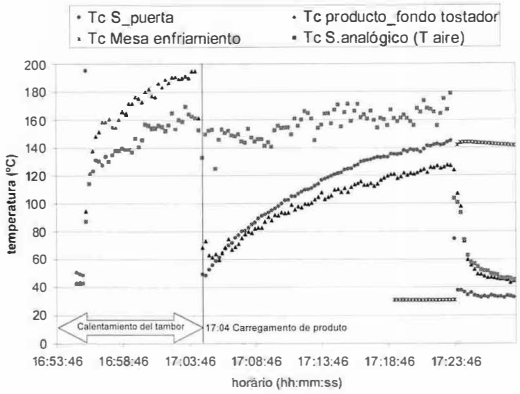


Figura 1: Gráfico de la 1ª repetición del proceso para el granulado 2.

La figura 5 muestra para 5 ciclos de proceso de castaña granulada la temperatura del PT100 de control graficadas por el registrador Honeywell indicando que la temperatura de calentamiento del producto llegaba hasta 145°C.

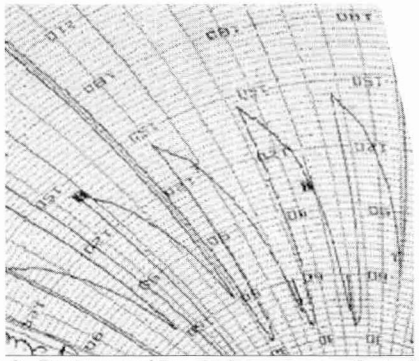


Figura 2: Registro gráfico de los procesos de tostado de granulados de castaña de marañón – Lecturas del Pt100 registradas en gráfico circular.

Tabla 1: Tiempo total de cada proceso de tostado en minutos

	Teste 01	Teste 02	Teste 03
1	21.45	13.95	16.72
2	18.70	18.20	19.60

En la tabla 3, están indicados los tiempos de proceso desde el momento de la descarga del producto del silo del tostador hasta la salida del tambor. El promedio de los tiempos de proceso fue de 17.37 minutos para el granulado 1 y de 18.83 minutos para granulado 2.

En la tabla 4 están calculados los valores de F para los granulados 1 y 2 a la temperatura de 120°C, considerando un valor z de 54.05°C. Existe variación entre los ensayos, tanto para el granulado 1 cuanto para granulado 2. De cualquier forma, los valores de F calculados con los datos medidos con la termocupla "Tc S puerta" son más de dos veces mayores que los valores calculados con los datos del punto frío, mostrando falta de homogeneidad en la distribución puntual de temperatura dentro del tambor.

Tabla 2: Validación de los procesos: valor de $F_{120°C}^{54.05°C}$ acumulado para cada producto, en cada posición. El resultado es dado en minutos a 120°C.

			$F_{120°C}^{54.05°C}$		
Tipo de granulado	Sensor	Posición	Teste 01	Teste 02	Teste 03
1	Tc S_puerta	Interior puerta	20.2	14.4	16.0
	Tc producto_ fondo tostador	Punto frio	8.8	8.5	14.9
2	Tc S_puerta	Interior puerta	19.7	15.1	11.7
	Tc producto_ fondo tostador	Punto frio	9.5	17.5	8.5

Esta observación es importante pues el control de la temperatura de tostado era aplicado a partir de la lectura del Pt100 de la puerta, el cual no representaba la peor situación de calentamiento del equipo. Sin embargo, para todos los ensayos el valor de $F_{120°C}$ calculado con la temperatura del punto frío, fue superior al sugerido por Gozzer (2001), de 8.5 minutos a 120°C, para este tipo de sistema de tostador.

Tabla 3: Reducciones Decimales (γ) estimadas en la concentración de *Salmonella* en el punto frío

	Localización	corrida 01	corrida 02	corrida 03
1	punto frío	2.1	2.0	3.5
2	punto frío	2.2	4.1	2.0

Tabla 4: Reducciones Decimales (γ) estimadas en la concentración de *Salmonella* en el punto de controle del proceso (junto al Pt100)

	corrida 01	corrida 02	corrida 03
1	4.8	3.4	3.8
2	4.6	3.5	2.7

Las tablas 5 e 6 fueran construidas usando la ecuación (4) con el valor D120°C de *Salmonella* de 4.25 minutos. Estas tablas presentan el número de reducciones logarítmicas estimadas de la concentración de *Salmonella* en el punto frío y en el punto de control junto al Pt100, respectivamente. En todos los casos, se consigue llegar a dos o más ciclos logarítmicos de reducción de *Salmonella*, atendiendo, de esta forma, el requerimiento de los importadores y de los procesadores secundarios. Estos resultados están de acuerdo con Weng & Gunawardena (2006) para almendras, estos autores indicaran que, después de diecisiete minutos de calentamiento, la superficie de almendras llega a 137,8°C, y fueron alcanzadas apenas 2~3 reducciones decimales en la población de *Salmonella* por acción del tostado.

No fue observada alteración de color en los productos tostados, siendo una indicación de que hubo adecuada agitación del producto dentro del tambor, e, por tanto, razonable homogeneidad de temperatura *para los granulados*, a pesar de no existir para las posiciones puntuales acompañadas.

Hubo ausencia de *Salmonella* en todas las muestras de granulados analizadas por el procesador antes y después de tostado.

CONCLUSIÓN Y SUGESTIONES

El proceso de tostado de granulado de castaña en tambor rotativo es capaz de garantizar dos o más reducciones decimales en la población de *Salmonella*, estando validado.

Para mejorar la distribución de calor, en el sentido de promover mejor homogenización de la temperatura en todos los puntos del tambor, seria necesario forzar la corriente de aire caliente a bajar hasta cerca del fundo del tambor. Esto seria posible cambiando la posición de la salida del aire, para la parte inferior del tambor.

En la actual situación de diseño del equipo, es interesante colocar un segundo Pt100 en el punto frío, de modo a registrar los datos en esta posición.

REFERENCIAS

Beuchat, L.R., Heaton, E.K. 1975. *Salmonella* Survival on Pecans as Influenced by Processing and Storage Conditions. Applied Microbiology. 29(6): 795-801

Cajucultura 2007. Previsão de safra de castanha de caju no Brasil. 25 de Julio. www.cajucultura.com.br/p_brasil.html

Danyluk, M.D., Harris, R.J., Schaffner, D.W. 2006. Monte Carlo Simulations Assessing the Risk of Salmonellosis from Consumption of Almonds. J. of Food Prot.. 69(7): 1594-1599.

Uesegi,A., Harris, L.J. 2006. Growth of *Salmonella* enteritidis Phage Type 30, in almond hull and shell slurries and survival in drying almond hulls. J. of Food Prot. 69(4): 712-718

FSnet 2006. Outbreak of salmonella serotype enteridis infections associated with raw almonds – United States and Canadá,2003/2004.27deSeptiembre.www.foodcontamination.ca /fsnet/2004/6-2004/fsnet_june_4-2.htm

Gozzer, R. 2001. Nut/Peanut Processing Expectations. Kraft Food International. 21/01/01 R01 :1-20

Isaacs, S. *et al.*, 2005. An International Outbreak of Salmonellosis Associated with Raw Almonds Contaminated with a Rare Phage Type of *Salmonella enteridis*. Journal of Food Protection. 68(1):91-198.

Kirby, R.M., Davies, R. 1990. Survival of dehydrated cells of *Salmonella typhymurium* LT2 at high temperatures. Journal of Applied Bacteriology. 68:241-246

Lima, J.R. 2007. Produção de pasta de amêndoa da castanha de caju.25 de julio
www.cnpat.embrapa.br/home/portfolio/tecnologia.php?id=14

McDonough, F.E., Hargrove, R. E. 1968. Heat resistance of Salmonella in Dried Milk.. J. of Dairy Science. 51(10):1587-1591.

Pflug, I. 1999. "Microbiology and Engineering of Sterilization Processes", University of Minnesota, Environmental Sterilization Laboratory, 10th edition.

Uesugi, A.R., Harris, L.J. 2006. Growth of *Salmonella enteridis* Phage Type 30 in Almond Hull and Shell Slurries and Survival in Drying Almond Hulls. J. of Food Prot. 69(4): 712-718.

Weng, Z.J., Gunawardena, J. Process Validation of FMC Dry Food Surface Pasteurization System. Abstract 078D-08, IFT'2006, Orlando, Florida.

LIVING FOOD: KNOWLEDGE BASE AND TECHNOLOGY

Federico Gómez Galindo[a,b]
[a]**IBB-Institute for Biotechnology and Bioengineering, Centro de Engenharia Biológica, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal**
[b]**Food Engineering, Lund University, PO Box 124, SE - 22100, Lund, Sweden**

SUMMARY

Knowledge of the cellular and tissue transformations that result from environmental conditions or industrial manipulation is a powerful means for food engineers to gain a better understanding of biological systems in order to avoid potential side effects. This paper provides an overview, through 3 examples, of industrial treatments of plant tissue that cause stress responses affecting their structure and, potentially, their quality characteristics and industrial performance.

INTRODUCTION

Because plants are confined to the place in which they grow, they have a limited capacity to avoid unfavourable conditions in their environment, such as extremes of temperature, water shortage, insufficient or excessive light or mineral nutrients, wounding by herbivores or attack by pathogenic bacteria, fungi, viruses and viroids. Plants have developed sophisticated molecular chemical strategies to defend themselves against such abiotic and biotic stress, often combined with changes in growth and development patterns (Boyer, 1982; Gaspar et al., 2002).

Stress is usually defined as an external factor that exerts a disadvantageous influence on the plant. This concept is closely associated with stress tolerance, which is the plant's capacity to cope with unfavourable conditions (Taiz and Zeiger, 2002). In both natural and agricultural conditions, environmental factors, such as air temperature, can become stressful in just a few minutes. Soil water content may take days to weeks, whereas other factors such as soil mineral deficiency, can take months to become stressful. Cellular responses to stress may include changes in cell cycle and division, cell membranes, cell wall architecture and metabolism (e.g. accumulation of osmotically active substances).

Fruits and vegetables, as raw material for the food industry, are *metabolically active ("living food").* From a biological point of view, **industrial treatment of plant tissue will mimic stress** and therefore, knowledge of how the plant material will be affected in relation to time, environment and industrial manipulation is of fundamental importance for quality assurance and process optimization.

We here focus our attention on analysing three cases where stress responses of fruits and vegetables during industrial processing operations may affect their structure and quality.

CASE 1. UNIT OPERATIONS CAUSING CELL DAMAGE

During harvesting, transportation, washing, sorting and packing, fruits and vegetables are subjected to mechanical stress that may lead to crushing of surface cell layers. When the fresh products reach the processing line for producing, for example, ready-to-use salads, they are typically peeled, sliced, diced or shredded before packaging. The extent of wounding and the size of the wounded surface caused by these processing operations directly influences the quality and shelf life of the final product. For example, it has been demonstrated that carrots peeled by abrasion or sliced with a blunt machine blade show higher respiration rates, greater microbial contamination and microbial growth rates, higher pH values in the carrot tissue, higher rates of weight loss and higher white tissue development than those that had been hand peeled or sliced with razor blades (Barry-Ryan and O'Beirne, 1998; 2000).

Processing operations causing cell damage are traumatic for the cells proximal to the damage site and induce a complex series of molecular events aimed at repairing the damage caused to the tissue (Surjadinata and Cisneros-Zevallos, 2003).

One of the first signs of stress is manifested with an increase on respiration rates. Wadsö, Gómez et al. (2004) found that the overall metabolic activity (expressed as specific thermal power in Figure 1) of diced carrot, rutabaga and potato tissue rose linearly with an increase in cut surface area per unit volume (intensity of wounding), being as much as 40% higher when the surface area was doubled.

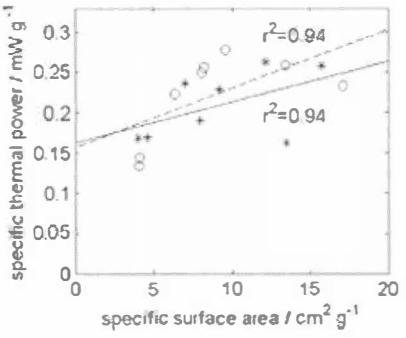


Figure 1. Specific thermal power as a function of specific surface area with samples from carrots (stars and solid line) and potatoes (circles and dashed line)

This increase in metabolic activity is the consequence of a large number of biosynthetic events taking place during wound healing (Laties, 1978). In the case of vegetables such as carrots and potatoes, the cells near the site of the wounding stress strengthen their cell walls by the synthesis of several secreted proteins, such as hydroxyproline-rich glycoproteins, and their cross-linking to the cell wall after wounding (Showalter and Varner, 1987; Bradley et al., 1992). This is a process that starts within 1 min and is completed within 10 min after wounding.

In addition of the cross-linking of structural proteins, the secretion of additional structural components such as lignin or suberin takes place, creating a protective layer immediately below the site of damage to prevent dehydration and potential penetration by pathogens (Figure 2) (Satoh et al., 1992; Kaack et al., 2002). This is a process that takes days to be completed (Razem and Bernards, 2002).

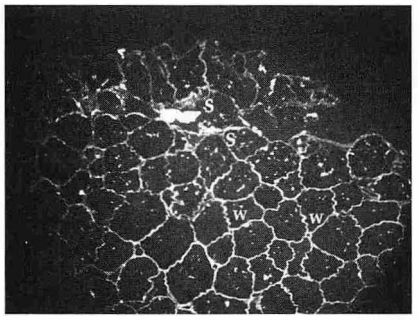


Figure 2. Microstructure of the raw surface of wounded potato tissue showing thick suberized (s) and curly cell walls (w).

The described metabolic changes are well documented and a search in the plant physiology literature would suggest how the metabolism of vegetables may react upon unit operations causing cell damage. In other words, we know what could be expected from the tissue response. However, as we will see, other unit operations may cause novel (i.e. not found in nature) tissue stress conditions whose metabolic consequences need to be investigated and understood in the light of their influence on the quality of the final product.

CASE 2. NOVEL STRESS CONDITIONS OCCURING DUE TO INDUSTRIAL PRACTICES I. USE OF ADDITIVES

In the case of potatoes or other vegetables susceptible to enzymatic browning, the fresh-cut vegetables should be treated with anti-browning substances such as citric acid, ascorbic acid or L-cysteine before packing. The effect of these browning inhibitors on the metabolic activity of the fresh cut tissue has been recently explored by Rocculi, Gómez et al (2007) using isothermal calorimetry. Interestingly, the results showed that all such forms of treatment accelerated the metabolism (expressed as heat production rate, P in Figure 3) of the samples. This metabolic acceleration produced a significant decrease of the concentration of sucrose, fructose and glucose in the treated potatoes.

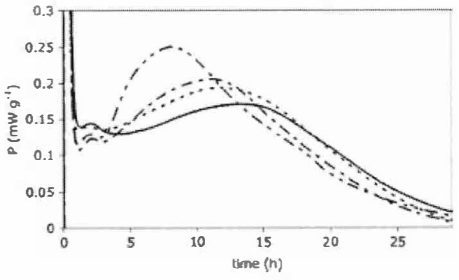


Figure 3. Heat production profiles of potato parenchyma tissue treated with water (control) (—) and with 1% aqueous solutions of AA (- - -), CA (- – -) and LC (– - - –) for 3min at 20·C.

Increase of metabolic activity may lead to faster oxygen consumption of packed fresh-cut potatoes with possible consequences for the quality maintenance of the produce as this may lead to anaerobiosis inside the package and fermentation (Jacobsson, 2004). Sugar metabolism is also a very important factor affecting eating quality. As an example, the colour of fried potatoes will be determined by the chemical composition of the tubers, where reducing sugars play a key role (Blenkinsop et al., 2004).

Notice here that, traditionally, the evaluation of the effect of the addition of anti-browning substances to fresh-cut products has been based on colour changes during storage (Gunes and Lee, 1997; Buta and Moline, 2001; Hwang et al., 2002). The results previously described strongly suggest that the addition of these substances affects the metabolism of the exposed tissue.

In the search for a better understanding of how metabolism is affected, Gómez, de Voos et al (unpublished) used metabolic profiling techniques to explore metabolic pathways in potatoes that might have been affected by the addition of anti-browning substances. Using a setup of liquid chromatography (LC) coupled with quadruple time-of-flight (QTOF) mass espectrometry (MS) using electron spray ionization (ESI) and photodiode array detection (PDA) (LC-PDA-ESI-QTOF-MS setup), the authors found striking results suggesting that the pathway for suberin formation in the wounded potato has been affected by the anti-browning treatments. In an attempt to confirm this hypothesis, Ndi (2007) used fluorescence microscopy to quantify suberin deposition on the treated potato slices (Figure 4).

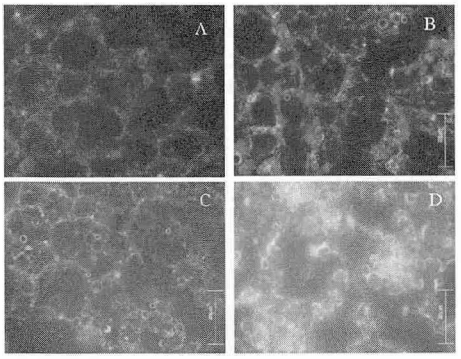


Figure 4. Suberin deposition on wounded potato tissue detected by absorption of fluorol yellow 088. (A, B) potato slices were obtained and packed for 2 and 8 days respectively (control). (C, D) Potato slices were obtained, treated with 1 % solution L-cysteine and packed for 2 and 8 days respectively.

The pictures suggest a higher deposition of suberin in the cysteine-treated potato slices. If these results are confirmed in further experiments, we would have a direct indication that anti-browning substances are affecting a metabolic pathway closely associated with a stress response, in addition to the previously described effect on metabolic activity and concentration of sugars.

Implications of these findings on the texture and microbial shelf-life of fresh-cut potatoes need further investigation.

CASE 3. NOVEL STRESS CONDITIONS OCCURING DUE TO INDUSTRIAL PRACTICES II. PULSED ELECTRIC FIELD (PEF)

The application of PEF to living cells causes a transient increase in the transmembrane potential difference, modifying the plasma membrane organization and bringing it locally to a permeable state (Sabri et al., 1996). Irreversible permeabilization is *inter alia* studied as cancer therapy (Mir, 2001; Rols, 2006) and as food processing method (Fincan et al., 2004). By strict control of the electropulsation parameters, the permeabilization may evade affecting cell viability. This is, under the name electrotransformation, routinely used for gene transfer with walled as well as wall-less systems (Ganeva et al., 1995).

The stress caused by PEF has been shown to affect metabolism, including increasing yield of a cytostatic compound in cell culture of *Taxus chinensis* (Ye, et al. 2004) and increased yields of antioxidants and phytosterols from oil seeds and fruits (Guderjan, Topfl et al. 2005; Guderjan, Elez-Martinez et al. 2007). The metabolic effects of PEF can be widely varied, both to the extent of permeabilization and between permanent and transient permeabilization, by choosing appropriate pulse shape and polarity, number, length, and interpulse time (Fincan, 2003; Chalermchat, 2005). The cellular response to PEF-induced stress must be assumed to overlap with other stress responses. Yet, PEF treatment is unique as a stress regarding its primary effect on cell membranes and by causing a homogenous effect over the whole treated tissue.

Cellular responses to PEF-induced stress have been recently studied in potatoes by Gómez, Vernier et al. (submitted for publication). The authors reported kinetic studies of the labeling of plasma membrane with the fluorescent dye FM1-43. This amphipathic styryl dye has a divalent cationic head group and a lipophilic tail, and it reversibly partitions into the outer leaflet of the cell membrane. FM1-43 fluoresces weakly in an aqueous environment, and its quantum yield increases by two orders of magnitude on interaction in the lipid membrane (Schote and Seeling, 1998).

Kinetic studies on plant cells have shown that after application of FM1-43, staining of the plasma membrane is immediate and the cell wall does not act as a barrier that can significantly slow the staining process (Bolte et al., 2004). However, it was shown through chemical treatment of the cell wall, that the diffusion of FM1-43 towards the cell membrane is slower if cell wall porosity decreases and, therefore, FM1-43 was tested as a marker for assessing cell wall permeability changes after the application of PEF.

In Figure 5a-d, typical microscopic observations of the fluorescent interaction of the dye with the cell membrane after PEF application are shown. Figures 5a and b show a dramatic decrease of the fluorescence intensity of the PEF-treated sample in comparison with that of the control. The fluorescence intensity is progressively restored when increasing the dipping time of the potato slice in FM1-43 from 2 to 5 min (Figures 5c, d), showing that PEF treatment has affected the rate of diffusion of the dye through the extracellular space, slowing the staining process.

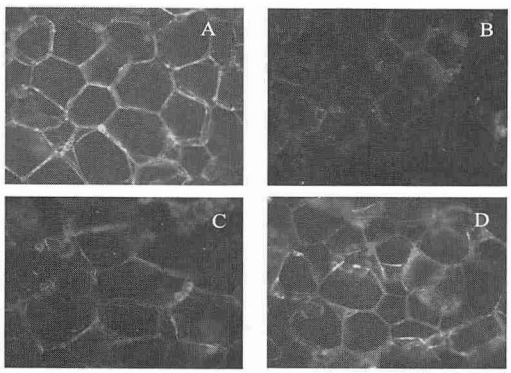


Figure 5. Typical experimental results from the effect of electropulsation on the fluorescence intensity of FM1-43. Potato tissue was treated with field strength of 400 V/cm (one 1 ms rectangular pulse) and FM1-43 was applied. (A) Potato tissue that was not PEF-treated (control) and dipped 2 min in FM1-43 (B, C, D) PEF-treated tissue dipped in FM1-43 for 2, 3 and 5 min respectively

Through further kinetic studies, Gómez, Vernier et al concluded that electropulsation, in the range of 100 to 500 V/cm (one 1 ms rectangular pulse), slows the diffusion of the dye FM1-43 through the cell wall of potato tissue, suggesting a significant decrease in cell wall permeability at nanometer scale. Experimental evidence linked those changes with the production of H_2O_2 by cell wall associated peroxidases. This metabolic response apparently mimics the stress response upon wounding described in this paper under "Case 1". However, the response upon wounding involves only the superficial cells, whereas upon PEF, as mentioned earlier, the response would be homogenous over the whole treated tissue.

These results suggest that, in vegetables with the metabolic capacity to induce cell wall structural changes upon stress, the application of PEF under the studied conditions would not only open pores in the cell membrane but also induce the reduction of cell wall porosity. The implications of these structural changes for industrial processes aiming at transferring substances inside cells with the aid of PEF should be further explored.

CONCLUDING REMARKS

Food processors dealing with fruits and vegetables are dealing with "living food" material and is very important to understand how each unit operation affect their metabolism and therefore composition, structure, quality characteristics and industrial performance.

Further investigations directed to understand the genetic control of metabolism during industrial processing of fresh fruit and vegetables, through techniques such as transcriptomics and metabolic profiling, will increase our knowledge on the consequences of industrial practices, essential for quality assurance and optimization.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work summarized in this paper has had the support of grants from the Portuguese Foundation of Science and Technology, the Swedish Foundation for International Co-operation on Research and Higher Education and the USA Air Force Office of Scientific Research.

REFERENCES

- Barry-Ryan, C. and O'Beirne, D. 1998. Quality and shelf-life of fresh cut carrot slices as affected by slicing method. *Journal of Food Science*, 63: 1-6.Boyer, J.S. 1982. Plant productivity and environment. *Science*, 218: 443-448

- Barry-Ryan, C., and O'Beirne, D. 2000. Effects of peeling methods on the quality of ready-to-use carrot slices. *International Journal of Food Science and Technology*, 35: 243-254.

- Blenkinsop, R.W., Yada, R.Y. and Marangoni, A.G. 2004. Metabolic control of low-temperature sweetening in potato tubers during postharvest storage. *Horticultural Reviews* 30, 317–354

- Bolte, S., Talbot, C., Boutte, Y., Catrice, O., Read, N.D., Satiat-Jeunemaitre, B. 2004. FM-dyes as experimental probes for dissecting vesicle trafficking in living plant cells. *Journal of Microscopy* 214, 159-173.

- Bradley, D.J., Kjelbom, P., and Lamb, C.J. 1992. Elicitor-and wound-induced oxidative cross-linking of a proline-rich plant cell wall protein: a novel, rapid defense response. *Cell*, 70: 21-30.

- Buta, J.G., Moline, H.E. 2001. Prevention of browning of potato slices using polyphenoloxidase inhibitors and organic acids. *Journal of Food Quality* 24, 271–282.

- Chalermchat, Y. 2005. Effect od pulsed electric fields on plant tissue. PhD thesis. Department of Food Technology, Engineering and Nutrition. Lund University, Sweden.
- Fincan, M. 2003. Pulsed electric field treatment of plant tissue. PhD thesis. Department of Food Technology, Engineering and Nutrition. Lund University, Sweden.
- Fincan, M., De Vito, F., Chalermchat, Y. and Dejmek, P. 2004. Pulsed electric field treatmentn for solid-liquid extraction of red beetroot pigment. *Journal of Food Engineering* 64, 381-388.

- Ganeva, V., Galutzov, B. and Teissié, J. 1995. Electric field mediated loading of macromolecules in intact yeast cells is critically controlled at the wall level. *Biochimica et Biophysica Acta* 1240, 229-236.
- Gaspar, T., Franck, T., Bisbis, B., Kevers, C., Jouve, L., Hausman, J.F., and Dommes, J. 2002. Concepts in plant stress physiology: Application to plant tissue cultures. *Plant Growth Regulation*, 37: 263-285.
- Guderjan, M., Elez-Martinez, P. and Knorr, D. 2007. Application of pulsed electric fields at oil yield and content of functional food ingredients at the production of rapeseed oil. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 8, 55-62.
- Guderjan , M., Topfl, S. Angersbach, A. And Knorr, D. 2005. Impact of pulsed electric field treatment on the recovery and quality of plant oils. *Journal of Food Engineering* 67, 281-287.

- Gunes, G., Lee, C., 1997. Color of minimally processed potatoes as affected by modified atmosphere packaging and antibrowning agents. *Journal of Food Science* 62, 572–575.

- Hwang, T.Y., Son, S.M., Moon, K.D. 2002. Screening of effective browning inhibitors of fresh-cut potatoes. *Food Science and Biotechnology* 11, 397--400
- Jacobsson, A., 2004. Quality aspects of modified atmosphere packed broccoli. PhD Thesis, Department of Food Technology Engineering and Nutrition. Lund University, Sweden
- Kaack, K., Kaaber, L., Larsen, E., and Thybo, A.K. 2002. Microstructural and chemical investigation of subsurface hardened potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Potato Research*, 45: 9-15.
- Laties, G.G. 1978. The development and control of respiratory pathways in slices of plant storage organs. In *Biochemistry of Wounded Plant Tissues*. pp. 421-466. Kahl, G. Ed. de Gruyter, New York.

- Mir, L.M. 2001. Therapeutic perspectives of *in vivo* cell electropermeabilization. *Bioelectrochemistry* 53, 1-10.

- Ndi, C. 2007. Quantification of suberin in potato tissue. MSc thesis. Lund University, Department of Food Technology, Engineering and Nutrition. Lund, Sweden.
- Razem, F. and Bernards. M.A. 2002. Hydrogen peroxide is required for ploy(phenolic) domain formation during wound-induced suberization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 1009-1015.
- Rocculi, P., Gómez, F., Mendoza, F., Wadsö, L., Romani, S., Dalla Rosa, M. and Sjöholm, I. 2007. Effects of the application of anti-browning substances on the metabolic activity and sugar composition of fresh-cut potatoes. *Postharvest Biology and Technology* 43, 151-157.

- Rols, M.P. 2006. Electropermeabilization, a physical method for the delivery of therapeutic molecules into cells. *Biochimica et Biophysica Acta* 1758, 423-428.

- Sabri, N., Pelissier, B. and Teissié, J. 1996. Electropermeabilization of intact maize cells induces an oxidative stress. *European Journal of Biochemistry* 238, 737-743.
- Satoh, S., Sturm, A., Fujii, T., and Crispeels, M.J. 1992. cDNA cloning of an extracellular dermal glycoprotein of carrot and its expression in response to wounding. *Planta*, 188: 432-438

- Schote, U., Seeling, J. 1998. Interaction of the neuronal marker dye FM1-43 with lipid membranes. Thermodynamics and lipid ordering. *Biochimica et Biophysica Acta* 1415, 135-146.
- Showalter, A.M. and Varner, J.E. 1987. Molecular details of plant cell wall hydroxyproline-rich glycoprotein expression during wounding and infection. In: Molecular Strategies for Crop Protection. pp. 375-392. Arntzen, C.J. and Ryan, C., Eds., Alan R Liss, New York.
- Surjadinata, B.B. and Cisneros-Zevallos, L. 2003. Modelling wound-induced respiration of fresh-cut carrots (*Daucus carota* L.). *Journal of Food Science*, 68: 2735-2740.

- Taiz, L. and Zeiger, E. 2002. *Plant Physiology*. 3rd edition. Sinauer Associates Inc. Sunderland.
- Wadsö, L, Gómez, F., Sjöholm, I. and Rocculi, P. 2004. Effect of tissue wounding on the results from calorimetric measurements of vegetable respiration. *Thermochimica Acta* 422: 89-93

- Ye, H., Huang, L.L., Chen, S.D. and Zhong, J.J. 2004. Pulsed electric fields stimulates plant secondary metabolism in suspension cultures of *Taxus chinensis*. *Biotechnology and Bioengineering*, 88, 788-795.

DESARROLLO de ALIMENTOS de INTERES SOCIAL

Margarita Armada

Instituto de Investigaciones para la Industria Química (INIQUI-CONICET)
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177, A4402FDC - SALTA - ARGENTINA
E-mail: armadam@unsa.edu.ar

Palabras clave: alimentos, interés social, tecnología apropiada.

RESUMEN

Los programas de ajuste estructural a que han sido sometidas las economías de los países latinoamericanos, han influido de manera determinante en la contracción del gasto social, afectando a los grupos más vulnerables de la población y limitando su acceso a los alimentos. La población mundial crecerá, el crecimiento de demanda de productos agropecuarios aumentará y los países en desarrollo producirán más de lo que demanden y los países en transición demandarán mas de lo que produzcan. Utilizar en grupos vulnerables, alimentos de consumo masivo, con valor nutricional mejorado y de bajo costo, es decir Alimentos de Interés Social, contribuirá a mantener la seguridad alimentaria. Cuando se formulan y producen Alimentos de Interés Social se optimizan las características de calidad, especialmente las nutricionales. Estos alimentos se beben obtener a partir de insumos de producción regional y con tecnologías apropiadas, a fin de permitir bajos costos de producción.

SITUACIÓN NUTRICIONAL

Los cambios económicos que se registraron en América Latina, fueron acompañados de profundos cambios sociales afectando la educación, la salud y la nutrición. Se produjeron diferencias en la distribución de ingresos entre los distintos grupos de la población. El proceso de industrialización y urbanización intensiva ha sido acompañado de una concentración de la riqueza y un descenso del poder adquisitivo de los pobres, así las crisis económicas de las últimas décadas en estos países dejó al descubierto insuficiencias estructurales que agudizaron los problemas sociales preexistentes.

Los programas de ajuste estructural a que han sido sometidas las economías de los países latinoamericanos, han influido de manera determinante en la contracción del gasto social, afectando a los grupos más vulnerables de la población y limitando su acceso a los alimentos.

El hambre en una sociedad frena su desarrollo, perpetuando la pobreza. Hay más de 850 millones de personas en el mundo, esperando que actuemos en ayuda de los menos favorecidos. En América Latina y el Caribe, según FAO, teníamos al año 2003, 52 millones de personas subnutridas, como pude verse en Figura 1.

En la reducción del hambre en América Latina y el Caribe, hubieron éxitos y fracasos, entre el año 1990 y el 2003, según se puede observar en lo informado por FAO. Si bien países como Cuba, Perú, Chile, Uruguay, Ecuador, Jamaica y Brasil, entre otros avanzaron, otros como Costa Rica Colombia y Bolivia prácticamente no cambiaron su situación nutricional y otros como Venezuela, Guatemala, Panamá; Honduras, Argentina Nicaragua, México y Paraguay retrocedieron.

Si observamos en Figura 2, las variaciones en cantidades de personas subnutridas que alcanzaron los objetivos fijados en la Cumbre Mundial sobre la Alimentación (CMA), realizada en noviembre de 1996 en Roma, donde 180 naciones reunidas se comprometieron erradicar el hambre, reduciendo a la mitad el número de personas subnutridas en el mundo, vemos que todavía nos falta un largo camino que recorrer.

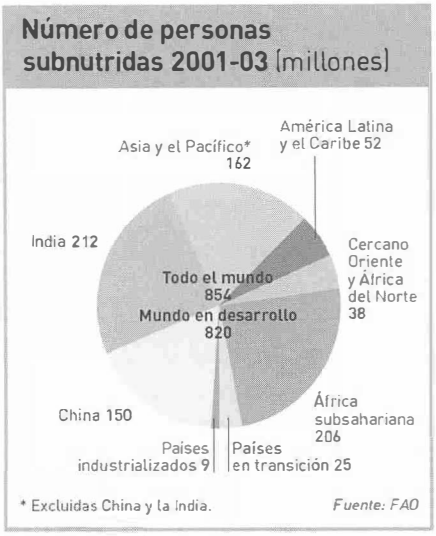


Figura 1

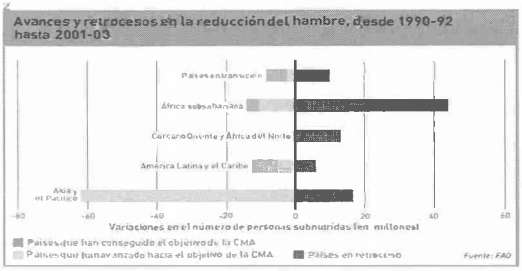


Figura 2

ALIMENTOS DE INTERÉS SOCIAL

Podemos observar que la población mundial crecerá, según proyecciones de FAO, a 7207 millones de personas hacia el año 2015, 8270 millones en el año 2030 y 9322 millones de personas en el año 2050, donde los países en desarrollo aumentarían de 5858 millones de personas estimadas para el año 2015 a 7987 millones de personas en el año 2050, en tanto que los actuales países denominados en transición reducirían su población entre el año 2015 y 2050 de 398 millones a 349 millones de personas.

También la producción y demanda de alimentos aumentará, según FAO, el crecimiento de demanda de productos agropecuarios aumentará un 1,6% en el año 2015, respecto de lo producido en el año 1999, en tanto que el crecimiento de la producción agropecuaria en el mundo también aumentará entre 1999 y 2015 un 1,6%, claro que los países en desarrollo producirán más de lo que demanden y los países en transición demandarán mas de lo que produzcan. Luego debemos optimizar los recursos disponibles en la producción agropecuaria, para facilitar el acceso a la

alimentación, de la población perteneciente a los países menos favorecidos.

Debemos prepararnos para producir lo que el mundo necesita hoy y lo que necesitará en el futuro, según vemos la proyección de calorías que se requerirán per cápita, en Figura 3.

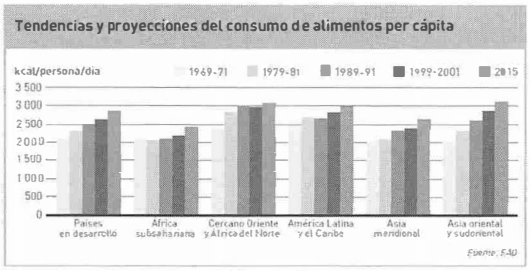


Figura 3

La FAO en la Declaración de Roma, en la Cumbre Mundial de la Alimentación, 1996, dice que existe Seguridad Alimentaria "*cuando toda la gente, en todo momento, tiene acceso físico y económico a alimentos suficientes, seguros y nutritivos para llenar las necesidades dietéticas y las preferencias alimenticias para una vida activa y saludable*".

La Seguridad Alimentaria, además de considerar la disponibilidad y suficiencia de alimentos, debe definir tres grandes grupos como población objeto: a) grupos vulnerables (embarazadas, madres que lactan, niños, ancianos), que por su condición biológica son más susceptibles a una ingestión deficitaria de alimentos, b) grupos en riesgo integrados por la población con dificultades para acceder a los alimentos por su bajo ingreso familiar y c) grupos con estado nutricional crítico, población con desnutrición energética crónica. Dentro de cualquier comunidad existen estos grupos vulnerables, de personas que son más sensibles a los cambios de la situación alimentaria, ya que tienen necesidades especiales y/o porque la estructura de la sociedad les impide obtener lo que necesitan. (Figueroa Pedraza D. 2005)

Si bien en nuestros países se vienen implementando, a través de diversos organismos, distintos programas de asistencia alimentaria a grupos vulnerables, (Plan Materno Infantil, copa de leche en comedores escolares, asistencia a la tercera edad, etc), estos programas alimentarios, generalmente distribuyen alimentos básicos a los sectores indigentes y atienden comedores institucionales, gestionando y no combatiendo el problema, al utilizar en forma escasa alimentos de consumo masivo, con valor nutricional mejorado y de bajo costo, es decir Alimentos de Interés Social.

Cuando se formulan y producen Alimentos de Interés Social, se optimizan las características de calidad nutricional, en base a los Patrones de Requerimientos Nutricionales de FAO, para los grupos vulnerables, sin dejar de lado las características higiénicas–sanitarias, las de aceptabilidad y estabilidad de los mismos. Estos alimentos se deben obtener a partir de insumos de producción regional y con tecnologías apropiadas, a fin de permitir bajos costos de producción.

TECNOLOGÍA APROPIADA

La tecnología cambia el entorno del hombre y su situación de dependencia. El interacciona con el entorno cambiándolo a su favor, es decir cambia la realidad del mundo exterior, capacidad que se denomina tecnología, si no lo logra se mueve a otro entorno más favorable. A mayor capacidad tecnología, mayor independencia lograría el individuo respecto de su entorno, pero parecería que la ciencia y la tecnología avanzan, sin generar progreso social. Observamos que tanto la ciencia como la tecnología son básicamente instrumentos de dominación, dominar la naturaleza es un valioso objetivo y todo procedimiento que permita alcanzarlo es considerado no sólo como exitoso o efectivo, sino como el único camino hacia la verdad. Por otro lado la especie humana ha sido esclavizada por el mismo conocimiento que le permitió dominar la naturaleza, luego existe correlación entre progreso científico tecnológico y progreso en dominación social. (Armada M. 2004)

El desarrollo de la tecnología, se encuentra determinado por condiciones precisas, por ello para que un país pueda usar las nuevas tecnologías, es preciso que disponga de tecnologías complementarias, lo mismo que de mercados, de escalas de producción suficientes que justifiquen el cambio técnico y en fin, que se produzca una adecuación de las clases sociales capaces de facilitar el progreso. Cuando no se ha alcanzado cierto umbral, como determinado estado de las estructuras sociales, el proceso de adquisición de las tecnologías no se puede efectuar en beneficio del país que adopta, sino exclusivamente para provecho del país iniciador, que en tal caso se convierte también en país dominante. Así en un país desarrollado, la tecnología contribuye a acelerar el crecimiento, porque sirve para resolver, en principio, los problemas particulares que plantea el desarrollo de su economía, en cambio en un país subdesarrollado, es posible que la tecnología desencadene sólo núcleos de renovación y de modernización, pero insertados en un medio general tradicional, conduciendo al establecimiento de una economía dualista, agravando además la dependencia.. (De Gortari Elí, 1984).

La dependencia científica y tecnológica ha sido una de las causas determinantes del retraso en la conservación y la explotación de riquezas de los países no industrializados, esta dependencia se ha visto acelerada por la importación de tecnologías que no son acordes con las características y las necesidades de los países subdesarrollados. Por ello cada país debería desarrollar su propia tecnología, autóctona y apropiada, en función de sus necesidades, para preservar su independencia, protegiendo su ambiente y su patrimonio económico y cultural. Es indudable que para tener independencia económica y política, es imprescindible tener independencia científico-tecnológica, luego debemos trabajar por nuestra independencia.

¿En que punto estamos si consideramos el progreso tecnológico como un proceso regulado por las etapas de: iniciación de desarrollos tecnológicos, propagación o sea progreso tecnológico y finalización o sea decadencia generada como subproducto del desarrollo tecnológico?. En estos momentos estarían viviendo los países desarrollados la segunda etapa, la de propagación, es decir que sería la etapa controlante, la del avance de la tecnología, que genera en la etapa siguiente, de finalización, productos intermedios o subproductos, destructivos para el entorno, que son los países subdesarrollados.

La tecnología puede ayudar, pero en las condiciones apropiadas. Una tecnología mejorada, adaptada a las condiciones locales que favorezcan, por ejemplo a agricultores en pequeña escala, en agroindustrias rurales, acelera la reducción de la pobreza mediante el aumento de los ingresos agrarios y la reducción de los precios de los alimentos.

El enfoque de la tecnología apropiada surge en los años 70, como una alternativa a esa concepción de la transferencia de tecnología moderna y a sus problemas, y es el tipo de tecnología más habitualmente utilizada por las organizaciones no gubernamentales.

Fritz Shumacher sostenía en el libro Lo Pequeño es Hermoso en 1973, que hay siempre que pagar un precio alto por algo que vale la pena, redimensionar la tecnología de tal forma que sirva al hombre en vez de destruirlo, requiere principalmente de un gran esfuerzo de imaginación y el abandono del temor. Este autor, pensando en un desarrollo orientado más a las personas que a la obtención de beneficios, propuso y definió la tecnología apropiada como una tecnología simple, de pequeña escala, bajo costo y no violenta. Hoy el significado de la tecnología apropiada ha incorporado principios sobre reconocimiento de: a) la importancia de los conocimientos de la población rural, b) la participación de la población para poder desarrollar una tecnología realmente apropiada a sus necesidades y d) la sostenibilidad del medio ambiente.

El avance tecnológico contribuye al desarrollo de una región y es importante buscar metodologías efectivas que contemplen los componentes necesarios para llevarlo a cabo dentro de un Modelo Agroindustrial Rural local. (Armada, M. 2003).

Este concepto se basa en el hecho de que la modernización, o sea el proceso compulsivo de imponer un

Este concepto se basa en el hecho de que la modernización, o sea el proceso compulsivo de imponer un modelo de vida típico de una cultura que se dice universal, con respecto a otras culturas consideradas como atrasadas y subdesarrolladas no ha traído bienestar a las mismas.

Si tomamos en cuenta, que los habitantes de los países andinos deberían reconocer y valorar que viven en uno de los ocho centros de domesticación de plantas cultivadas del mundo, y que algunos de estos recursos, como la papa y el maíz no sólo han contribuido a la alimentación del mundo, sino que existen varios otros cultivos aún por explotarse más intensamente, de reconocido valor alimenticio, debemos hacer algo para que esos habitantes tengan más oportunidad de beneficiarse con su producción, por ejemplo de granos, al poderlos comercializar procesados con tecnologías apropiadas a las condiciones agroclimáticas de los Andes, con altura de 2000 a 3800 metros sobre el nivel del mar y con gran amplitud térmica.

DESARROLLO DE ALIMENTOS

Para contribuir a la solución de problemas nutricionales del Norte Argentino, trabajamos en el desarrollo de tecnologías para el diseño y organización de la producción de alimentos de interés social, de origen vegetal, de disponibilidad regional y bajo costo.

Se produjeron ingredientes y alimentos, basados en modelos *CEREAL: LEGUMINOSA*, teniendo en cuenta:

- el estado nutricional de la población,
- los hábitos alimentarios, y
- la disponibilidad regional de las materias primas.

Debido a que la desnutrición de nuestra región era predominantemente del tipo calórico-proteico, la idea fue formular y desarrollar alimentos:

- Que vehiculicen calorías de manera concentrada y contengan proteínas de buena calidad.
- Que cubran parcial o totalmente las necesidades calórico-proteicas de grupos poblacionales vulnerables, cuyas características de baja accesibilidad geográfica y económica, constituían un riesgo futuro para su desarrollo o supervivencia.
- Que sean fortificados o suplementados, de acuerdo a las patologías prevalentes de la Región.
- Que se utilicen para el desarrollo de los mismos materias primas disponibles localmente y/o ingredientes no convencionales, que concuerden con los hábitos alimentarios de la población, a fin de evitar su rechazo.

Dentro de los vegetales, las semillas de oleaginosas son fuente de proteínas y grasas, y entre estas la soja ocupa una posición muy importante. En la Provincia de Salta el cultivo de soja se incrementó aceleradamente. En cuanto a los hábitos alimentarios, el frecuente uso de harinas de cereales, principalmente de trigo y maíz, indicaron que estos podrían convertirse en vehículos adecuados para la fortificación.

Trabajamos en el diseño de mezclas vegetales para mejorar cantidad y calidad de proteína, con diferentes grados de complementación de cereales con soja, utilizando para ello el método del Cómputo Químico (para mejorar el nivel de aminoácidos limitantes) y los Patrones dados por FAO/WHO.

Viendo cómo mejora la calidad nutricional al fortificar la proteína de trigo con soja, trabajamos en panificación con harinas compuestas, para mejorar la calidad proteica de un producto energético, de consumo masivo como es el pan.

Se realizó la *FORTIFICACIÓN CON HIERRO DE PANES ELABORADOS CON HARINA DE TRIGO Y HARINAS COMPUESTAS*, dado que la deficiencia de hierro es la más común de las deficiencias producidas por un solo nutriente en el mundo y entre las estrategias propuestas para reducir o eliminar esta deficiencia se incluye, la fortificación con hierro de los alimentos, y que es factible llegar a poblaciones vulnerables con alimentos de consumo masivo como es el pan, fue objetivo de este trabajo obtener panes fortificados con hierro, de buenas características sensoriales y que a la vez aporten en la dieta parte del hierro requerido, teniendo en cuenta la dosis diaria recomendada (DDR) según Mercosur GMC. Res. 18/94.

Se elaboraron a nivel laboratorio cuatro formulaciones de pan utilizando harina de trigo 100 %, y distintas mezclas: trigo:soja (90:10), trigo:salvado (50:50) y trigo:soja:salvado (50:5:45).

Estandarizadas las fórmulas se adicionaron distintas proporciones de sulfato ferroso y ácido ascórbico, seleccionándose el nivel óptimo a través de un ranking de preferencia, en el que participó un panel de laboratorio de diez jueces.

Se elaboraron los productos con las cantidades de sulfato ferroso y ácido ascórbico establecidas: 0,008 g y 0,1 g respectivamente, por cada 100 g de harina, y se procedió a evaluar la aceptabilidad con una escala hedónica y un panel no entrenado de 50 jueces. Se realizó un perfil de textura y sabor aplicando el método de consenso, con un panel de 10 jueces entrenados.

Se determinó el contenido de Fe total por EAA, como así también su biodisponibilidad in vitro por el método de Miller, en las distintas formulaciones, antes y después de la elaboración de los panes.

La aceptabilidad de todas las formulaciones fue superior al 80 %, la de trigo:soja:salvado obtuvo el mayor porcentaje (89 %). En general los panes presentaron buen volumen y buena formación de masa y esponjosidad. Respecto a la estabilidad, antes de la formación de moho, los panes duraron entre 5 a 7 días almacenados a temperatura ambiente.

En cuanto al sabor, en las formulaciones a base de trigo:soja se percibieron sabores amargos y levemente picantes con mayor regusto y persistencia que el patrón de referencia. La impresión global de los panes fue calificada como buena.

De las harinas fortificadas, la que tiene mayor contenido en hierro es la trigo:soja (4,80 mg/100 g de harina), pero solo un 63% del mismo es biodisponible, en tanto que para las otras muestras la biodisponibilidad del hierro oscila alrededor de un 80% del contenido total.

En panes productos de las harinas fortificadas con hierro, la biodisponibilidad de los mismos se reduce a valores entre un 55% y 58% respecto del total, salvo para pan elaborado con harina compuesta con soja, en el cual solo es biodisponible un 38 % del hierro total.

Panes elaborados con harinas en las que se adicionó ácido ascórbico además de hierro, aumentan la biodisponibilidad 1,15 a 1,40 veces más respecto de los panes carentes de ácido ascórbico. Siendo mayor la acción del ácido ascórbico en potenciar la biodisponibilidad del hierro en panes de trigo y menor en panes de harinas compuestas con soja.

Se observa que el efecto de panificación reduce entre un 22 y 25 % la biodisponibilidad de hierro respecto de las harinas.

Considerando como ingesta recomendada de hierro la de 14 mg/día, el consumo diario de alrededor de 100 g de pan elaborados con distintas harinas fortificadas cubrirían entre un 20 y 28 % del requerimiento diario.

Según los resultados obtenidos con la mezcla trigo-soja, el punto óptimo de fortificación proteica se encuentra en una proporción 70:30, pero la limitación en la fortificación está dada por la funcionalidad de los ingredientes. No se puede panificar con más de 15 % de soja en sustitución de harina, por dificultades de amasado, luego el problema de uso y propiedades funcionales se debe tener en cuenta.

Como la combinación trigo-soja proporciona cantidad y calidad de proteínas y calorías adecuadas, a fin de aportar soluciones económicas y prácticas al problema de la desnutrición, se evaluó la efectividad de mezclas vegetales en la recuperación de animales desnutridos. En las mezclas trigo-soja suplementadas o no con los aminoácidos limitantes de las mismas (lisina y metionina)

Se trabajó en la *EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE EFECTIVIDAD DE MEZCLAS VEGETALES EN LA RECUPERACIÓN DE ANIMALES CON DESNUTRICIÓN PROTEICO-ENERGETICA PRECOZ Y TARDIA*, utilizando la mezcla trigo:soja (85:15) con y sin el agregado de los aminoácidos limitantes de la misma (metionina y lisina), esta mezcla fue evaluada en:

- El mantenimiento de ratas normales, alimentadas previamente con caseínato de calcio (grupo control) (C)
- La recuperación de ratas con desnutrición proteico-energética precoz y tardía (grupos DP y DT), y
- La habilidad de estos animales (normales y desnutridos) para autoseleccionar los aminoácidos ofrecidos.

La dieta de prueba con y sin la suplementación, fue adecuada para mantener un normal aumento del contenido de nitrógeno corporal de los animales del grupo control.
Los principales cambios en el peso de ratas de los grupos experimentales durante el periodo de recuperación dependieron: del estado nutricional del animal y de la cantidad de dieta y de aminoácidos ingeridos. A medida que aumentó la edad del animal disminuyó la ingesta de alimentos en todos los grupos experimentales (esta tasa o relación fue expresada como gramos de alimento consumido/100 gramos de rata) siendo más alta en los animales desnutridos.
La ingesta de aminoácidos (autoselección) dependió: del estado nutricional y del tiempo de la desnutrición de los animales, una ingesta superior a los valores estándar requeridos (Rogers y Harper) fue observada en los tres grupos experimentales.
Se demostró que la cantidad de metionina (g de metionina consumida/100 g de mezcla trigo: soja) estuvieron directamente relacionadas a la ingesta de lisina, expresada en unidades similares una correlación significativa fue observada: r = 0,816 para el grupo C, y r = 0,789 para el grupo DT, y altamente significativa (r = 0,996) para el grupo DP.
El aumento de la tasa entre el nitrógeno corporal total y su valor inicial fue significativo en todos los casos, siendo el efecto más pronunciado para el grupo DP. (Jiménez P. L. y Armada M.. 1995).
También evaluamos efectos de los procesos tecnológicos y de la fortificación sobre el contenido de minerales y hierro drsponible (in vitro) en mezclas vegetales, determinando que la incorporación de soja en las mezclas disminuye considerablemente la biodisponibilidad del hierro, en tanto que la fortificación con mezclas de minerales (hierro, calcio y zinc) interfiere levemente disminuyendo la disponibilidad del hierro respecto de las mezclas vegetales fortificadas sólo con dicho mineral. (Armada M. y Adamo C.. 1987).

Se desarrolló un proyecto para la instalación de una planta de extrusión cle mezclas sobre la base de maíz, sorgo y soja. Se diseñó y optimizó el funcionamiento de un extrusor prototipo y se hizo el estudio de ingeniería de detalle para el Proyecto.

Aplicamos el extrudido maíz:soja (70:30), en la *FORMULACIÓN DE SOPA TIPO CREMA*, a fin de utilizar fuentes proteicas no convencionales, en un plato habitual de nuestra dieta, tomamos como patrón de referencia sopa comercial de marca reconocida en el mercado interno. Sobre la base de la composición de la sopa comercial se calcularon los porcentajes de los distintos componentes para lograr una fórmula de composición porcentual semejante. Las evaluaciones de valor nutricional, comportamiento funcional, aceptabilidad y perfiles de textura muestran la muy buena calidad del producto obtenido

También realizamos la formulación de un *POLVO PARA POSTRE*, a base de extrudido maíz-soja (70:30), con el objeto de desarrollar un alimento de valor nutricional mejorado con respecto a los productos de su tipo, de bajo costo, estable a temperatura ambiente y de mínimo requerimiento de envasado. Se empleó un producto comercial como patrón de referencia y sobre la base de su composición se calculó los porcentajes de los distintos componentes. Las evaluaciones químicas, nutricionales y sensoriales muestran la calidad superior del producto obtenido respecto del comercial de referencia.
Dado que en todas las formulaciones se usó soja con toda su grasa, en todos los productos se controló estabilidad al deterioro de lípidos.

Se desarrolló un *ALIMENTO DE HUMEDAD INTERMEDIA PARA ANCIANOS EN BASE A EXTRUSADO DE MAÍZ: SOJA, ADICIONADO CON CALCIO.* esta formulación está basada en una mezcla cereal: leguminosa, con adición de calcio y saborizantes. El producto desarrollado como alimento de humedad intermedia (AHI), proporciona proteínas bien complementadas, con un Cómputo Químico para lisina de 118, hidratos de carbono y grasas de origen vegetal. Por su contenido de humedad (24%), se consume como alimento húmedo (tipo papilla), en tanto que por su aw (0,80) no requiere condiciones especiales de envasado y almacenamiento, La densidad energética del AHI (3,22 cal/g) lo presenta como particularmente útil para los ancianos puesto que estos no toleran grandes volúmenes de ingestión, de esta manera pueden consumir mayor cantidad de calorías en poco volumen. Una manera de evaluar la adecuación de los componentes es la relación energía/nitrógeno, la que para un sujeto normal activo de 70 kg se debe aproximar a 300, coeficientes bajos (cerca de 100) indican que la proteínas se utilizarán como fuentes de energía. Así la relación obtenida para el AHI (relación energía/nitrógeno= 230) se considera dentro de lo normal. El valor de inhibidores de tripsina (6,32 UTI/mg de muestra) indica la inactivación de los mismos por el proceso de extrusión, mientras que el índice de peróxidos (5,04 meq/kg de muestra), sugiere una baja alteración de los lípidos por procesamiento. presenta comportamiento pseudoplástico. La adición de calcio (como Lactato), resultó en un mayor contenido de este elemento, encontrándose diferencias significativas en los contenidos de este nutrimento para los productos fortificados y sin fortificar (518 ±0,04 mg/100 g contra 292±1,06 mg/100 g respectivamente), luego, el consumo de 100 g del producto cubre el 51 % de la recomendación de calcio de una persona de más de 65 años de edad. El producto presenta una aceptabilidad mayor al 50% para los sabores probados, aunque el preferido es el de chocolate. Con respecto al porcentaje de la IDR (Ingestión Diaria Recomendada) para los componentes del AHI, 100 g del mismo cubren un buen porcentaje de los requerimientos, teniendo en cuenta que se trata de un alimento suplementario. (Del Castillo V. y Col. 2000)

A partir del extrudido maíz-soja realizamos el *DESARROLLO DE UN ALIMENTO SUPLEMENTARIO PARA GRUPOS VULNERABLES.* el objetivo de este trabajo fue el desarrollo de un alimento suplementario, sobre la base de cereales y leguminosas de producción regional. La fórmula desarrollada en base a extrudido maiz:soja (70:30) modificado enzimáticamente, aceite de maíz, azúcar, aislado proteico de soja y aditivos, tuvo características de alimento de humedad intermedia. Por su contenido de agua (35,00 %) es plástico y se consume como alimento húmedo, en tanto que por su actividad de agua (0,82) es estable sin requerimientos especiales de envasado y almacenamiento. El alimento consumido como tal aporta alta densidad calórica (3,21 kcal/g), en una buena relación calorías:nitrógeno (234). Se evaluó la calidad proteica mediante el método de razón proteica neta relativa (RPNR) siendo el valor obtenido para este alimento de un 83,50 %. Evaluadas sus características de calidad, nutricionales, estabilidad y aceptabilidad el mismo resulta adecuado para ser utilizado en programas de asistencia alimentaria y comedores escolares. (Armada M y Jiménez J. 19996)

Luego hicimos la *APLICACION DE UN ALIMENTO SUPLEMENTARIO EN GRUPOS VULNERABLES.* cuyo objetivo fue brindar una ración complementaria de calorías incorporando en la dieta de niños desnutridos un alimento de humedad intermedia (AHI) con una densidad energética de 3.21 kcal/g , evaluando su efecto a través de cambios en peso y/o talla de éstos.
Se trabajó con una población finita de 78 niños, distribuyéndose esta en 51 niños normales y 27 con algún grado de desnutrición . Entre los 51 niños del grupo normal se realizó un muestreo simple al azar para seleccionar 27 como grupo control. El estudio se planeó de modo tal de no interferir en la rutina habitual, y a este alimento se lo denominó FORTITO.
Se suministró en forma individual a cada niño en una cantidad de 30 g/día/niño, a modo de refacción durante 3 meses. La valoración de peso y talla fue quincenal. Se utilizó media, mediana, desviación estándar y coeficiente de variación, aplicándose a los resultados el "t" de student, la prueba de hipótesis por diferencia de medias y el coeficiente de correlación de Pearson, a fin de establecer relaciones estadísticas con el inferencial. La mediana de ambos grupos reveló que el 50 % de los niños estuvo por debajo de 1500 g y el 50 % restante por encima de este valor, en el grupo normal el 50 % por encima de 800 g (la mitad con respecto al desnutrido) y el otro 50 % debajo del mismo. El aumento de peso promedio del grupo con desnutrición fue superior al grupo normal siendo las diferencias estadísticamente significativas (p >0.05). Hubo ausencia de correlación entre las variables Peso y Talla . (Jiménez p y Col. 1997).

ausencia de correlación entre las variables Peso y Talla. (Jiménez p y Col. 1997).

A fin de transferir al medio la tecnología, se hizo el *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD: PLANTA ELABORADORA DE ALIMENTO SUPLEMENTARIO.* en el que se analizó la posibilidad de crear una unidad productora de un Alimento Suplementario(AS) sobre la base de mezclas extrudidas de cereales y leguminosas de producción regional, con características nutricionales, funcionales, sensoriales y de estabilidad adecuadas para ser utilizadas en Programas de Asistencia Alimentaria. El AS, está destinado a grupos vulnerables de la población, con una actividad de agua (aw) de 0.84, una densidad calórica de 3,20 kcal/g de producto y una utilización proteica de 83,50 %, con una evaluación sensorial aceptable. El bien estaría destinado a proveer una fuente adicional de energía a grupos con gran exigencia nutricional (niños, madres embarazadas y lactantes y ancianos); las que constituirían un 40 % del total de la población de la Provincia de Salta. La línea productora de este alimento costaría $ 1.591/ton de producto, requeriría operarios capacitados y estricto control de calidad. Los principales factores que afectarían la rentabilidad serían: los costos del aislado proteico y de los envases; los mayores costos operativos serían la mano de obra y los servicios. La planta requerirá una nave industrial de 300 m^2, aunque factible de adaptar en una industria alimenticia, con disponibilidad de servicios, la línea empleará: dos operarios calificados, un técnico en laboratorio, uno en mantenimiento y un supervisor, estará diseñada para producir 250 kg/h de AS. La evaluación económica se realizó comparando el Método de la Tasa Interna de Rendimiento (TIR) y el TMAR (que incluye la tasa de inflación más el premio al riesgo), tomando los tres primeros años de producción y considerando una tasa de inflación del 50 %, y un premio al riesgo del 10 %. Los resultados fueron que el TIR (110 %) fue mayor al TMAR(60 %), lo que hace viable la inversión y aceptable al proyecto. (Aparicio R. y Col.. 2002)

También teniendo en cuenta la producción anual de lactosuero en el mundo, que se estima en unos 72 millones de toneladas, (aproximadamente 200.000 toneladas de proteínas, además de minerales y vitaminas), que se utilizan poco en alimentación humana y animal, el mismo constituye un ingrediente no tradicional, que en nuestra Región generalmente se desecha.

Por ello trabajamos en el *DESARROLLO DE GALLETITAS CON LACTOSUERO.* el objetivo de este trabajo fue desarrollar galletitas con ingredientes no convencionales, como soja y lactosuero, que, sumados a otros ingredientes permiten obtener una mejor calidad nutricional en el alimento.
Las galletitas se formularon a partir del cálculo de cómputo químico, siendo el aminoácido limitante la lisina. Se determinaron macrocomponentes y minerales, la calidad proteica fue medida por el método de Retención Proteica Neta Relativa. Se evaluó finalmente aceptabilidad .
Los resultados indicaron que estas galletitas cubrirían el 13 % del Valor Calórico Total, el 25 % del requerimiento de proteínas para el grupo de pre-escolares; y serían recomendables para suplementación mineral dentro de grupos de alta exigencia nutricional (deportistas y ancianos). (Jiménez P. L. y Armada M.. 2002)

Estamos condicionados no solo cultural sino también económica y geográficamente; no podemos desconocer que sumado al riesgo nutricional está la posibilidad cierta de padecer desastres naturales, lo que agudizaría aún mas la situación de riesgo de determinados grupos.

Las características y necesidades poblacionales fueron determinadas por estudios de campo, con aplicación de encuestas y cuestionarios. Los nuevos alimentos fueron evaluados química, sensorial y biológicamente, para asegurar su inocuidad y su adecuación.

Estas acciones tienden a minimizar la malnutrición, la mortalidad y cualquier noxa que incida sobre una población afectada por una catástrofe, con un criterio de priorización y justicia; asegurando a ésta la accesibilidad a una necesidad básica. Posibilitaría definir prioridades, considerar alternativas reales de acción, asignar recursos y conducir el proceso de alimentación en situaciones de emergencia, hasta la resolución o control del problema.

Realizamos el *ANÁLISIS DE LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HUMANOS Y FACTIBILIDAD PARA LA COBERTURA DE ALIMENTOS EN EMERGENCIAS POR ÁREAS SANITARIAS EN LA PROVINCIA DE SALTA,* a fin de planificar las estrategias de distribución de alimentos para situaciones de emergencia a corto plazo, de acuerdo a los recursos disponibles, fue objetivo de este trabajo analizar la disponibilidad actual del Recursos Humanos con que contaba la Zona Centro de la provincia de Salta, en el área de Nutrición, en referencia a población total y disponibilidad horaria. Los datos indican un déficit severo del Recurso Humano del área de nutrición en todas las Regiones, y una carencia de éste en el 23 % de los Centros de Salud. En una situación de emergencia la demanda aumentaría a un 100 %, y dado que la dación de un alimento especial para esta situación (entrega y control de ingesta), sería supervisado por un profesional específico, como lo es la nutricionista, las cifras de disponibilidad de éste recurso serían alarmantes, con valores de atención de 22 pacientes por minuto para cubrir el total de población del sector. Con referencia a disponibilidad de recursos reales en el área de nutrición versus población total y disponibilidad horaria, la factibilidad de cumplir con la dación de un alimento especial en una emergencia sería de 17,5 %. La demanda promedio de la población, fluctúa entre 1,6 a un 70 %; con una mediana del 20,5 %. Una limitación importante es el tiempo, en una emergencia una jornada de 10 horas no modificaría la disponibilidad de éste recurso. Una situación intermedia para cubrir la demanda, sería la capacitación de personal auxiliar. El costo económico de mayor personal en el área de nutrición es necesario de lograr y mantener como meta para un futuro cercano; no solo para emergencias, sino para mejorar las condiciones actuales de trabajo. (Jiménez P. Y Col. 2000)

Determinamos, *el IMAGINARIO SOCIAL ANTE SITUACIONES DE DESASTRE.* a través de una encuesta, sobre dos grupos de población con diferente nivel socioeconómico alto (G1) y bajo (G2), a fin de determinar el perfil de reacción en caso de un desastre.En el G1 el 38 % ayudaría a los demás, y en ambos grupos mas del 50 % protegería y alimentaría en primer lugar a sus hijos.En el G1, el 32 % intentaría conseguir alimentos en el Supermercado (por stock), un 28 % en el lugar mas cercano; en el G2 lo intentaría el 41 % y el 21 %, para iguales lugares.Los alimentos imprescindibles para el G1 fueron:no perecederos (84 %) y agua potable (40 %); y en el G2 la leche y solo el 9 % eligió no perecederos.Como alimento de elección en el G1: Líquido o sólido, dulce y a temperatura ambiente; mientras el G2 prefirió líquido y dulce. En ambos grupos las experiencias previas de desastre no superaron el 15 %. Evidentemente la reacción ante un desastre está fuertemente condicionada por aspectos culturales, económicos y de estructura familiar. (Jiménez P. y Col. 2000)

Trabajamos en el *DESARROLLO DE ALIMENTOS PARA SITUACIONES DE EMERGENCIAS.* formulando y obteniendo alimentos de fácil disponibilidad, aceptables y con valor nutritivo acorde a los requerimientos para situaciones de emergencia a corto plazo. Se obtuvieron distintos alimentos tales como: tabletas de humedad intermedia, a base de maíz y soja, aceite, azúcar y sal; galletas a base de harinas de maíz y soja, con baja actividad de agua y pasteles con alta actividad de agua pero de consumo habitual, de manera que resultaran familiares a los afectados por las catástrofes. Se calculó el valor nutritivo de todas las formulaciones con un programa computacional desarrollado para tal fin. Los alimentos evaluados en sus características nutricionales y funcionales presentaron una aceptabilidad, a través de una escala hedónica, entre 75 y 97 %. (Del Castillo y Col. 2000).

Luego, trabajamos entre otros en el *DESARROLLO DE UN ALIMENTO CONCENTRADO EN PROTEÍNAS Y ENERGÍA PARA SITUACIONES DE EMERGENCIA.* compuesto por ingredientes disponibles en la zona, concentrado en proteínas y calorías, de poco volumen, con buena calidad bacteriológica, y estable al almacenamiento. Se desarrollaron dos alimentos sólidos, ricos en proteínas y calorías, los ingredientes principales fueron carne de vaca y soja entera. Se determinó composición química de macrocomponentes, y

ennumeración de bacterias aeróbicas mesófilas y psicrófilas (recuento aeróbico en placas), y ennumeración de mohos (recuento en placas de agar), utilizando el medio de cultivo DBRBC, en 3 tiempos (t) (t_0: producto recién preparado, t_1: refrigerado 5 días, t_2: luego de 24 horas a temperatura ambiente, luego fueron evaluados sensorialmente. El contenido calórico fue 248 Kcal y de 283 Kcal/ por cada 100 grs para los productos 1 y 2 respectivamente. Se determinó la preferencia con un panel piloto de laboratorio de 30 jueces, utilizando el método de comparación por pares. La fórmula preferida fue la 1 (carne 60 % y soja 40 %) con un 63 %, siendo la misma significativa a un nivel de probabilidad del 5 %. A ésta muestra se le determinó aceptabilidad con una escala hedónica verbal de 9 puntos en 100 consumidores. La aceptabilidad fue alta (79 %). El recuento de bacterias aeróbicas mesófilas y psicrófilas, y mohos para los tres tiempos analizados fue: t0: 3x103 UFC/g de alimento y menos de 1x101 UFC/g de alim. para bacterias psicrófilas, el recuento de hongos informó menos de 30 colonias para diluciones 1:1000. t1 y t2: En ambos alimentos no se observaron bacterias psicrófilas en ninguna de las diluciones, menos de 1x101 UFC/g de alimento, no existió crecimiento de hongos en ninguna de las diluciones. Los resultados indican: una materia prima con baja carga microbiana, buenas prácticas de manipulación y que resiste en refrigeración durante 5 días y 1 día a temperatura ambiente. Posee escaso volúmen, facilitando esto su traslado y distribución. La mezcla seleccionada no tiene aminoácidos limitantes, posee proteínas de alto valor biológico, ideal para grupos con exigencias nutricionales especiales. La densidad energética es de 2,5 kcal/g de alimento. Este producto carne-leguminosa, incluido en una cantidad de 200 gramos/día, cubriría:

En el grupo de 1 a 10 años 3 a 4 veces el requerimiento proteico, varones entre 11 y 51 años y más, el 92 al 100 % del requerimiento, mujeres de igual edad mas del 100 % del requerimiento proteico. En embarazadas el 100 % del requerimiento proteico para los 3 trimestres, lactantes entre 92 % y 96 %. Del 38 al 25 % del requerimiento calórico del grupo de 1 a 10 años, del 17 al 22 %, varones entre 11 a 51 años, mujeres de la misma edad entre un 23 a un 26 %. En embarazadas, en todos los trimestres entre 20 al 23 % de su requerimiento. (Jiménez P. y Col. 2000)

Realizamos la *APLICACIÓN DEL SISTEMA HACCP EN SITUACIONES DE DESASTRES NATURALES*, ya que éste es una herramienta que se puede utilizar para garantizar la inocuidad de los alimentos durante las operaciones de suministro, manejo y preparación de alimentos en casos de desastres naturales. Este sistema identifica los peligros de contaminación, determinando los puntos críticos de control (PCC) en todas las etapas de suministro de los alimentos.

Las principales medidas a tomar para prevenir las ETA (enfermedades transmitidas por los alimentos) se encuentran en el control de los siguientos puntos críticos: 1. Calidad de las materias primas, 2. Control del tiempo y la temperatura, 3. Contaminación cruzada y 4. Hábitos higiénicos de manipuladores, higiene de equipos y utensilios.

Se establecieron actividades que sería necesario incluir en los planes de contingencia y atención, tales como de: Organización institucional del control de alimentos, Planificación de las solicitudes de ayuda, Establecimiento de los puertos para el ingreso de alimentos, Establecimiento de las condiciones de manejo en el área del desastre y Promoción de la participación social para la protección de los alimentos. (Armada M. y Col. 1999).

CONCLUSIONES

El enfoque multidisciplinario del abordaje del problema concreto de nuestra Región la *desnutrición calórica-proteica*, se realizó tomando en cuenta todos los aspectos que hacen a su multicausalidad.

La aplicación de nuestra investigación básica ha originado desarrollo de alimentos con características especiales, y con capacidad de transferencia en nuestro medio.

Los resultados de nuestras investigaciones, nos han servido para facilitar emprendimientos, transferencias y servicios a nuestro medio, como agentes de cambio o de solución a los problemas de nuestra comunidad.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco la invitación de la Universidad Técnica de Ambato (UTA), para participar del CIBIA VI y a la Universidad Nacional de Salta – Argentina, por su constante apoyo a todas mis actividades de docencia e investigación.

REFERENCIAS

- Aparicio A.R., Armada M. y Jiménez, P.L.. Estudio de Factibilidad: Planta Elaboradora de Alimento Suplementario. Congreso Regional de Ciencia y Tecnologia. NOA 2002. Catamarca, 29 y 30 de agosto de 2002.
- Armada M.. Cuando las Ciencias Modifican Culturas. Actas del I Congreso La Cultura de la Cultura en el MERCOSUR. Vol II. 868 – 875, 2004. ISBN: 987-99601-7-3.
- Armada M. y Adamo C.. Efecto de Procesos Tecnológicos y Fortificación sobre Contenido de Minerales e Hierro disponible "in vitro" en Mezclas Vegetales.. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 37 (2): 342-349, 1987.
- Armada M. y Jiménez P. L.. Desarrollo de un Alimento Suplementario Para Grupos Vulnerables. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 46 (4): 304-308, 1996.
- Armada M.. Desarrollo de Productos de Soja. La Alimentación Latinoamericana, 201: 41 -43, Junio 1994.
- Armada M. Gómez R. del V. y Di Carlo B.. La Aplicación del Sistema HACCP en Situaciones de Desastres Naturales. IV Taller Internacional sobre Calidad Sanitaria, Evaluación y Conservación de Alimentos. Varadero, Cuba. Noviembre de 1999.
- Armada M.. Modelo de Desarrollo de la Agroindustria Local. Salta Productiva. N°1 Marzo / Abril (6-7). 2003.
- De Gortari Eli. Indagación Crítica de la Ciencia y de la Tecnología. Ed. GRIJALBO. 1984.
- Del Castillo V., Armada M. y Gottifredi J. C.. Alimentos de Humedad Intermedia Para Ancianos en Base a Extrusado de Maiz:Soja, Adicionado con Calcio. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 50 (3): 296-300, 2000.
- Del Castillo, V., Armada, M. y Margalef, M. L.. Formulación y Desarrollo de Alimentos Para Situaciones de Emergencia. VIII Congreso Argentino de Graduados en Nutrición Mar del Plata, Buenos Aires, Abril del 2000
- Del Castillo V. y Armada M.. Desarrollo de Alimentos para Situaciones de Emergencias. La Alimentación Latinoamericana, (243): 40-43. ISSN 0325-3384. 2002.
- Dixis Figueroa Pedraza. Saúde Grupos vulnerables y su caracterización como criterio de discriminación de la seguridad alimentaria y nutricional en Brasil. Rev. Bras Matern. Infant., Recife, 5 (3): 367-375, jul. / set., 2005.
- FAO El Estado de la Inseguridad Alimentaria en el Mundo. ISBN 92-5-305580-4. 2006
- FAO. Agricultura Mundial: hacia los años 2015/2030. ISBN 92-5-304761-5. 2002.
- Jiménez P. L. y Armada M.. Evaluación de los niveles de efectividad de Mezclas Vegetales en la Recuperación de Animales con Desnutrición Proteico- Energética Precoz y Tardia. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 45 (3): 227-236. 1995.
- Jiménez,P., Armada M. y Luna, P.L.. Aplicación de un Alimento Suplementario en Grupos Vulnerables. XI Congreso de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición y XI Congreso Centroamericano de Nutricionistas y Dietistas. Guatemala. Noviembre 1997.
- Jiménez, P., Romero, G. y Armada M.. Análisis de la Disponibilidad de Recursos Humanos y Factibilidad Para la Cobertura en Emergencias por Areas Sanitarias en la Provincia de Salta. XII° Congreso Latinoamericano de Nutrición Buenos Aires. Noviembre del 2000.
- Jiménez, P., Di Carlo B., Armada M. y Gómez R. Imaginario Social Ante Situaciones de Desastre. VIII Congreso Argentino de Graduados en Nutrición.. Mar del Plata, Buenos Aires, Abril del 2000.
- Jiménez, P. Gómez, S., Margalef, M. l. y Armada, M.. Desarrollo de un Alimento Concentrado en Proteínas y Energía para Situaciones de Emergencia. XII° Congreso Latinoamericano de Nutrición Buenos Aires, Noviembre del 2000.
- Jiménez P. L. y Armada M..Desarrollo de Galletitas con Lactosuero. Información Tecnológica , 13 (4): 3-6. ISSN: 0716-8756. 2002.
- Lescano, G. R., Del Castillo, V. y Armada, M.. ALIM V1.0 en la Formulación de Alimentos. Actas del X Congreso CYTAL. Tomo III (1010 - 1025). Mar del Plata. ISBN: 987-22165-1-7. 2005.

CONSTRUCCIÓN DE MICRO Y NANO-ESTRUCTURAS: UNA POSIBILIDAD PARA CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

CONSTRUCTION OF MICRO AND NANO-STRUCTURES: POSIBILITY FOR FOOD PRESERVATION

Gustavo F.Gutiérrez-López[1], Enrique Flores-Andrade[1,2], Luz A Pascual-Pineda[1,2], Ebner Azuara-Nieto[2], J. Jorge Chanona-Pérez[1] y Liliana Alamilla-Beltrán[1]

[1]Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional. Prolongación de Carpio y Plan de Ayala, Colonia Plutarco Elías Calles, Delegación Miguel Hidalgo. Código Postal 11340, México Distrito Federal.

[2] Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencias Básicas. Xalapa, Ver. México

RESUMEN

En este trabajo se demuestra que la modificación de la estructura a escala nanométrica de polvos de sacarosa-calcio, provoca cambios significativos en sus propiedades de adsorción de humedad, volumen de microporos, dimensión fractal y solubilidad, comparados con un polvo de igual composición química pero diferente nanoestructura. La nanoestructuración incrementó el volumen de microporos desde 3.9 g agua/100 g sólidos secos del polvo secado por aspersión, hasta 8.7 g agua/100 g sólidos secos en el polvo obtenido con un proceso criogénico. Los valores del volumen de microporos son cercanos a los contenidos de humedad observados en la transición de una monocapa a multicapa (máximo coeficiente de pseudo actividad). El polvo secado por aspersión presentó solubilidad incipiente a una humedad relativa de 44.3%, mientras en el polvo nanoestructurado este fenómeno ocurrió a una humedad relativa de 76.5%.

Palabras clave: ingeniería de alimentos, proceso criogénico, azúcar nanoporoso, volumen de microporos y dimensión fractal.

INTRODUCCIÓN

La nanociencia se encarga del estudio de los fenómenos y manipulación del sistema físico a escala nanométrica para obtener información significativa acerca sus propiedades, las cuales pueden diferir completamente a nivel macroscópico (Knowles, 2006; Uskokovic, 2007). En cambio la nanotecnología se encarga de la caracterización, fabricación y manipulación de estructuras biológicas y no biológicas más pequeñas que 100 nm (Weiss *et al*., 2006). El desarrollo de la nanotecnología en diversas áreas de investigación, hace probable que sus principios puedan ser aplicados en el desarrollo de nuevos materiales alimenticios, con novedosas propiedades funcionales y nanoestructurados en el orden de 2 a 1000 nm (Sanguansri y Augustin, 2006; Weiss *et al*., 2006).

En un futuro no muy lejano, la combinación de la ciencia y la tecnología permitirá la creación de materiales alimenticios con mejores propiedades físicas, químicas, microbiológicas, nutrimentales, así como mejores propiedades de estabilidad. Hasta el momento, no se ha investigado cómo la modificación de las características estructurales a escala nanométrica, por medio de la nanoestructuración, puede ayudar a modificar las condiciones de máxima estabilidad de un producto deshidratado.

En términos de estabilidad, tradicionalmente el contenido de agua ha sido utilizado como un parámetro de control para predecir la estabilidad de los alimentos. Sin embargo, la estabilidad química y microbiológica no depende únicamente del contenido de agua, sino de cómo el agua se une a los componentes del alimento. Se sabe que bajo las mismas condiciones de humedad relativa (RH en %), diferentes alimentos pueden tener diferentes contenidos de humedad en equilibrio, mientras que al mismo contenido de humedad, estos alimentos pueden diferir completamente en su estabilidad microbiológica (Kalichevsky-Dong, 2000).

Parámetros como la actividad de agua (a_w), monocapa (Mo) y la temperatura de transición vítrea (T_g) han sido utilizados conjuntamente para predecir las condiciones más apropiadas para conservar los alimentos (Roos, 1993). No obstante, muchas veces los valores predichos de estos parámetros no coinciden con las condiciones reales de estabilidad, por lo que algunos investigadores han desarrollado metodologías más precisas, basadas en principios termodinámicos, para recomendar condiciones de conservación adecuadas (Beristain y Azuara, 1990).

El uso de una tecnología apropiada que permita la modificación de la estructura en el orden de 1 a 100 nm, junto con una metodología confiable que relacione las características nanoestructurales del material alimenticio con sus mejores condiciones de conservación, sin duda, permitirá la construcción de sistemas nanoestructurados con aplicación en estudios sobre estabilidad de alimentos.

MARCO DE REFERENCIA

Materiales nanoestructurados

En las últimas décadas se han realizado avances significativos en la capacidad de manipular la materia a escala atómica, molecular y macromolecular, a través del uso de diversas técnicas experimentales. Esto ha ampliado en gran medida el abanico de aplicaciones para los materiales nanoestructurados. Así, diversos estudios demuestran la efectividad del uso de polvos constituidos por nanopartículas metálicas como catalizadores, y las propiedades mecánicas de las nanoestructuras, distintas a las mostradas por los mismos materiales a escala macroscópica, pueden ser aprovechadas para la síntesis de materiales de interés en diversas áreas de la ingeniería. Así un ejemplo particularmente interesante es el de las nanopartículas magnéticas, de características muy prometedoras para su uso en radioelectrónica (Mejía *et al*., 2006). Otro ejemplo son las zeolitas sintéticas cuya estructura nanoporosa definida pueden ser utilizadas en procesos de purificación.

Los materiales nanoestructurados pueden clasificarse como sistemas nanocristalinos y nanoporosos. Dentro de los sistemas nanocristalinos se encuentran las paredes, alambres y polvos cuánticos, que exhiben un confinamiento cuántico en uno, dos o tres dimensiones respectivamente. El confinamiento cuántico se refiere a los efectos mecánico-cuánticos desplegados por las corrientes eléctricas cuando los electrones son confinados en espacios de 1 a 100 nm (Ying, 1999). Estos materiales tienen gran importancia en dispositivos electrónicos, ópticos, magnéticos y termoeléctricos ya que poseen propiedades híbridas entre el nivel molecular y el nivel macroscópico.

Se considera nanopartícula a una estructura cuyo tamaño característico no supera el orden de decenas de nm. A estas escalas, el número de átomos en o próximos a la superficie de la partícula es comparable al número total de átomos que forman la estructura, por lo que no es inesperado que las propiedades electrónicas y termodinámicas de una nanopartícula puedan ser muy distintas a las mostradas macroscópicamente en un mismo elemento o aleación (Mejía *et al.*, 2006). Los sistemas nanoporosos, producidos por ensambles de nanocavidades, son de interés en la síntesis química, procesos de separación y en la creación de sensores. La morfología bien definida de la estructura nanoporosa puede ser explotada como malla molecular selectiva para alojar moléculas reactivas o especies biológicas. El control en la forma y tamaño de las nanocavidades es un poderoso medio de combinar la catálisis con la sensibilidad química (Ying, 1999).

Actualmente algunos materiales nanoestructurados se han utilizado como ingredientes en productos tales como lubricantes para bolas de boliche, ropas resistentes a las manchas, bloqueadores solares, fibras, sensores de gases, etc. Dado que algunos de estos ingredientes tienen la capacidad de introducirse en el tejido e interaccionar con el núcleo celular, se están realizando investigaciones para evaluar el posible riesgo a la salud y al ambiente (Salata *et al.*, 2004; Knowles, 2006).

Posibilidades de la nanoestructuración en los alimentos

Los alimentos son sistemas biológicos complejos que sufren modificaciones en sus propiedades bioquímicas y fisicoquímicas debido al tipo de procesamiento al que son sometidos. Sin embargo, estos sistemas son regidos por algunos de los mismos principios y mecanismos que estudian los físicos, biólogos y bioquímicos. Esto abre la posibilidad de que los descubrimientos hechos en la nanotecnología pueden eventualmente aplicarse a la industria de alimentos.

Un material alimenticio con novedosas propiedades funcionales, debido a la modificación en su estructura a escala nanométrica, comparado con su contraparte normal o macroscópica, puede ser considerado como un material nanoestructurado; ya que el término "nano", en el entero campo de la nanociencia, es un derivado ecléctico de disciplinas establecidas como la química, ciencia de interfases, biología, etc. El término "nano" permite a los investigadores destacar el hecho que procesos (nanofabricación) o estructuras (nanomateriales) son diseñados y optimizados para utilizar las propiedades y comportamientos producidos en escalas de 1 a 100 nm (Weiss *et al.*, 2006).

Por lo tanto, el estudio de los fenómenos y la manipulación de un material alimenticio (sistema físico) en una escala de 1 a 100 nm, puede ser considerado como nanociencia en los alimentos. Además, los productos o ingredientes alimenticios cuyos rasgos nanoestructurales provocan diferencias sustanciales en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, comparadas con aquellos materiales de igual composición química pero diferente nanoestructura, pueden ser considerados como productos o ingredientes nanoestructurados.

Una posibilidad de nanoestructuración en alimentos, sería la redistribución heterogénea de los átomos en espacios tridimensionales, es decir, que tengan regiones con pocos átomos (o ninguno), denominados poros o cavidades, esparcidos dentro de las regiones de más átomos. Raman y Palmese (2006) denominan a los materiales con poros en el rango de 1 a 100 nm como materiales nanoporosos.

Nanoestructuración de sistemas porosos

Sanguansri y Augustin (2006) mencionan algunos procesos que pueden utilizarse para obtener materiales alimenticios nanoestructurados o nanomateriales. Estos investigadores mencionan dos tipos de nanotecnologías denominadas "top-down" y "bottom-up". La nanotecnología "top-down" es una estrategia literalmente de arriba hacia abajo y consiste especialmente en la reducción de tamaño. En cambio la nanotecnología "bottom-up" es una estrategia de abajo hacia arriba que consiste de un autoensamble de moléculas, bajo un control termodinámico, para construir estructuras altamente jerarquizadas (Moraru *et al.*, 2003).

En materiales no alimenticios, uno de los métodos para obtener sistemas nanoporosos es por medio de la nanotecnología "bottom-up" basada en el autoensamble de cavidades nanométricas (Beck *et al.*, 1992; Ying, 1999). Otro método es denominado "Breath Figures" que permite crear estructuras con un arreglo poroso hexagonal (Honeycomb), flexibles, una distribución de poro monodispersa y con tamaños de poro en un rango de 50 nm a 20 nm para diversas aplicaciones (Bunz, 2006). En este caso, se podría hablar de una nanoestructuración definida y ordenada.

En el caso de materiales alimenticios, la obtención de matrices nanoporosas ordenadas es extremadamente difícil ya que estos materiales son sistemas complejos heterogéneos y hasta la fecha no se ha encontrado información al respecto. Sin embargo, una nanoestructuración definida pero no ordenada es posible. Hudak (1983) patentó un método para obtener partículas con nanocavidades con diámetros de 2 a 10 nm, por medio de asperjar una solución acuosa de un material vegetal en un disolvente anhidro. Zeller y Saleeb (1996) utilizarón líquidos criogénicos para obtener azúcares nanoporosos en un rango de 1 a 7.5 nm. Glenn y Stern (1999) patentaron un método para obtener espumas microcelulares a base de almidón con elevadas áreas superficiales y tamaños de poros de 1 a 195 nm. Estas nanocavidades (nanoestructuras) no poseen una geometría euclidiana pero es muy probable que posean un arreglo fractal. Todas estas investigaciones fueron realizadas con el propósito de crear mejores agentes de encapsulación de aromas y sabores, pero no como modelos para estudiar el efecto de la nanoestructura sobre las propiedades de estabilidad de un alimento. Los métodos ya considerados, pueden aplicarse a la nanoestructuración de materiales alimenticios como complejos azúcar – sal.

El uso de líquidos criogénicos para crear nanocavidades en materiales alimenticios podría ser considerado como una nanotecnología "top-down" ya que se parte de una distribución heterogénea de átomos (nivel macroscópico del material) a una redistribución de los átomos en espacios tridimensionales, es decir, la creación de regiones con pocos átomos (cavidades) en la nanoestructura del material (nivel microscópico).

El método de Zeller y Saleeb (1996) consiste en la aspersión de una solución acuosa (que puede ser azúcar-sal) en nitrógeno líquido o etanol criogénico (-60°C) seguido de una liofilización. La producción de microporos (nanocavidades < 2nm) se lleva acabo por la formación de nanocristales de agua, resultado de un congelamiento instantáneo. Posteriormente la liofilización permite la eliminación del agua sin que la estructura sólida del material colapse.

Interacciones agua-poro

Los nanotubos de carbono han sido utilizados como modelos ideales para estudiar el comportamiento de fluidos en canales de materiales biológicos (células, membranas, superficies en proteínas, microcapilares y acuaporinas) y matrices sólidas micro y mesoporosas (Marañon y Marañon, 2003; Huang, 2005). El comportamiento del agua confinada en espacios nanométricos difiere del agua a nivel macroscópico. Diversos estudios en nanotubos de carbono de multicapa cuyas dimensiones se encuentran alrededor de los 5 nm, han mostrado que el comportamiento del agua no es el mismo que en nanotubos de diámetros más grandes (Sealy, 2004). También, en nanotubos de capa única de menos de 1.5 nm de diámetro, ocurre un llenado espontáneo y continuo de moléculas de agua dispuestas en orden lineal, con posibilidades de ser explotados como canales de agua y protones. Aunque la modificación en las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de las paredes del nanotubo no afecta la estructura de las moléculas de agua, sí modifican el transporte a través de ellos. Otra característica del agua en espacios nanométricos, es que tiende a un mayor orden de acomodamiento cerca de las paredes, preferentemente orientando su momento dipolar perpendicular a la pared del nanotubo (Hummer *et al.*, 2001; Marañon y Marañon, 2003). El comportamiento del agua confinada en espacios nanométricos difiere del agua a nivel macroscópico. Por lo que

contrario a lo que podría creerse, son los microporos los primeros en interaccionar con las moléculas de agua del ambiente, favoreciendo un mayor orden o mínima entropía que puede ayudar a conferir un blindaje a los alimentos, haciendo que el agua se encuentre menos disponible para participar en reacciones de deterioro.

Técnicas como la termoporometría y RMN del estado sólido, reconocen dos tipos de moléculas de agua en la matriz porosa de un material. Las moléculas de agua que interaccionan directamente con las paredes del poro y cuyas propiedades difieren de aquellas en el centro del poro. La velocidad de relajación en el spin de los protones cercanos a la superficie es extremadamente rápida debido a la restricción provocada por la pared del poro. Como resultado de esto, las velocidades de relajación tienen dos contribuciones, una para las moléculas de agua cercanas a la superficie del poro y otras para las moléculas en el centro del poro (Chui *et al.*, 1995). Así también, por medio de la termoporometría, se ha determinado que en la superficie de un poro puede existir una delgada capa de agua no congelable (Yamamoto *et al.*, 2005). Es evidente el efecto de las barreras físicas sobre el comportamiento del agua, sobre todo a escala nanométrica. En este caso se puede considerar un mecanismo entrópico en la interacción de las moléculas de agua con los nanotubos de carbonos.

Parámetros de estabilidad

Actividad de agua (a_w)

El concepto de a_w del alimento fue definido como la relación de la presión de vapor del agua en el alimento (P) con respecto a la presión de vapor del agua pura (P_o) a la misma temperatura (Scott, 1957):

$$a_w = \frac{P}{P_o} = \% \frac{ERH}{100} \qquad (1)$$

donde ERH = humedad relativa del alimento en equilibrio con la atmósfera.

La a_w es una propiedad del agua en el material y es una propiedad en equilibrio que depende de la temperatura, composición y microestructura del alimento. En los últimos años el concepto de a_w se ha investigado en relación a la cinética de reacciones químicas, tipo de humectante utilizado, y parámetros como pH, temperatura, conservadores, etc. (Jayaprakasha *et al.*, 1997). La estabilidad química y microbiológica de un alimento se ha representado cualitativamente por medio de un mapa de estabilidad (Figura 1) (Labuza *et al.*, 1972).

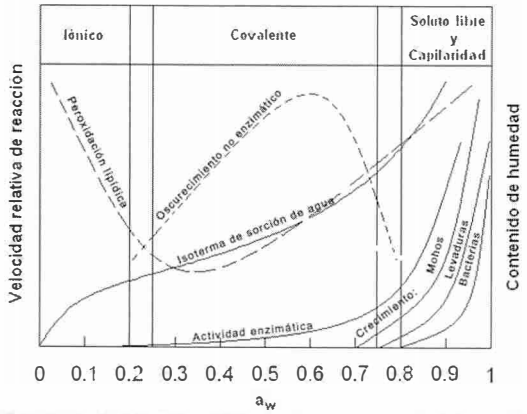


Figura 1. Diagrama actividad de agua – estabilidad del alimento (adaptado de Labuza et al., 1972).

Las ecuaciones más utilizadas en la predicción de las mejores de conservación de un alimento deshidratado, son la de BET (Brunauer, Emmett y Teller) y la de GAB (Guggenheim, Anderson y De Boer). Estas ecuaciones permiten calcular el valor de monocapa considerado como el punto de máxima estabilidad. Aunque ha sido útil el término de a_w, se debe considerar que sólo aplica a sistemas con un verdadero equilibrio termodinámico, lo cual es raro en alimentos con bajos contenidos de humedad y en aquellos de humedad intermedia. En este tipo de alimentos, el equilibrio entre las regiones de a_w puede ser tan lento que no se alcanza durante la vida útil del producto. Se dice entonces que se encuentran en un estado de metaestabilidad termodinámica (Kalichevsky-Dong, 2000).

Temperatura de transición vítrea (T_g)

La temperatura de transición vítrea (T_g) puede definirse como la temperatura donde los polímeros amorfos sufren una transición entre un estado vítreo y un estado gomoso (rubbery). Las estructuras amorfas y parcialmente cristalinas son formadas durante algunas operaciones de procesamiento de alimentos, tales como extrusión, horneado, concentración y secado (Roos *et al.*, 1996).

Las propiedades de los polímeros amorfos pueden relacionarse con su temperatura de transición vítrea y, por lo tanto, este parámetro es muy importante en la estabilidad física de los alimentos. La T_g de un material depende del contenido de humedad, grado de cristalinidad de la muestra y de la velocidad de cambio de la temperatura (Kayacier y Singh, 2002).

Se ha propuesto que la transición vítrea afecta aquellas reacciones químicas y enzimáticas que son controladas por difusión, ya que al disminuir la temperatura hasta la vecindad de la T_g, existen cambios en la movilidad molecular (Slade y Levine, 1991). Estas reacciones en los alimentos son relacionados con los cambios en el contenido de humedad, a_w, temperatura, pH, concentración de reactivos y estructura (Bell, 1996). En el estado vítreo ($T < T_g$), la movilidad de las pequeñas moléculas reactivas se reduce debido al arreglo Inter e intramolecular de la matriz del alimento, elevando la viscosidad del medio y disminuyendo la velocidad de deterioro de los procesos limitados por difusión. En cambio, en temperaturas por arriba de la transición vítrea ($T > T_g$), el material se encuentra en un estado gomoso debido a la disminución en la viscosidad y al aumento en la movilidad molecular, lo que aumenta la probabilidad de reacciones de deterioro (Roos, 1993; Kalichevsky-Dong, 2000; Ludescher *et al.*, 2001).

Con respecto a la estabilidad microbiana, Slade y Levine (1991) propusieron reemplazar la a_w por el uso de la relación T_g - contenido de agua. Así también, Gould y Chiristian (1988) señalaron que estados muy viscosos del alimento (estado vítreo), pueden interferir con el desarrollo microbiano debido a una restricción en la difusión de los nutrientes. Sin embargo, Chirife y Buera (1994) demostraron mediante una recopilación de datos que el desarrollo microbiano puede ocurrir en el alimento tanto en el estado vítreo ($T < T_g$) como en el estado gomoso ($T > T_g$), y señalan que la estabilidad microbiana depende primordialmente de la a_w.

Método termodinámico

Beristain y Azuara (1990) desarrollaron una metodología que permite recomendar las condiciones más apropiadas de almacenamiento para productos secos, si se conoce el nivel de humedad donde existe una zona de mínima entropía integral de las moléculas de agua. Este punto es considerado como el máximo orden de las moléculas de agua adsorbidas en la microestructura del alimento y, algunas veces, no corresponde con el valor de monocapa ni con la T_g predichos para conservar los alimentos (Beristain *et al.*, 2002). Estos investigadores encontraron que en un producto de yogur sometido a diferentes procesos de deshidratación, el valor del contenido de humedad en la mínima entropía integral coincide con la humedad correspondiente al volumen de microporo calculado con el modelo de Dubinin-Raduchkevich (Tabla 1) y sugieren que un alimento cuya matriz nanoporosa pueda ser controlada, aumentando el número de microporos (diámetro menor de 2 nm), podría hacer posible conservar los productos con altos contenidos de humedad sin que el agua tome parte en las reacciones de deterioro (Azuara y Beristain, 2006).

Tabla 1. Volumen de microporo calculado con el modelo de Dubinin-Radushkevich y contenido de humedad en la mínima entropía integral a 35°C (adaptado de Azuara y Beristain, 2006).

Producto	Volumen de microporo	Humedad en la mínima entropía
Yogur	(g agua / 100 g sólido seco)	(g agua / 100 g sólido seco)
Normal	9.3	9.0
Concentrado	4.3	3.8
Liofilizado	5.6	5.7
Concentrado y liofilizado	3.5	3.3

Hummer *et al* (2001) mencionaron que los puentes de hidrógeno dentro del nanotubo de carbono son protegidos de las fluctuaciones ambientales, por lo que la vida media de éstos se extiende hasta 5.6 ps comparado con 1 ps del agua a nivel macroscópico. Esto hace probable que el agua en la mínima entropía integral se encuentre menos disponible para participar en reacciones químicas y enzimáticas ya que resultaría energéticamente desfavorable.

Las interacciones entre las moléculas de agua y la matriz sólida del alimento, pueden ser explicadas a partir de mecanismos entálpicos, entrópicos y por medio de las interacciones agua-nanoporo. Se ha demostrado que la relación entre los parámetros termodinámicos de entalpía y entropía permite determinar el mecanismo que controla la interacción de las moléculas de agua con el alimento. El control entálpico se relaciona con los aspectos energéticos propios de la composición química y el control entrópico se refiere a los factores microestructurales cuya interacción con las moléculas de agua son independientes de la afinidad iónica o polar entre las moléculas del adsorbato y adsorbente (Beristain *et al*., 1996; Azuara y Beristain, 2006). Consecuentemente, es posible evaluar la interacción del agua con la estructura nanométrica en términos termodinámicos.

Entropía y rearreglos cooperativos

Entropía en sistemas de baja y alta densidad

La entropía (S) se ha relacionado con el grado de orden o desorden de un sistema en estudio y se ha definido como el logaritmo natural del número de microestados (Ω), consistentes con el estado macroscópico, multiplicado por la constante de Boltzmann (K) (Ecuación 2).

$$S = K \ln \Omega \qquad (2)$$

En base a esta ecuación, se ha propuesto que el aumento en el desorden de un sistema corresponde a un incremento en Ω, sin embargo, existen situaciones donde, dado un líquido y un cristal del mismo material sujetos a las mismas condiciones termodinámicas, la fase cristalina posee una mayor entropía que la fase líquida (Cuesta, 2006).

Alder y Wainwright (1957) simularon un sistema de esferas duras que consistía en situar N esferas en una caja cúbica de volumen V (lo que fija la densidad del fluido a $\rho = N/V$ y, asignándoles unas velocidades aleatorias, dejarlas evolucionar de acuerdo a las leyes de la Mecánica. Cuando dos esferas se encuentran se produce una colisión elástica que se resuelve a partir de las ecuaciones de conservación de energía y momento. Al cabo de un tiempo de simulación, las partículas se encuentran en la fase de equilibrio a esa densidad o, dicho de manera precisa, presentan microestados correspondientes a dicha fase. Alder y Wainwright observaron que las esferas mostraban configuraciones desordenadas cuando la fracción de volumen ocupada era inferior al 50%, aproximadamente, pero por encima de esa fracción las esferas cristalizaban en una red regular.

En un sistema de baja densidad, los elementos que conforman el sistema tienden a un mayor número de configuraciones desordenadas que ordenadas, provocando que la entropía del sistema aumente. En el caso de sistemas de alta densidad, las configuraciones desordenadas resultan incompatibles debido a las restricciones provocadas por del volumen, por lo que un gran número de configuraciones ordenadas son consistentes con el estado macroscópico del sistema y por tanto mayor entropía.

El conjunto de moléculas de agua adsorbidas en un alimento deshidratado puede ser considerado como un sistema de baja densidad, ya que las moléculas de agua que interaccionan con la superficie del alimento tienen suficiente volumen disponible para adsorberse. En estos sistemas, la mínima entropía representa el mejor acomodamiento de las moléculas (Beristain y Azuara, 1990) y en este punto son pocas las configuraciones ordenadas que adopta el agua en la superficie del material.

Rearreglos cooperativos (Teoría de Adam y Gibbs)

Adam y Gibbs (1965) desarrollaron una teoría basada en principios entrópicos que relaciona el tiempo de relajación estructural (cantidad cinética) con la entropía configuracional (cantidad termodinámica) del sistema. Esta teoría se basa en la movilidad molecular de líquidos a temperaturas que se acercan a la T_g en términos de rearreglos cooperativos moleculares. De acuerdo a esta teoría, el movimiento molecular ocurre en regiones de tamaño crítico z* (átomos, moléculas, etc.), con una probabilidad de cambio configuracional (Perez, 1994, Johari *et al*., 1987; Johari, 2000; Corezzi *et al*., 2002).

La región de rearreglo cooperativo (z) se define como un subsistema con suficiente fluctuación de energía para rearreglarse en una configuración independiente de su ambiente y cuya probabilidad de sufrir un rearreglo cooperativo esta en función del número de moléculas que forman la región z (Adam y Gibbs, 1965). El subsistema de z moléculas interactúa térmica y mecánicamente con otros subsistemas y se considera a todo el sistema (N) como el conjunto de subsistemas. Dentro de este sistema, existen dos clases de regiones, aquellas (n) que residen en un estado que les permite un arreglo cooperativo y N – n regiones cuyo estado no les permite dicha transición. La entropía configuracional del sistema se expresa como $S_c = Ns_c$, donde s_c es la entropía configuracional del subsistema z y definida como $s_c = K\ln(W_c^{1/N})$, donde $W_c^{1/N}$ es el número promedio de configuraciones que depende del tamaño de z.

En la zona de mínima entropía, calculada a partir de las isotermas de sorción de humedad, las moléculas de agua están ordenadas de forma que existen fuertes interacciones entre las moléculas de agua y el adsorbente (Nunes y Rotstein, 1991). En este punto, es probable que el conjunto de moléculas de agua en un microporo actúe como una región z, que se encuentra en un estado de rearreglo cooperativo de mínima entropía configuracional. Por lo tanto, es probable que el comportamiento de las moléculas de agua en los espacios nanométricos de un material, pueda ser descrito en términos de la teoría de Adam y Gibbs (Azuara *et al*., 2006).

Descripción de la morfología del alimento

La geometría fractal es una rama de las matemáticas que se basa en el uso de algoritmos y dimensiones fraccionarias para describir las morfología de la naturaleza, mismas que no son adecuadamente descritas por las formas euclidianas (Mandelbrot, 1997). Un fractal es una figura geométrica compuesta por fragmentos en una infinita variedad de tamaños, tales que cada uno de ellos es una copia reducida del total. Se dice que los fractales son autosimilares o independientes de la escala cuando se hace referencia a esta propiedad. En general los fractales están caracterizados por la presencia de infinito detalle, longitud infinita y la ausencia de suavidad o derivabilidad.

Un fractal natural es una figura que presenta autosimilaridad desde un punto de vista estadístico, dentro de un rango de magnificación en el cual el perfil es analizado (Barletta y Barbosa-Cánovas, 1993). Una forma de evaluar la heterogeneidad de un sólido (como un alimento), es en términos de la dimensión fractal (Fractal Dimension, FD) que puede ser obtenida por diferentes metodologías como isotermas de adsorción (Fripiat *et al*., 1986, Wang y Li, 1997; Aguerre y Suárez, 1999) y análisis de imágenes. Esta última forma a partir

del contorno de la partícula (Alamilla-Beltrán *et al*., 2005) o de la superficie del alimento (Quevedo *et al*., 2002; Chanona *et al*., 2003).

El cálculo de la dimensión fractal de la superficie a partir de isotermas de adsorción, se ha llevado a cabo de diversas formas (Pfeifer *et al*., 1991; Neimark *et al*., 1992; Jaroniec, 1995; Wang y Li, 1997). Wang y Li (1997) mejoraron el método de Neimark *et al*. (1992) donde la superficie fractal de un adsorbente puede ser descrita por la superficie de la película adsorbida de igual curvatura inscrita (SCI) a la superficie del adsorbente, con varios radios promedio de curvatura (RPC). En otras palabras, el RPC es el radio de la curvatura del menisco del adsorbato en la interfase entre el estado líquido y el gaseoso (Radio de Kelvin) y la superficie de la película es el área superficial que forma el adsorbato calculada por medio de la ecuación de Kiselev. La disminución del radio promedio de la curvatura (RPC), provoca que la superficie de la película adsorbida (SCI) penetre en las entradas o depresiones más pequeñas en la superficie del adsorbente y, al seguir disminuyendo el RPC, el SCI reproduce todas las peculiaridades del material con la misma dimensión fractal de superficie.

Otro método para describir la superficie del alimento es por medio de un análisis fractal de textura de imagen (Quevedo *et al*., 2002) que consiste en adquirir una imagen de la superficie del alimento y procesarla en condiciones adecuadas de resolución, tamaño, escala de grises y almacenada en un formato de mapa de bits (Chanona *et al*., 2003). Se grafica la intensidad de la superficie en coordenadas de píxeles (x,y) contra la escala de grises (eje z) también en píxeles. El cálculo de la dimensión fractal se basa en el conteo de cubos de diferentes tamaños (r) que son montados en columnas e interceptados con la intensidad de la superficie (en tres dimensiones). La dimensión fractal es determinada por la pendiente de la relación lineal de la gráfica de $\log(N_r)$ contra $\log(1/r)$.

La modificación en la morfología del alimento durante algún tipo de proceso, puede describirse en términos de la dimensión fractal. Chanona *et al*. (2003) estudiaron el cambio en la heterogeneidad de la superficie de un sistema alimentario modelo durante el proceso de secado, y concluyeron que la FD puede ser un indicador cuantitativo de la heterogeneidad del material. Por lo tanto, es probable que el uso de la teoría fractal junto con el análisis termodinámico, ayude a caracterizar la estructura nanoporosa más apropiada que maximice las interacciones agua-alimento y contribuya a definir las condiciones de máxima estabilidad.

Cambios inducidos de la estructura a escala nanométrica por medio de un proceso criogénico podría permitir el control de las condiciones de conservación de un alimento deshidratado. Es escasa la investigación sobre los cambios microestructurales en la matriz sólida del alimento, debido al procesamiento, con relación al volumen de microporo y mínima entropía; y no se ha realizado este tipo de investigación en alimentos que posean nanocavidades. Por consiguiente, es preciso evaluar los mecanismos energéticos y estéricos entre la interacción de las moléculas de agua y la matriz de un material nanoestructurado. Esta investigación permitirá adquirir conocimiento del efecto de la estructura nanoporosa sobre la estabilidad del alimento seco y, de esta forma, diseñar y desarrollar materiales comestibles que se utilicen como dispositivos de control de estabilidad, tales como polvos nanoporosos que puedan ser adicionados a otros alimentos para hacerlos más estables, debido a su capacidad de ordenar las moléculas de agua en su estructura tridimensional (nanocavidades) y hacerlas menos disponibles para participar en reacciones de degradación.

En resumen, es necesario nanoestructurar para mejorar las condiciones de estabilidad y lograr con ello materiales con mejores cualidades organolépticas y nutrimentales. Es posible lograr la nanoestructuración de materiales de interés alimentario por medio de utilizar etanol criogénico y controlar, de esta forma, la interacción y acomodamiento de las moléculas de agua en la nanoestructura del alimento (mínima entropía integral) y mejorar sus condiciones de estabilidad. Por lo anterior, es posible postular que es posible lograr la nanoestructuración de materiales de interés alimentario por medio de utilizar etanol criogénico y controlar, de esta forma, la interacción y acomodamiento de las moléculas de agua en la nanoestructura del alimento (mínima entropía integral) y mejorar sus condiciones de estabilidad

OBJETIVO

Nanoestructurar materiales de interés alimentario y estudiar los mecanismos energéticos y estéricos que intervienen en la interacción entre las moléculas de agua y la matriz del producto.

Metodología

La Figura 2 muestra la metodología que se desarrolla a lo largo del presente trabajo.

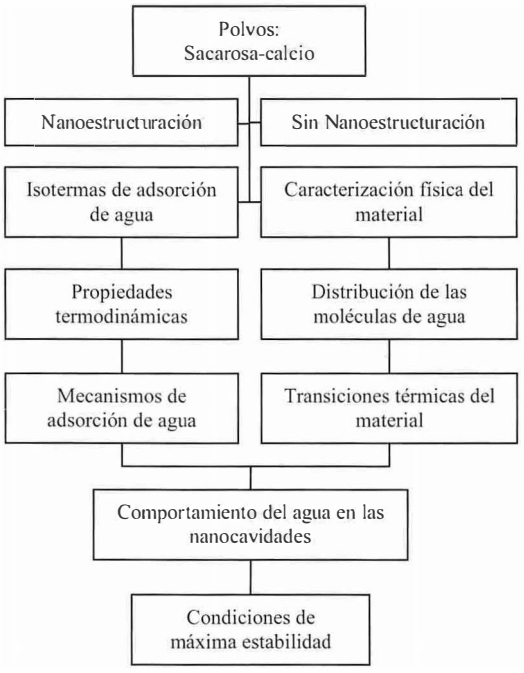
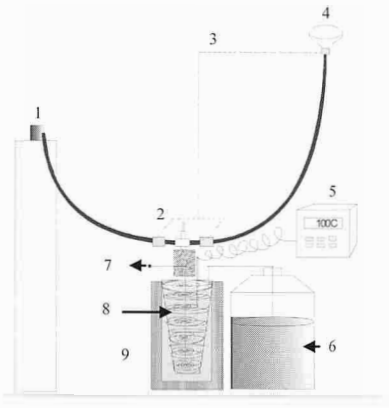


Figura 2. Metodología.

MATERIALES Y MÉTODOS

Proceso criogénico: se obtuvieron polvos de sacarosa-calcio por el método de Zeller y Saleeb (1996) utilizando etanol criogénico y el equipo descrito en la figura 3. Se asperjó una solución de sacarosa-calcio al 33% de sólidos con una relación molar 1:1.25 sacarosa-calcio sobre etanol enfriado a -40 y -80°C, manejando una relación de 30 partes de etanol y una parte de solución problema. Una vez realizada la aspersión se permitió que la temperatura del etanol con el polvo ascendiera hasta 0°C y se separó por filtración. Posteriormente el polvo obtenido se sometió a un proceso de liofilización por 24 h.



1. Gas de nitrógeno gaseoso
2. Aspersor
3. Soporte
4. Alimentación
5. Termopar
6. Nitrógeno líquido
7. Bomba de vacío
8. Serpentin
9. Contenedor de etanol

Figura 3. Representación esquemática del equipo utilizado para disminuir la temperatura del etanol a -80°C.

Secado por aspersión: una solución de sacarosa-calcio al 33% de sólidos con una relación molar 1:1.25 fue secado por aspersión en un equipo Büchi Mini Spray Dryer modelo 190 con una temperatura de entrada de 110°C y una de salida de 100°C.

Isotermas de adsorción de humedad: el polvo producido fue ubicado en desecadores con P_2O_5 hasta peso constante. Las isotermas de adsorción de humedad fueron obtenidas utilizando el método gravimétrico. Muestras de 2 a 3 gramos (por triplicado) fueron pesadas y colocadas en celdas de sorción con soluciones saturadas de sales en el rango de a_w de 0.11 a 0.85. Las muestras fueron mantenidas a 25°C hasta que se alcanzó el equilibrio.

Modelo de sorción de humedad: se utilizó la ecuación de Guggenheim-Anderson-De Boer (GAB) para modelar la adsorción de humedad en los polvos producidos:

$$M = \frac{M_o C K a_w}{(1-Ka_w)(1-Ka_w+CKa_w)} \qquad (3)$$

donde M = contenido de humedad (g de agua/100 g sólido seco), a_w = actividad de agua, Mo = contenido de humedad de la monocapa, C y K son constantes.

La aplicabilidad del modelo se evaluó utilizando el promedio del porcentaje relativo de las diferencias entre el valor experimental y el predicho del contenido de humedad. Esto se define como el módulo de desviación media relativa:

$$P = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{n}\frac{M_i - M_{pi}}{M_i} \qquad (4)$$

donde M_i = contenido de humedad en base seca (valor experimental) en la medición i; M_{pi} = contenido de humedad predicho y n = el número de observaciones.

Volumen de microporos: se empleó el modelo de Dubinin-Radushkevich, el cual se ha utilizado para calcular el volumen de microporos de diversos adsorbentes (Sonwane y Bhatia, 2000). El contenido de humedad que corresponde al volumen de microporos (n_0) se calculó de la siguiente ecuación:

$$\log n = \log n_o - B\log^2\left(\frac{P_v^o}{Pv}\right) \qquad (5)$$

donde n = contenido de humedad adsorbido en base seca, n_0 = cantidad de agua adsorbida correspondiente al volumen de microporos y B = constante relacionada a la estructura porosa del adsorbente (Azuara y Beristain, 2006).

Dimensión fractal de superficie: la dimensión fractal (FD) de la superficie de los materiales fue determinada a partir de los datos de adsorción de vapor de agua por medio del método de condensación capilar de acuerdo a Wang y Li (1997):

$$-\frac{\int_{N(X)}^{N\,max}\ln(X)dN(X)}{r_c^2(X)} = k_0 D V_L^{D/3}\frac{\sigma}{RT}\left[\frac{(N_{max}-N(X))^{1/3}}{r_c(X)}\right]^C \qquad (6)$$

donde X = presión relativa, N_{max} = moles adsorbidos cuando X tiende a la unidad, r_c = radio de la curvatura del menisco (radio de Kelvin), σ = tensión superficial entre la fase líquida y gas, V_L = volumen molar del adsorbato líquido, k_o = factor que relaciona el área superficial con el volumen y D = dimensión fractal de la superficie porosa del sustrato.

Coeficiente de pseudo actividad: el coeficiente de pseudo actividad fue calculado de acuerdo a Braibanti *et al.* (1990):

$$f' = \frac{a_w}{M} \qquad (7)$$

donde f′ es el coeficiente de pseudo actividad del agua adsorbida.

Solubilidad de los polvos: fue evaluada por medio de una inspección visual durante el proceso de adsorción de humedad.

Variación de la superficie disponible de adsorción: la mínima entropía y su relación con el grado de modificación de la estructura a escala nanométrica (nanoestructuración), fue analizado por medio de la variación de la superficie disponible de adsorción (dS/da_w en función de a_w).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Isotermas de adsorción a 25°C

Las isotermas de adsorción de vapor de agua para el polvo asperjado en etanol criogénico a -40°C (E-40), -80°C (E-80) y el secado por aspersión (SA) se presentan en la Figura 4. Se observó que los polvos sometidos a un proceso criogénico (E-40 y E-80) presentaron una forma sigmoidal descrita como tipo II, de acuerdo a la clasificación de Brunauer *et al.* (1940), a diferencia de SA que es de tipo III. Esto puede ser explicado con base en diferencias estructurales generadas en cada tipo de procesamiento. La aspersión en etanol criogénico provocó que el agua de la solución se congelara casi instantáneamente, creando estructuras de tamaño nanométrico y micrométrico dentro de la matriz de la partícula. El tamaño del cristal depende de la temperatura de congelación, por lo que se forman cristales más pequeños a bajas temperaturas. Estas partículas de hielo fueron eliminados por la acción deshidratante del etanol evitando el colapso de la nanoestructura del polvo. De acuerdo a Zeller y Saleeb (1996) la eliminación de los cristales de hielo de estos polvos crea en la partícula una estructura porosa con microporos, mesoporos y macroporos. La presencia de microporos (diámetro de poro ≤ 2 nm) en el polvo de sacarosa-calcio favorece la adsorción de humedad a bajas actividades de agua. En cambio, la isoterma de SA es característica de productos azucarados debido a la solubilidad del azúcar (Falade *et al.*, 2004). Además, las partículas producidas en secado por aspersión no poseen una gran estructura microporosa (Hudak, 1983).

Las isotermas de adsorción se ajustaron al modelo de GAB y se obtuvieron los valores de los parámetros de energía C y K, así como el valor de monocapa (Mo), los cuales se muestran en el Tabla 2. La constante de energía C de GAB está relacionada con la diferencia en esta magnitud entre las últimas capas de agua con la monocapa y se observó que C es mayor para los polvos obtenidos por el proceso criogénico. Sin embargo, los valores de monocapa (Mo) para E-40, E-80 y SA son ligeramente diferentes.

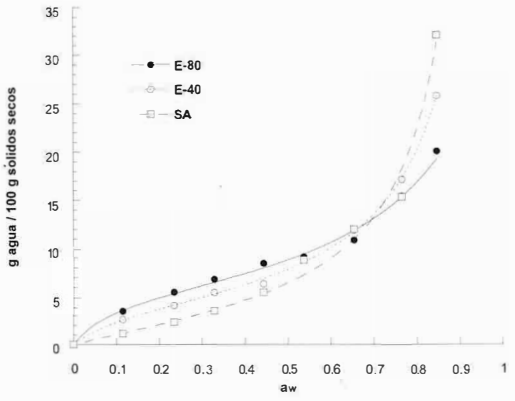


Figura 4. Isotermas de adsorción de humedad a 25°C de los polvos producidos. Las líneas representan el ajuste con el modelo de GAB

Tabla 2. Valores de los parámetros de la ecuación de GAB.

	Proceso de producción		
Parámetro	SA	E-40	E-80
C	2.426	7.952	12.34
K	1.028	0.980	0.847
Mo (g agua/ 100 g s.s.)	4.314	4.5041	5.632
P %	7.825	2.736	4.121

El módulo de desviación (P) fue menor al 8%, que de acuerdo a Lomauro *et al.* (1995), los valores menores al 10% corresponden a un buen ajuste y los valores menores del 5% a un ajuste excelente.

Dimensión Fractal de la superficie del polvo

La dimensión fractal (FD, Fractal Dimension) de la superficie de los polvos fue calculada con las ecuaciones 13 y 14 a partir de las isotermas de adsorción de agua. La Figura 5 reproduce la gráfica de $\ln A(a_w)$ contra $\ln B(a_w)$ donde la pendiente de la línea recta es la dimensión fractal (Wang y Li, 1997).

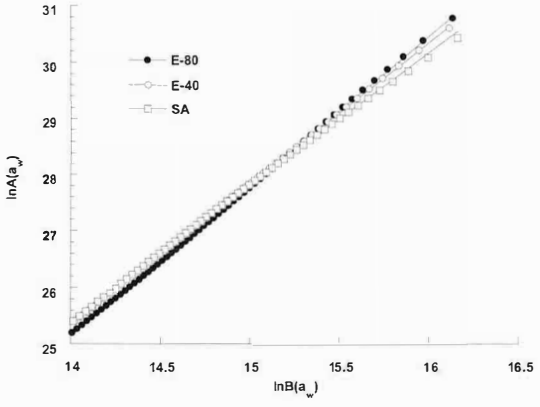


Figura 5. $\ln A(a_w)$ contra $\ln B(a_w)$ a partir de las Isotermas de adsorción de humedad a 25°C de polvos producidos en etanol criogénico y polvo secado por aspersión. La línea recta corresponde a la regresión lineal en el intervalo de posible fractalidad.

La dimensión fractal de E-40 y E-80 indica que las partículas no poseen una superficie lisa y plana, sino que tienen una superficie muy irregular con una gran aspereza debido al proceso criogénico al que fueron sometidos. Los resultados en la Tabla 3 muestran que FD de E-40 es mayor que SA. Esto fue comprobado por medio de micrografías electrónicas de barrido (Figura 6), donde SA revela menor heterogeneidad en la superficie y por lo tanto menor FD.

Tabla 3. Parámetros estimados de Dubinin-Radushkevich, Wang y Li y a_w correspondiente.

	Proceso de producción		
Parámetro	SA	E-40	E-80
n_o (g agua/ 100 g s.s.)	3.95	6.32	8.72
a_w correspondiente	0.221	0.408	0.495
B	0.737	0.475	0.469
Dimensión fractal	2.36	2.50	2.66

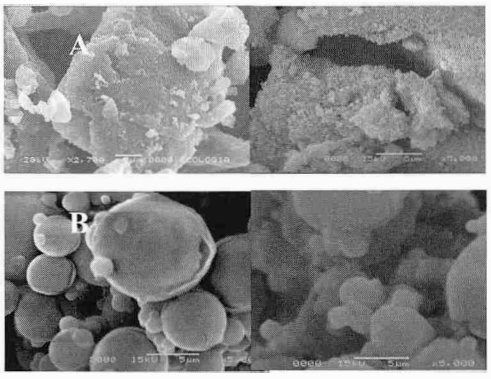


Figura 6. Micrografías electrónicas de barrido de polvo producido por etanol criogénico a -40°C (A) y polvo secado por aspersión (B).

El incremento en la irregularidad de la superficie de la muestra, se ve reflejado en valores mayores de dimensión fractal del polvo y la forma de la isoterma de adsorción de agua se ve afectada, especialmente la curvatura a bajas presiones relativas (Figura 4). Esto indica que las moléculas de agua son adsorbidas inicialmente en los microporos (nanoporos con diámetros de poro < 2 nm) creados dentro de la estructura tridimensional del polvo y explica el cambio de una isoterma de adsorción tipo III a una tipo II en un material con la misma composición química pero diferente nanoestructura.

Volumen de microporo y monocapa

Las gráficas correspondientes al modelo de Dubinin-Radushkevich para la adsorción de E-40, E-80 y SA fueron lineales a bajas actividades de agua, sin embargo esta linealidad se perdió a altas a_w como se muestra en la Figura 7. La pérdida de linealidad en la gráfica de Dubinin-Radushkevich sugiere el llenado completo del volumen disponible de microporos en el polvo (Fletcher y Thomas, 2000; Crippa *et al.*, 2003).

El contenido de humedad adsorbido que corresponde al volumen de microporos (n_o) y el contenido de humedad correspondiente a la monocapa calculada con el modelo de GAB se muestran en los Tablas 2 y 3. El valor de n_o de E-80 resultó mayor que E-40 y SA, y la constante B resultó más grande para aquel polvo con bajo volumen de microporos; todo esto debido a los cambios en la estructura microporosa. Además, el valor de n_o es diferente de la monocapa de GAB.

Azuara y Beristain (2006) mostraron que los contenidos de humedad correspondientes al volumen de microporos y mínima entropía son similares, y es el punto en el cual el agua esta menos disponible para participar en reacciones de deterioro y donde el alimento conserva su calidad nutricional y funcional (Beristain *et al.*, 2002; Domínguez *et al.*, 2007). Por lo tanto, el volumen de microporos de los productos obtenidos es un parámetro más real que el valor de M_o de GAB.

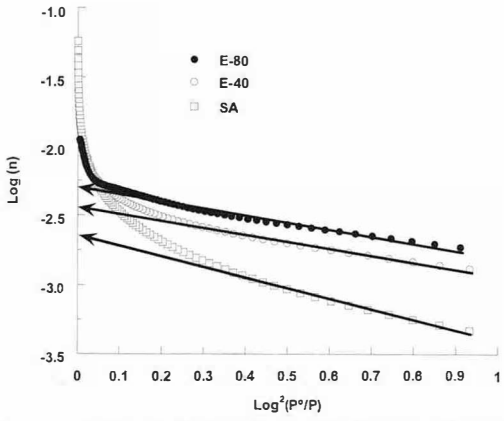


Figura 7. Gráfica de Dubinin-Radushkevich para adsorción de agua a 25°C de polvos producidos en etanol criogénico y polvo secado por aspersión. La línea recta corresponde a la regresión lineal en el rango posible de a_w.

Coeficiente de pseudo actividad

El coeficiente de pseudo actividad relaciona la afinidad de las moléculas de agua por los sitios activos en la superficie del material con la probabilidad de enlace (Braibanti *et al*., 1990). La Figura 8 muestra los coeficientes de pseudo actividad en función del contenido de humedad e indica los cambios de fase en las moléculas de agua de la monocapa a multicapa.

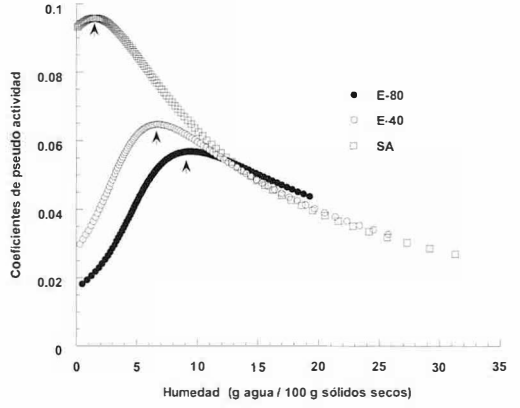


Figura 8. Coeficientes de pseudo actividad en función del contenido de humedad a 25°C de los polvos producidos por el proceso criogénico y polvo secado por aspersión.

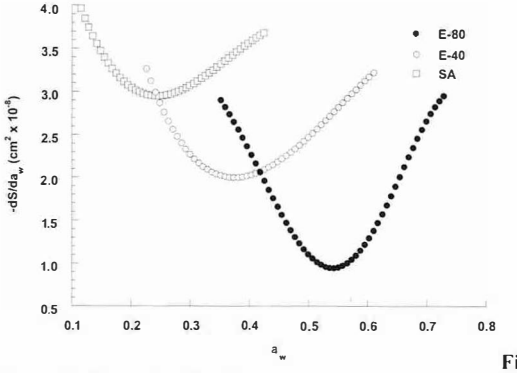
Los resultados mostraron que la transición de la monocapa a la multicapa (coeficiente de pseudo actividad máximo) para SA fue a menor contenido de humedad comparado con E-40 y E-80 (Tabla 4). Los polvos sometidos al proceso criogénico presentaron en la zona de humedades relativas bajas una mayor capacidad de adsorción y además los contenidos de humedad correspondientes al coeficiente de pseudo actividad máximo fueron cercanos a los volúmenes de microporos.

Tabla 4. Valores de a_w y humedad correspondientes a los coeficientes de pseudo actividad y mínima entropía integral.

Polvo	Coeficiente de pseudo actividad		Mínima entropía	
	a_w	Humedad	a_w	Humedad
SA	0.145	1.516	0.239	2.374
E-40	0.436	6.731	0.388	5.867
E-80	0.538	9.446	0.530	9.158

Mínima entropía y área disponible de adsorción

La mínima entropía y su relación con el grado de modificación de la estructura a escala nanométrica (nanoestructuración), fueron analizados por medio de la variación de la superficie disponible de adsorción. En la Figura 9, se observa el valor de a_w donde ocurre el mejor ordenamiento de las moléculas de agua en polvos de sacarosa-calcio de igual composición química pero con diferentes grados de nanoestructuración. La creación de un mayor volumen de microporos en E-40 y E-80, comparados con SA, permite que el punto de mínima entropía se desplace a mayores a_w, similares a las a_w correspondientes a los volúmenes de microporos (Tabla 4).



Fi

Figura 9. Variación del área disponible de adsorción en función de la actividad de agua (aw) a 25°C de los polvos producidos por el proceso criogénico y polvo secado por aspersión.

Las moléculas de agua pudieran estarse ordenando dentro de los nanoporos del polvo, de forma que su capacidad de solubilización se vea limitada. Es posible que el análisis de Resonancia Magnética Nuclear del estado sólido de los polvos sometidos al proceso criogénico a diferentes humedades relativas, muestren una mayor población de moléculas de agua con una rápida velocidad de relajación, lo que indicaría una restricción por parte de la pared del poro (mecanismo entrópico). Además, las moléculas de agua dentro del nanoespacio, en vista de la restricción provocada por el volumen, tenderían a un arreglo configuracional ordenado.

CONCLUSIONES

A. El polvo obtenido de un proceso de líquidos criogénicos presenta una mayor adsorción de agua a bajas presiones relativas en comparación con el secado por aspersión, debido a la creación de nanocavidades (microporos ≤ 2 nm) por la formación de pequeños cristales de agua.
B. El incremento de microporos en la matriz del polvo crea asperezas en la superficie de la partícula, lo cual puede describirse por medio de la dimensión fractal.
C. El contenido de humedad correspondiente al coeficiente de pseudo actividad máximo fue cercano al volumen de microporos.
D. La variación de la superficie disponible de adsorción respecto a la a_w (dS/da_w vs a_w), mostró ser una herramienta apropiada y sencilla para determinar el punto de mínima entropía integral utilizando una isoterma a una temperatura. Este análisis reveló que la modificación de la estructura de los materiales a escala nanométrica, aumentando la cantidad de microporos (nanoestructuración) permite tener una mejor estabilidad a mayores humedades relativas.
E. Las características nanoestructurales del producto obtenido por líquidos criogénicos permitieron que la solubilidad se presentara a mayores humedades relativas comparada con el producto secado por aspersión.
F. Es posible mejorar la conservación de los polvos de sacarosa-calcio aplicando principios de nanotecnología, con el fin de controlar la adsorción de vapor de agua por mecanismos entrópicos.

REFERENCIAS

dam, G. y Gibbs, J. H. 1965. On the temperatura dependence of cooperative relaxation properties in glass-forming liquids. The Journal of Chemical Physics. Vol. 43. No. 1. pp. 139 – 146.

lamilla-Beltrán, L., Chanona-Pérez, J. J., Jiménez-Aparicio, A. R. y Gutiérrez-López, G. F. 2005. Description of morphological changes of particles along spray drying. Journal of Food Engineering. 67: 179 - 184.

lder, B. J. y Wainwright, T. E. 1957. Phase transition for a hard sphere system. Journal of Chemical Physics. 27: 1208.

guerre, R. J. y Suárez, M. P. T. 1999. Multilayer adsorption on fractal surface: effect of the adsorbate-adsorbate interactions on the sorptional equilibrium. Drying Technology. 17(4 y 5): 869-881.

l-Muhtaseb, A. H., McMinn, A. M. y Magee, T. R. A. 2002. Moisture sorption isotherm characteristics of food products: a review. Transactions Institution of Chemical Engineers. 80 part C: 118 – 128.

zuara, E. y Beristain, C. I. 2006. Enthalpic and entropic mechanisms related to water sorption of yogurt. Drying Technology. 24: 1501 – 1507.

zuara, E., Flores, E. y Gutiérrez, G. F. 2006. Enthalpy-entropy compensation in osmotic dehydration of apple and agar gel. Trends in processing and emerging technology. IUFOST-XIIIth. Food is Life. Francia.

arletta. , B. J. y Barbosa-Cánovas, G. V. 1993. Fractal analysis to characterize ruggedness changes in tapped agglomerated food powders. Journal of Food Science. 58(5): 1030-1035, 1046.

eck, J. S., Vartuli, J. C., Roth, W. J., Leonowicz, M. E., Kresge, C. T., Schmitt, K. D., Chu, C. T., Olson, D. H., Sheppard, E. W., McCullen, S. B., Higgins, J. B. y Schlenker, J. L. 1992. A new family of mesoporous molecular sieves prepared with liquid crystal templates. Journal of American Chemical Society. 114: 10834 – 10843.

ell, L. N. y Hageman, M. 1994. Differentiating between the effects of water activity and glass transition dependent mobility on a solid state chemical reaction: aspartame degradation. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 42: 2398-2401.

eristain, C. I. y Azuara, E. 1990. Estabilidad máxima en productos deshidratados. Ciencia. Vol. 41. No. 1. pp. 229 – 236.

eristain, C. I., Mendoza, R. F., García, H. S. y Vázquez, A. 1994. Cocrystallization of jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L. Granules). Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie. 27: 347 – 349.

eristain, C.I., H.S. García and E. Azuara. 1996. Enthalpy-entropy compensation in food vapor adsorption. Journal of Food Engineering 30: 405-415.

eristain, C. I., Azuara, E. y Vernon-Carter, E. J. 2002. Effect of water activity on the stability to oxidation of spray-dried encapsulated orange peel oil using mesquite gum (Prosopis juliflora) as wall material. Journal of Food Science. Vol. 67. No. 1. pp. 206 - 211.

rand-Williams, W., Cuvelier, M. E. y Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie. 28: 25 – 30.

unz, U. H. F. 2006. Breath figures as a dynamic templating method for polymer and nanomaterials. Adv. Mater. 18: 973 – 989.

hanona, P. J. J., Alamilla, B. L., Farrera, R. R. R., Quevedo, J. M., Aguilera, J. M. y Gutiérrez, L. G. F. 2003. Description of the convective air-dryng of a food model by means of the fractal theory. Food Science and Technology International. 10(3): 207- 213.

hirife, J. y Buera, M. P. 1994. Water activity, glass transition and microbial stability in concentrated/Semimoist food systems. Journal of Food Science. 59(5): 921 – 927.

hui, M. M., Phillips, R. J. y McCarthy, M. J. 1995. Measurement of the porous microstructure of hydrogels by nuclear magnetic resonance. Journal of Colloid and Interface Science. 174: 336 – 344.

orezzi, S., Fioretto, D. y Rolla, P. 2002. Bond-controlled configurational entropy reduction in chemical vitrification. Nature. 420: 653 – 656.

Crippa, P. R., Giorcelli, C. y Zeise, L. 2003. Determination of surface characteristics and Fractal dimensions of natural and synthetic eumelanins from nitrogen adsorption isotherms. Langmuir. 19: 348 – 353.

Cuesta, J. A. 2006. La entropía como creadora de orden. Revista Española de Física. Diciembre: 1-7.

Domínguez, I. L., Azuara, E., Vernon-Carter, E. J. y Beristain, C. I. 2007. Thermodynamic análisis of the effect of water activity on the stability of macadamia nut. Journal of Food Engineering. In Press.

Falade, K. O., Olukini, I. y Adegoke, G. O. 2004. Adsorption isotherm and heat of sorption of osmotically pretreated and air-dried pineapple slices. Europe Food Research Technology. 218: 540 – 543.

Fletcher, A. J. y Thomas, K. M. 2000. Compensation effect for the kinetics of adsorption/desorption of gases/vapors on microporous carbon materials. Langmuir. 16:6253 – 6266.

Fripiat, J. J. Gatineau, L. y Van Damme, H. 1986. Multilayer physical adsorption on fractal surfaces. Langmuir. 2 : 562-567.

Glenn, G. M. y Stern, D. J. 1999. Starch-based microcellular foams. U. S. patent 5958589.

Gould, G. W. y Christian, J. H. B. 1988. Characterization of the state of water in foods. Biological aspects. *In*: Food preservation by moisture control, C. C. Scow, T. T. Teng, and C. H. Quah (Ed.), p. 43 – 56. Elsevier Applied Science, London and New York.

Huang, B. 2005. Distribution patterns and controllable transport of water inside and outside charged single-walled carbon nanotubos. The Jorunal of Chemical Physics. 122:084708 s2005d.

Hudak, S. F. 1983. Method for producing aromatized microporous substrates. U. S. patent 4389422.

Hummer, G. Rasaiah, J. C. y Noworyta, J. P. 2001. Water conduction through the hydrophobic channel of a carbon nanotubo. Nature. 414: 188 – 414.

Jaroniec, M. 1995. Evaluation of the fractal dimension from a single adsorption isotherm. Langmuir. 11: 2316 – 2317.

Jayaprakasha, H. M., Jayaraj, K. y Lokesh, W. A. 1997. Studies on the influence of water activity (a_w) on the stability of foods – a critical appraisal. Journal of Food Science and Technology. 34(4): 273 - 285.

Johari, G. P. 2000. A resolution for the enigma of a liquid's Configurational entropy-molecular kinetics relation. Journal of Chemical Physics. 112(20): 8958 - 8969.

Johari, G. P., Hallbrucker, A. y Mayer, E. 1987. The glass-liquid transition of hyperquenched water. Nature. 330: 552- 553.

Kalichevsky-Dong, M. T. 2000. The glass transition and microbial stability. In: The stability and shelf-life of food. Kilcast, D. y Subramaniam (Eds.). CRC Press. Boca Raton. pp. 25 – 56.

Kayacier, A. y Singh, R. K. 2002. Glass transition studies of baked tortilla chips using dynamic mechanical termal análisis. Lebensmittel Wissennschaft und Technology, 35(1): 34 – 37.

Knowless, E. E. 2006. Nanotechnology. Evolving occupational safety, health and environmental issues. Professional Safety. March. pp. 20 – 27.

Krug, R.R., W.G. Hunter and R.A. Grieger. 1976. Enthalpy-entropy compensation. 2-Separation of the chemical from the statistical effect. Journal of Physical *Chemistry* 80: 2341-2351

Labuza, T. P., McNally, L., Gallagher, D., Hawkes, J. y Hurt, F. 1972. Stability of intermediate moisture foods. I. Lipid oxidation. Journal of Food Science. 37: 154 -159.

Labuza, T. P., Kaanane, A. Chen, J. Y. 1985. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of 2 dehydrated foods. Journal of Food Science. 50(2):385 – 391.

Lang, K. W., McCune, T. D. y Steinberg, M. P. 1981. Proximity equilibration cell for rapid determination of sorption isotherms. Journal of Food Science. 46(3):936 – 938.

Leffler, J.E. 1955. The enthalpy-entropy relationship and its implications for organic chemistry. Journal of Organic Chemistry 20: 1202-1231.

Lomauro, C. J., Bakshi, A. S. y Labuza, T. P. 1985. Evaluation of food moisture sorption isotherms equations. Part II: Milk, coffee, tea, nuts, oilseed, spices and starchy foods. Lebensmittel Wissennschaft und Technology, 18(2): 118 – 124.

udescher, R. D. Shah, N. K., McCaul, C. P. y Simon, K. V. 2001. Beyong T_g: optical luminescenee measurements of molecular mobility in amorphous solid foods. Food Hydrocolloids. 15: 331 - 339.

landelbrot, B. B. 1997. La geometría fractal de la naturaleza. Ed. Tusquets Editores, S. A. Barcelona, España. 662 p.

larañon, J. y Marañon, J. 2003. Confined water in nanotubo. Journal of Molecular Structure (Theochem). 623 : 159 – 166.

lejía-Rosales, S., Fernández-Navarro, C., Pérez-Tijerina, E. y Yacamán, M. J. 2006. Dinámica molecular de nanopartículas de oro-paladio. Ciencia UANL. Vol. 9(1): 19-25.

loraru, C. I., Panchapakesan, C.P., Huang, Q., Takhistov, P., Liu, S., y Kokini, J. L. 2003. Nanotechnology: a new frontier in food sicence. Food Technology, 57(12), 24 – 29.

eimark, A. V. 1992. A new approach to the determination of the surface fractal dimension of porous solids. Physica A. 191: 258 – 292.

unes, R. V. y Rotstein, E. 1991. Thermodynamics of the water-foodstuff equilibrium. Drying Technology. Vol. 9. pp. 841 – 856.

thmer, D.F. 1940. Correlating vapor pressure and latent heat data. A new plot. Industrial and Engineering Chemistry 32: 841-856.

ılipane, K. B. y R. D. Driscoll. 1994. The thin-layer drying characteristics of macadamia in-shell nuts and kernels. Journal of Food Engineering. 23: 129 – 144.

ɛrez, J. 1994. Theories of liquid-glass transition. Journal of Food Engineering. 22: 89 – 114.

feifer, P. 1991. Structure análisis of porous solids from presorbed films. Langmuir. 7:2833.

uevedo, R., López, G. C., Aguilera, J. M. y Cadoche, L. 2002. Description of food surfaces and microstructural changes using fractal image textura análisis. Journal of Food Engineering. 53: 361 - 371.

aman, V. I. y Palmese, G. R. 2006. Nanoporous polymers – Design and application. *In*: Nanomaterials handbook. Gogotsi, Y (Ed). Taylor and Francis Group, LLC. Boca Raton. pp. 585 – 601.

oa, V. y Tapia de Daza, M. S. 1991. Evaluation of water activity measurements with a dew point electronic humidity meter. Lebensmittel Wissennschaft und Technology, 24(3): 208 – 213.

oos, Y. H. 1993. Water activity and physical state effects on amorphous food stability. Journal of Food Processing and Preservation. 16: 433 - 447.

Roos, Y. H., Karel, M. y Kokini, J. L. 1996. Glass transitions in low moisture and frozen foods: effects on shelf life and quality. Food Technology. 50: 95 - 108.

Sealy, C. 2004. Water on the nanoscale. Nanotoday. December. pp. 12.

Slade, L. y Levine H. 1991. Beyond water activity: recent advances base don an alternative approach to the assessment of food quality and safety. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 30:115 – 360.

Salata, O. V. 2004. Applications of nanoparticles in biology and medicne. Journal of Nanobiotechnology. 2:1 - 6.

Sanguansri, P. y Augustin, M. A. 2006. Nanoscale materials development – a food industry perspective. Trends in Food Science and Technology. IN PRESS. pp. 1 – 10.

Scott, W. J. 1957. Water relations of food spoilage microorganisms. Advances in Food Research. 7:83 - 127.

Sonwane, C.G. and K. Bhatia. 2000. Characterization of pore size distributions of *mesoporous materials from adsorption isotherms. Journal of Physical Chemistry B* 104: 9099-9110.

Timmermann, E. O., Chirife, J. e Iglesias, H. A. 2001. Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters?. Journal of Food Engineering. 48: 19 -31.

Uskokovic, V. 2007. Nanotechnologies: what we do no know. Technology in Society. 29: 43 – 61.

Wang, F. y Li, S. 1997. Determination of the surface fractal dimension for porous media by capillary condensation. Industrial and Engineering Chemistry Research. 36: 1598-1603.

Weiss, J., Takhistov, P. y McClements, J. 2006. Functional materials in food nanotechnology. Journal of Food Science. 71(9): 107 – 116.

Wexler, A. 1976. Vapor pressure formulation for water in range 0 to 100oC. A Revision. Journal of Research of the National Bureau of Standards. *A. Physics and Chemistry* 80: 775-785.

Yamamoto, T., Endo, A., Inagi, Y. Ohmori, T. y Nakaiwa, M. 2005. Evaluation of the thermoporometry for characterization of mesoporous materials. Journal of Colloid and interface Science. 284: 614 – 620.

Ying, J. Y. 1999. Nanoporous systems and templates. Science Spectra. Vol. 18. pp. 56 – 63.

Zeller, B. L. y Saleeb, F. Z. 1996. Production of microporous sugars for adsorption of volatile flavors. Journal of Food Science. 61: 749-752, 756.

FAST DETERMINATION OF THE MOLAR MASS AND ROOT-MEAN-SQUARE RADIUS OF STARCH FROM DIFFERENT BOTANICAL ORIGIN BY ASYMMETRICAL FLOW FIELD-FLOW FRACTIONATION AND MULTIANGLE LIGHT SCATTERING

Mats Leeman, Stalin Santacruz*, Karl-Gustav Wahlund

Division of Analytical Chemistry, Department of Chemistry, Centre for Chemistry and Chemical Engineering, Faculty of Engineering LTH, Lund University, P.O. Box 124, SE-221 00 Lund, Sweden

*** Dirección actual: Universidad San Francisco de Quito, P.O. Box 17-12-841, Quito, Ecuador**

Keywords: Food engineering, molar mass distribution, size separation, field-flow fractionation, multi-angle light scattering

SUMMARY

Asymmetrical flow field-flow fractionation revealed to be a powerful tool for starch characterisation. Starch was dissolved by heat treatment at elevated pressure in a laboratory autoclave. A programmed cross flow starting at 1.0 ml/min and then decreasing exponentially with a ½-time of 4 min was utilised. The analysed starches showed two size populations with an overlapping region where amylose and amylopectin co-elute. The majority of the first population had molar masses below 10^6 g/mol, while the major part of the second size population had molar masses above 10^7 g/mol. Radii of gyration for the second population varied between 120 and 320 nm and the molecular conformation was found to be a compact sphere in some cases and a flexible chain structure in other starches. Large differences were found in molar mass and size distribution among varieties of the same starch and among starches from different botanical sources. MALS signal helped to revealed starch degradation in a sample solubilised for long time. The use of fresh dissolved samples together with high sample dilution into the channel reduced the risk for amylose aggregation during the analysis significantly.

INTRODUCTION

Starch has two main components, amylose and amylopectin. Amylose is mainly linear, composed of α-glucosyl units through 1→ 4 linkages. Amylopectin is a highly branched structure, where the branching points are formed by an α (1→ 6) linkage. Amylose has a weight-average molar mass (M_w) that varies between 10^5 to 10^6 g/mol, whereas amylopectin varies between 10^7 to 10^9 g/mol. The molar mass distribution of starches has been conventionally determined by size exclusion chromatography (SEC). However materials with extra large molecular weight as amylopectin elute in the void volume and may be partially retained in the column and also suffer degradation due to shearing forces. A unique analytical methodology called asymmetrical flow field-flow fractionation (AsFlFFF) is especially suited to analytical separation of bio-colloidal particles. The method is generally suited to size separations of colloidal particles between 2 to 500 nm. AsFlFFF is coupled with a light scattering molecular weight detection system that enables absolute determination of molecular weights and distributions from rather small macromolecules (~10^3 Da) up to extremely large ones (>10^9 Da), the latter being practically impossible to analyse by other methods.

Rather little is known about the use of asymmetrical flow field-flow fractionation in the characterization of starch. In the present study, starches from different botanical sources were characterized by their molar mass, molar mass distribution, molecular conformation, and radius of gyration. Moreover an analysis of the sources of error on the determination of such parameters was also performed.

MATERIALS AND METHODS

Starch samples

A large number of starches of different botanical origin were provided by various institutions and organisations participating in the "Øresund Starch Profile" which is a co-operation between Denmark and Sweden.

Sample preparation

Starch was dissolved by heat treatment at elevated pressure in a laboratory autoclave with a programmable temperature control unit. The dispersion was then heated from room temperature (approx. 25 °C) to 150 °C in approximately 15 min, then kept at 150 °C for 40 min (pressure around 17 bar), and after that cooled in a water bath to approximately 90°C and immediately analysed (within approximately 1 – 2 min).

Instrumental

The AsFlFFF instrument was an Eclipse F Separation System connected to a Dawn-DSP-MALS, laser wavelength of 632.8 nm, and an Optilab-DSP-RI detector, wavelength of 632.8 nm (Wyatt Technology, Germany). The AsFlFFF channel had a nominal thickness of 250 μm. The ultrafiltration membrane forming the accumulation wall was made of regenerated cellulose with a cut-off of 10 kDa (C010F, Nadir Filtration, Germany). 40 μl sample solution was injected followed by a 3-min focusing/relaxation step with a focusing flow rate of 1.0 ml/min. The cross flow started at 1.0 ml/min and then decreased approximately exponentially with a ½-time of 4 min. The channel outlet flow rate through the detector was 1.0 ml/min and the void time approximately 0.3 min.

RESULTS AND DISCUSSION

The analysed starches showed two size populations (Fig. 1). The first and second populations had molar masses below 10^6 g/mol and above 10^7 g/mol respectively. The second population had radii of gyration that varied between 120 and 320 nm with a molecular conformation of a compact sphere in some cases and a flexible chain in other starches.

A comparison of the RI fractograms from the three different maize starches (high amylose, normal amylose, and low amylose) in Figure 2 clearly shows that there was a larger absolute and relative amount of the first size population (presumed to be dominated by amylose) in high amylose maize, and a lower one in the high amylopectin maize in comparison to the normal maize. Conversely there was a lower absolute and relative amount of the second population in the high amylose maize and a higher one in the high amylopectin maize.

Tapioca starch showed two size populations in the RI fractograms (Fig. 3). The first population was eluted in the time interval 0.3 - 3.5 min whereas the second was eluted in the interval 3.5 - 13 min. The weight-average molar mass for the

first population was $5 \cdot 10^5$ g/mol and the size distribution was relatively narrow with $M_w/M_n = 1.4$. The second population was significantly more polydisperse with an M_w/M_n of 2.7, also reflected in the broad elution time distribution, and had a weight-average molar mass of $6.1 \cdot 10^7$ g/mol. The slope in the conformation plot for the 2nd population (amylopectin) was 0.47 being close to the values derived for flexible chain polymers (0.5 – 0.6). It therefore seems that the tapioca amylopectin had a rather flexible structure.

Pea starch showed two well-defined size populations in the RI fractogram (Fig. 3). The first population was eluted in the range 0.3 - 4.8 min and the second in 4.8 - 16 min. The weight-average molar mass for the first population, which constituted 39% of the sample mass, was $2.6 \cdot 10^6$ g/mol whereas it was $1.8 \cdot 10^8$ g/mol for the second, the average rms radius of which was 250 nm. The amylopectin in pea starch had a slope in the conformation plot of 0.36 which is close to that of a sphere (0.33). Therefore the pea amylopectin had a more compact structure than that of tapioca.

MALS signal helped to revealed starch degradation in a sample solubilised for long time. The use of fresh dissolved samples together with high sample dilution into the channel reduced the risk for amylose aggregation during the analysis.

CONCLUSIONS

The present work demonstrates the powerful properties of AsFlFFF – MALS – RI to generate a large number of molar mass and size distribution data for different types of starches in a short time thus making it suitable for screening of starch characteristics. Large differences in starch molar mass and size distribution among varieties of the same species and among different botanical sources were detected. Two size populations likely to contain mainly amylose and amylopectin, respectively, were found but they were partially overlapped. It seems interesting to further study, in some depth, any "intermediate" populations between amylose and amylopectin for which there are indications in this work and in the literature.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was financed by the project Øresund Starch Profile (ØSP) within Øforsk, headed by Denmark's Ministery for Science, Division of Technology and Development.

REFERENCES

Wahlund, K.G. 2000. "Field-Flow Fractionation Handbook". Wiley Interscience, New York.

Lou, J., Myers, M. and Giddings, J. 1994. J. Liq. Chromatogr. 17: 3239.

Roger, P., Baud, B., Colonna, P. 2001. J. Chromatogr. A. 917: 179.

Bruijnsvoort, M., Wahlund, K.G., Nilsson, G. and Kok, W.T. 2001. J. Chromatogr. 925: 171.

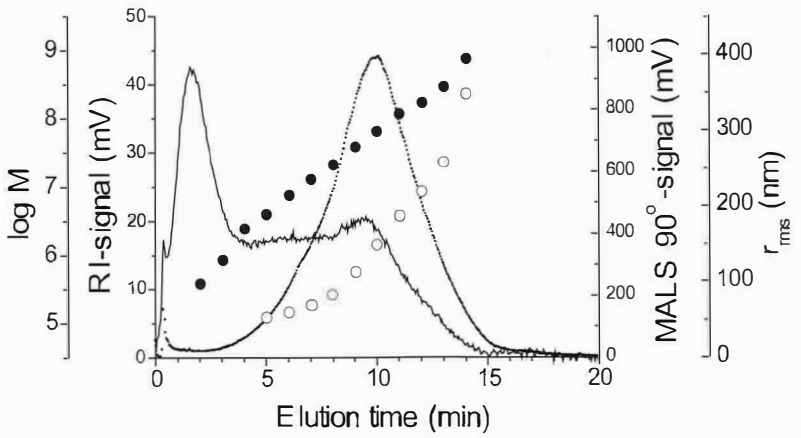


Figure 1. RI fractograms and MALS 90° fractograms of a maize starch of normal amylose content (maize-1). RI fractogram (continuous line), MALS 90° fractogram (dotted line), log M (filled circles) and r_{rms} (open circles)

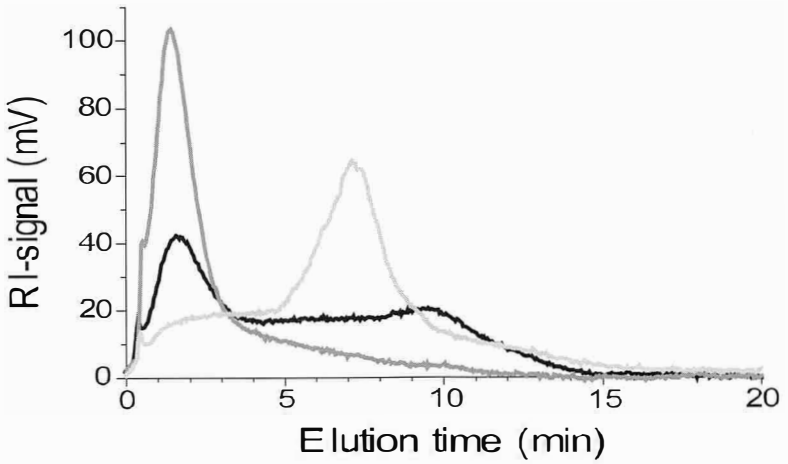


Figure 2. RI fractograms of three different maize starches . — high amylose, — normal amylose and — low amylose content.

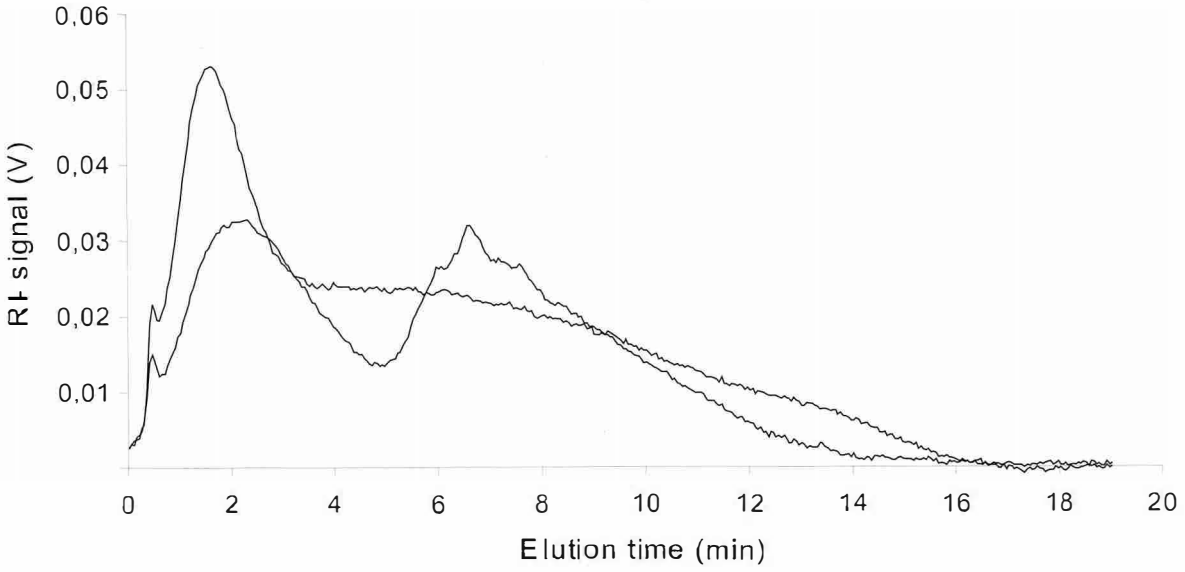


Figure 3. RI fractograms of tapioca-8 and pea-9 starches.

EVOLUCION Y PERSPECTIVAS DE LA INVESTIGACION EN EL ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS ESTABILIDAD MICROBIOLOGICA Y ENZIMATICA DE CREMOGENADOS DE FRUTAS TROPICALES

GUILLERMO SALAMANCA GROSSO

GRUPO DE INVESTIGACIONES MELLITOPALINOLOGICAS Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

PBX +57(8) 264 42 19 Fax +57(8) 264 48 69
B. Santa Helena A.A. 546 - Ibagué, COLOMBIA. Email: salamancagrosso@gmail.com

Palabras clave. Bienes alimentarios. Frutas Tropicales. Procesado. Cremogenados. Tecnología de alimentos. Propiedades Fisicoquimicas

Keywords: Food goods. Tropical fruit. Process systems. Juices. Puree. Food Tecnology. Physicochemical properties.

RESUMEN

ıs frutas son productos naturales que contienen principios tivos y nutrientes necesarios para el mantenimiento del etabolismo humano; éstas aportan vitaminas, carbohidratos, tioxidantes y minerales. Con la apertura de mercados y los ıómenos de globalización, la industria de los alimentos ha cursionado en el mercado de refrescos, néctares, compotas entre ros productos y para consumidores especializados; los zumos y emogenados de frutas igualmente se han posicionado como aterias primas para la elaboración de bebidas para deportistas, ultos e infantes. Como materias primas que son los emogenados, son susceptibles de deterioro. En este trabajo se ntemplan los aspectos relevantes al desarrollo de vestigaciones microbiológicas y estabilidad bioquímica y ;icoquímica que ha de ser considerada en el desarrollo de aterias primas para la industria a partir de frutas de la zona ıdina, Mesoamericana, Pacífica y Amazónica, además de las ;sibilidades de transformación y desarrollo de productos, es :cesario tener en cuenta el uso de altas presiones y métodos ectivos de conservación.

ABSTRACT

Fruits are natural products that contain current principles and necessary nutrients for the human metabolism maintenance. It bring vitamins, carbohydrates, antioxidants and minerals. With the opening of markets and the globalization phenomena, the food industry has made incursions into the market of refresments, nectars, baby foods, between other products and for specialized consumers. Fruit juices and pure have adopted an attitude as raw materials for the drink elaboration for sportswomen, adults and infants equally. Raw materials like puree and juice, are unstable an sensitive to biochemical deterioration. According to previous considerations, this paper consider the state of the art in microbiological research, physicochemical and biochemical stability relative to puree and fruit juices, that must be considered in future research for fruit belong to Andes, Amazonas, Mesoamerican or Pacific regions, besides the possibilities for new method like **High Pressure** Processing (HPP).

1. INTRODUCCIÓN

Las frutas son productos alimentarios que se han constituido en un reglón importante de la economía de algunos núcleos productivos con gran aceptación en virtud al aporte de nutrientes y principios activos necesarios en la regulación metabólica e indispensables para el crecimiento y mantenimiento vital del organismo humano. A pesar de su amplia distribución en la naturaleza, existen factores limitantes que afectan la vida en anaquel y con ello el valor económico que de ellas puede derivarse, esto obedece a acelerado metabolismo que causa inestabilidad y las consabidas pérdidas. Su madurez está coordinada con fenómenos fisiológicos que se acompañan de cambios bioquímicos, nutricionales y sensoriales conducentes al ablandamiento de su estructura, cambios indeseables en los atributos y pérdida de la fracción comestible. Las frutas frescas y los productos generados de éstas, han hecho posible el crecimiento de la industria de conservas, jugos, néctares y refrescos en general, posibilitado nuevos alimentos infantiles y productos para personas mayores.

La evaluación y caracterización de materias primas para proceso y los procedimientos para su conservación, son base y pilar fundamental de la evolución y desarrollo de la Ciencia y la Tecnología de los Alimentos. El papel privilegiado de esta disciplina reside en la importancia y trascendencia de la agricultura y del procesamiento primario de productos agropecuarios. Con los procesos de globalización y apertura de mercados, una gran cantidad de frutas de origen Amazónico, Tropical y Subtropical, se han revestido de importancia y han ganado reconocimiento en la industria de las bebidas refrescantes, Acerola, Curuba, Copazu, Jabotica, Mango, Lulo, Maracuyá, Papaya y Tomate de árbol, entre otras. Los zumos clarificados son los derivados de mayor demanda la industrias que elaboran y procesan frutas; adicionalmente se ha visto un crecimiento importante en el mercados de purés o cremogenados como se les conoce comercialmente.
Tradicionalmente los néctares y jugos de Manzana, Melocotón, Naranja y Pera, son los de mayor demanda en el mercado porque tradicionalmente se asociaron a las grandes producciones europeas y americanas. En la mayoría de los países con deficientes tecnologías y reducida asistencia técnica las pérdidas de frutas y productos perecederos, exceden el 50 y el 60% de la producción, éstas obedecen a la falta de infraestructura y desconocimiento de los procedimientos y técnicas de manipulación, almacenamiento y transformación. Las frutas por sí mismas son productos fisiológicamente perecederos con oferta de sustratos para diversos agentes microbiológicos que reducen su vida útil y causan deterioro en la calidad hasta hacerlos inaceptables. Las principales pérdidas

son causadas por daño mecánico al inicio de la cosecha y durante el transporte a las zonas de comercialización. La reducida capacidad asociativa entre los fruticultores, contribuyen de manera negativa en la mejora de condiciones y posibilidades para el sector.

2. LA POSCOSECHA

El ablandamiento excesivo de las frutas durante el proceso de maduración, induce inestabilidad en toda su estructura y ofrece condiciones para el desarrollo de microorganismos. Los carbohidratos, juegan un papel decisivo en este proceso, su despolimerización permite la formación de moléculas pequeñas e incremento de la actividad enzimática, la fracción de polisacáridos que componen las células y que son susceptibles de despolimerización son almidones de los tejidos de reserva, pectinas, celulosas y hemicelulosas. Las pectinas son comunes y frecuentes en las estructuras celulares, son responsables de la textura y calidad de las frutas. Su estructura corresponde a residuos de ácido galacturóico parcialmente metilados que se acompañan de unidades de azucares neutros. El grado de metilación polimerización por esterificación y proporción de residuos de azucares neutros definen la microestructura de las frutas. Las enzimas que degradan este tipo de estructuras son poligacturonasa, pectinmetilestearasas y ramnogalacturonasas. Los avances en biología molecular, han contribuido de manera especial en el entendimiento de los procesos asociados a la maduración de las frutas y se espera realizar manipulaciones genéticas del proceso de maduración.

La estabilidad de las frutas y productos hortofrutícolas, esta dado por su estado de madurez y condiciones de postcosecha. Los daños mecánicos y las prácticas deficientes de manejo inciden en el incremento de la actividad enzimática que es concomitante con la intensidad respiratoria y que deben controlarse cuando se establezca circunstancias de control cuando se transformen estas materias primas y se desarrollen nuevos productos. Son diversos los complejos enzimáticos que deterioran la calidad. Almeida, (1995); Avallone *et al* (2000); Marshall, (2000); Concellon, (2004); Casado-Vela, (2005); Baquero *et al*., (2005). Entre las enzimas de significación que deben ser consideradas en los estudios de frutas resaltan por su importancia el grupo de las lipoxigenasas (LOX´s), polifenoloxidasas (PPO´s), peroxidasas (POD´s) y Pectinasas (PE´s), presentando efectos diferenciados en cada preparado, que se incrementaran de manera progresiva en el tiempo y se verán inhibidas por efecto térmico y aplicaciones del frio. La importancia de la determinación de los niveles enzimáticos de PPO, POD y PE, radica en el efecto que causan estos sistemas sobre los tejidos vegetales intactos y/o dañados y por consiguiente en la efectiva utilización de métodos combinados para la prolongación de la vida útil de los productos. Las (LOX´s), actúan sobre ácidos grasos insaturados (*cis,cis*-), Pinto, (2003), con formación de hidroperóxidos, Migliorini *et al*, (2006); Serpen y Gökmen, (2006); Miller, (2003). Esta enzima presenta su mejor actividad a pH comprendido entre 5.5 y 6.0, además es estable a un pH de 4.5 a 8.0 si se mantiene a 2ºC. Miller, (2003). Desde el punto de vista de la calidad, la enzima incide en la generación de aromas, Gallardo *et al*, (2003); Lamikanra, (2002). El incremento de la actividad de (LOX´s), coincide con la reducción de la concentración de ácidos grasos insaturados, que podrían usarse como moléculas de referencia.

Las (PE), de otra parte desempeñan un rol significativo en la industria alimentaria, Da Silva *et al*, (2004).. En frutas, con reducidos estados de madurez se encuentra como protopectina, responsable de la dureza y al madurar, ocasiona la degradación parcial en una forma más soluble, Guillotin *et al*, (2006). Debido a la solubilidad parcial en frutos aun no madurados, produce aumento de viscosidad y dificultad para obtener rendimientos de zumo óptimos. El zumo es pobre en color y en componentes de sabor, es difícil de clarificar y de filtrar. Pero hay enzimas que pueden mejorar el proceso. Se pueden clasificar dependiendo de su actividad como desesterificantes y despolimerizantes, Nguyen *et al*, (2002); Lamikanra, (2002); Majumder y Mazumdar, (2005).

Las (POD), se asocian a las paredes celulares y actúan promoviendo su poder oxidante en algunos casos, deteriorando el acido ascórbico, Pinto (2003). Su actividad depende del material, la temperatura y pH. Esta se inhibe mediante calor, siendo una de las que precisan mayor temperatura y tiempo para inactivación, Laurila y Ahvenainen, (2002), que puede revertida con el tiempo, Simpson *et al,* (2007). Ampliamente distribuida tanto en ambientes solubles como insolubles, generan sabores y aromas a frutas frescas, Lamikanra, (2002). El pH adecuados para su actividad depende del sustrato 1.8, 8.5, 25 y 60ºC, Castro *et al*, (2006); Miller, (2003); aunque también ha sido reportada actividad bajo condiciones de congelación, Cano *et al*, (1998). Las enzimas POD en vegetales usualmente tienen alta estabilidad térmica dependiendo de su naturaleza y son usadas como indicadores de eficiencia de tratamientos térmicos, Guiavarc'h *et al*, (2004); Bertoloni *et al*, (2006); Buckow *et al*, (2007). Respecto de (PO) éste es un grupo de proteínas, que comprenden un complejo de metaloenzimas, que utiliza como sustrato compuestos fenólicos, es responsable del pardeamiento en muchos casos, Rocha *et al*, (1998); Gil *et al*, (1998); Vora *et al*, (1999); Casado-Vela, (2005).

En algunos frutos se han observado cambios de color producidos como consecuencia del procesado, inducidos por la actividad de (POD), vinculada a procesos Lamikanra y Watson, (2001). Existen tres factores considerados como indispensables en la evolución del pardeamiento enzimático, una de ellas la presencia de (PO), concentración adecuada de oxigeno y un sustrato adecuado; La restricción a uno de éstos factores, presupone la reducción del pardeamiento y deterioro, Laurila y Ahvenainen, (2002); Chen *et al*, (2003). El pardeamiento no afecta de igual manera a todos los tejidos vegetales, en algunos casos no aparece y en otros su presencia se hace notoria cuando hay cambios térmicos sobre todo en la descolegalcion o en el propio congelamiento. Los alimentos ricos en fenoles y pobres en ácido ascórbico son susceptibles al pardeamiento, que a su vez depende del grado de las variedades y estados de maduración, Guillotine *et al*, (2003). El pardeamiento enzimático se suele reducir, mediante inactivación térmica de las enzimas, uso de atmosferas modificadas o reducción del pH, Gil *et al*, (1998); Laurila y Ahvenainen, (2002); Casado-Vela, (2005). La eliminación de uno de los componentes de la reacción enzimática sugiere el empleo empaques compactos que inhiban el contacto de las frutas y vegetales con sistemas enzimáticos activos y el oxigeno presente en el aire, acompañado de otras técnicas como el empacado al vacío, el uso de gases inertes dentro de atmósferas modificadas o la inmersión de la frutas en líquidos de cobertura, ya sean propios o artificiales como soluciones de sacarosa, que a su vez realzan el aroma y el sabor del fruto, Chen *et al*, (2003); Simpson *et al*, (2007); Chonhenchob *et al*, (2007).

El uso de tratamientos térmicos, puede ir desde aquellos leves que buscan la cristalización de la fracción acuosa, Ramos *et al*, (2005), hasta temperaturas de almacenamiento cercanas a los -18ºC, aunque la enzima no se inactive. También, se han recomendado el escaldado, a temperaturas entre 80 y 100ºC, por 5 a 10 minutos, que dependen del volumen de la carga para inactivar totalmente las enzimas. En algunos casos el escaldado es previo al congelamiento, Tijskens *et al*, (2001); Casçao *et al*, (2002); Verlent *et al*, (2004). Entre los métodos usados para reducir el pardeamiento se dispone de la electrodiálisis y ultrafiltración, Casçao *et al*, (2002); Mercier & Fonade, (2002); Butterworth *et al*, (2002). Las altas presiones son consideradas como alternativas a los tratamientos térmicos para la inactivación de microorganismos y enzimas; alcanzando para el caso de la PPO presiones de 400-500 MPa, lo cual la hacía poco atractiva, pero que ha ganado importancia tecnológica, Velásquez *et al*, (2001,2005).

La adición de antioxidantes y citoquinonas previene la senescencia e inhibe la actividad de la lipoxigenasa, actividad que se ve incrementada en tejidos viejos. La actividad enzimática de la LOX's, esta involucrada con el desarrollo de tejidos en plantas y como mecanismo de defensa entre agentes patógenos e insectos, debido a la acción del ácido jasmónico y el metíl jasmonato, Lamikanra, (2002). Entre los tratamientos químicos usados para reducir el pardeamiento se ha recomendado el uso del dióxido de azufre, pero con restricciones para cada país según sea la legislación, Nicolas *et al*, (2003). Actualmente se usan distintos agentes que actúan como inhibidores, entre ellos el ácido ascórbico (reductor); EDTA (quelante), las ciclodextrinas (complejantes), el 4-hexilresorcinol (inhibidor enzimático), los ácidos cítrico y acético (reductores de pH), Laminkara, (2002); Laurila y Ahvenainen, (2002) y Metin *et al*, (2006); Ramirez, (2007); Vasquez-Caicedo *et al*, (2007). En frutos tropicales se desconoce la actividad e intensidad de grupos enzimáticos, haciéndose necesario generar iniciativas para cualificar nuestras materias primas, definir sus fortalezas para afrontar sistemas de procesado más convenientes.

4. ESTABILIDAD MICROBIOLÓGICA

La materia prima utilizada en la elaboración de cremogenados de frutas contiene distintos géneros y especies de microorganismos. Las bacterias, mohos y levaduras son las más frecuentes, la viabilidad y actividad de estos agentes microbianos depende de la composición y disponibilidad de sustratos, que pueden ofrecer condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo o bien presentarse como un mal sustrato inhibiendo su desarrollo. Además de las condiciones nutritivas, el pH juega un papel primordial como factor seleccionador y como retardante o inhibidor de crecimiento. Se han aislado numerosos géneros de bacterias, principalmente *Leuconostoc* y *Lactobacillus*, *Gluconobacter* y Acetobacter, como también bacterias esporuladas del género *Bacillus*. Siendo los más frecuentes los géneros *Lactobacillus, Gluconobacter* y *Bacillus* con una distribución porcentual de 55.4, 10.3 y 34.3% respectivamente. La presencia de levaduras, dependen del tipo de fruta.

Son diversos los estudios sobre flora microbiana presentes en pulpas, zumos y néctares. Pao, *et al* (1997), determinaron la estabilidad microbiológica de frutas de cítricos mínimamente procesados, a diferentes temperaturas, fijando bajos niveles de aerobios totales y altas levaduras. Silva & Gibbs (2001), centraron su trabajo sobre géneros de levaduras de diferentes jugos de frutas. Otras investigaciones, describen los zumos y cremogenados de frutas como una parte importante de las dietas modernas de muchas comunidades, en las cuales han usado estándares microbiológicos para demostrar la mala manipulación y la baja calidad de los productos comercializados identificando microorganismos causantes de enfermedades en humanos. Pinheiro, *et al* (2006), ha realizado estudios microbiológicos de jugos de frutas tropicales, cuantificando coliformes, levaduras y termófilos. Voon, *et al*, (2006), analizaron frutos de Durian (*Durio zibethinus*), en condiciones de mínimo proceso, identificando que a 4°C y 14 días, la fruta permanecía estable.

En los zumos y cremogenados de manzana, se han detectado diversos tipos de levaduras (*Candida, Torulopsis, Rhodotorula, Brettanomyces* y *Cryptococcus*,); en jugos de manzana fermentados (*Saccharomyces, Pichia, Hansenula, Debaryomyces*), en zumos de uva (*Saccharomyces, Zygosaccharomyces, Hanseniaspora, Pichia, Torulaspora*, y *Debaryomyces, Kloeckera apiculata*). En conservas de frutos tropicales (*Schizosaccharomyces* y *Zygosaccharomyces*). Actualmente se ha llamado la atención en el efecto que causan las bacterias lácticas y acéticas, (*Lactobacillus* y *Leuconostoc*). Los *Lactobacillus*, que predominan son heterofermentativos, que usan azucares como sustratos para mantener su metabolismo. Estos agentes pueden actuar en anaerobiosis siendo además tolerantes a la acidez (pH de 3.0 a 3.5). *Gluconobacter* también puede se causante de algunas alteraciones, estos microorganismos son estrictamente aerobios e inducen incrementos de acidez (láctico, acético o glucónico). Otros agentes microbianos de especial control son *Penicillium, Aspergillus, Cladosporium* y *Byssochlamys*. En zumos industriales se han identificado *Penicillium expansum, Byssochlamys fulva, B. nivea* y *Aspergillus fumigatus*.

Los estudios sobre incidencia de levaduras en derivados de frutas apuntan a *Saccharomyces cerevisiae,* como una de las especies más frecuentemente aisladas de derivados de fruta. Las contaminaciones por levaduras pueden presentarse en las distintas fases de elaboración de los zumos y cremogenados, aunque frecuentemente son responsables de fermentaciones durante el almacenamiento, aún cuando los productos se mantengan en refrigeración, ya que algunas especies pueden desarrollarse a bajas temperaturas. Algunos investigadores, han demostrado que las levaduras que forman ascosporas tienen mayor resistencia al calor que las que no las forman. Sin embargo, las esporas de las levaduras son mucho menos resistentes al calor que las esporas bacterianas.

Para el caso de cremogenados de frutas tropicales se sugiere centrar la atención en la actividad y deterioro de bacterias lácticas y acéticas. El crecimiento de mohos en zumos y cremogenados, puede originar alteraciones en el color como consecuencia de la difusión y destrucción de los pigmentos naturales, con acumulación de agentes toxigénicos que representan un serio problema de salud para los consumidores. Los zumos y cremogenados de frutas son los productos que mejor cubren las necesidades de las levaduras en lo referente a pH, condiciones nutritivas y oxígeno. Las alteraciones producidas por el crecimiento anaerobio de levaduras se caracterizan por la producción de dióxido de carbono y alcohol etílico, originados por la fermentación de los azúcares. También, originan turbidez y sedimentos, películas y agregados, que degradan ácidos orgánicos (incrementando el pH), liberan aromas. Los factores más importantes que controlan la velocidad de los cambios deterioriativos y la proliferación de los microorganismos en los alimentos son la disponibilidad de agua, el pH y la temperatura. La estabilidad microbiológica de un cremogenado está función de la proporción de agua disponible para las actividades metabólicas de los organismos. En frutos amazónicos y de zonas tropicales la literatura es limitada o inexistente.

5. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

Las propiedades reológicas de los alimentos fluidos es crucial en el desarrollo, diseño y evaluación de equipos para sistemas de procesado entre ellos calculo de bombas, tamaño y longitud de tubería, cambiadores de calor, evaporadores, esterilizadores y mezcladores entre otros. Adicionalmente se han considerado como una herramienta analítica tendiente a la valoración de la estructura integral de los componentes de una matriz. Son diversos los factores que afectan el comportamiento reológico de zumos y cremogenados de frutas, la temperatura, la concentración de sólidos totales y solubles, el tamaño de partícula y la presencia de emulsificantes, estabilizantes, actividad enzimática y el pH entre otros.

Las pulpas, zumos y purés concentrados exhiben propiedades dependientes del tiempo y son flujos que dependen del esfuerzo y tensión de cizalla aplicados. Los zumos por su parte, dependiendo de la concentración de sólidos totales exhiben comportamiento newtoniano. Diversos modelos reológicos has sido usados para representar el comportamiento de flujo de los alimentos líquidos purés zumos y concentrados de frutas, Steffe, (1996). Los modelos de Oswald de Waele (Con dos parámetros índice de flujo y consistencia), es el más empleado, aunque se han citado casos de aplicación de los modelos de Casson (con dos parámetros límite de fluencia y índice de viscosidad), Herschel-Bulkley y Mizrahi–Berk (con tres parámetros, coeficiente de consistencia, índice de flujo, y límite de fluencia), que han sido usados indistintamente en el estudio y comportamiento de frutas procesadas, se han descrito aplicaciones en la caracterización de Acerola Silva, (2005),

Albaricoque, Costell, *et al.* (1982), Butia, Fresa, Melocotón, Mango Gunjal, *et al.* (1987); Bhattacharya *et al.* (1998,1999); Khandari, *et al.* (2002), Branco y Gasparetto, (2003); Vidal, Pelegrini y Gassparetto, (2004); Salamanca *et al*, (2006), Papaya, Ahmed y Ramaswamy, (2004), Kiwi, Ibartz, *et al.* (1997), en jugos clarificados y concentrados de Banana, Khalil, *et al,* (1989), Maracuyá, Ibartz, *et al.* (1997), Naranja, Tomate. En cremogenados y zumos el espectro asociado a su comportamiento reológico es amplio, si se tienen en cuenta además de las consideraciones anteriores los estados de madurez de las frutas de origen y las variedades para el caso de productos potenciales elaborados con frutos tropicales se desconocen estas propiedades, por ello es prioritario avanzar en ese sentido.

En cuanto al color el tema es bastante amplio, en virtud a que el efecto de un sistema de procesado en concreto afecta esta importante propiedad sensorial. En el mercado existe diversidad de productos con muy buena presentación en cuanto a empaques pero con una calidad deficiente. La investigaciones asociadas al color usualmente se asocian con cinéticas de orden cero y primer orden Ibartz, *et al.* (1997); Ávila y Silva, (1999); Icier, *et al.*, (2006); Ahmed *et al.* (2004). La evolución de estos cambios se puede monitorear a través de la variación de los parámetros L, *a**, *b** y C del sistema Hunter, CIELAB, (1976). Ahmed, *et al.* (2002), ha evaluado la degradación de purés de mangos indues, a través de combinaciones apropiadas de L, L*a**; L*b**, L/*a*b**

5.1 Actividad antioxidante.

La investigación sobre actividad antioxidante cada vez cobra una mayor importancia y las frutas son fuente importante de ellos. Los procesos degenerativos se han relacionado con la acción de especies reactivas de oxígeno (OR) que deterioran las estructura celulares. Entre las especies (OR) se distinguen los superóxidos ($O2^{-}$), oxigeno singlete ($^{1}O_2$), los peróxidos (peroxiácidos) y el radical hidroxilo ($^{\cdot}OH$) entre otros; en su actividad, disgregan las estructuras de las proteínas y fosfolípidos poliinsaturados de las membranas celulares, Jiménez, (2002); Araya, *et al.* (2006). En éstas determinaciones de actividad antioxidante (AAO) y antocianos totales (AT), se ha sugerido el test de Trolox y ácido ascórbico como antioxidante de referencia, además de las pruebas con DPPH, ABTS y DMPD, Kukoski, *et al.* (2005). En la estimación de (AT), se usa la técnica de diferencias por pH (usando sistemas tampón: ácido clorhídrico/cloruro de potasio de pH 1.0 (0.025 M) y ácido acético/acetato sódico de pH 4.5 (0.4 M), sobre extractos de cremogenados de frutas. La concentración de DPPH en el medio de reacción se calcula a partir de una curva de calibrado obtenida por regresión lineal. Los resultados se expresan como actividad equivalente a Trolox (µM/g de muestra peso fresco). El efecto benéfico en el consumo de frutas se atribuye principalmente a los polifenoles, la vitamina C, los carotenoides y la vitamina E, por su acción antioxidante. En general, las frutas son los vegetales más ricos en compuestos polifenólicos, pero algunas frutas los contienen como antioxidantes en mayor concentración. En la actualidad se desconocen los niveles asociados a polifenoles de muchas de las frutas tropicales, haciéndose necesario avanzar sobre ese particular. En la literatura se describen estudios sobre oxidación de moléculas biológicas, membranas y tejidos, inducida por el oxígeno activo y mediada por radicales libres que se relaciona con un aumento e incidencia de patologías digestivas, Auroma (1999).

5.2 Sistemas de procesado

En general las frutas, pueden ser transformada en una amplia gama de productos, o ponerse a disposición de la industria como materias primas semi-elaboradas, que requieren de transformaciones adicionales en el desarrollo de productos de consumo y que llevan asociadas diluciones, concentración, adición de persevantes, espesantes, además de operaciones de centrifugación y pasteurización entre otras para, verificar la inocuidad de los productos disponibles para mercados y consumidores cada vez más exigentes.

Tanto en el procesado como en el almacenamiento, las propiedades de los derivados de fruta pueden resultar deterioradas. En general, dichos productos son sometidos a tratamientos térmicos para inhibir el desarrollo microbiano y alargar su conservación y vida útil. Sin embargo, esto lleva asociado toda una serie de modificaciones en sus componentes que afectan sensiblemente las propiedades organolépticas, entre otras la textura, el color, el flavor (sabor y aroma), pérdida y modificación de los nutrientes que son concomitantes con el tipo de proceso al cual puedan ser sometidos los materiales para su conservación y protección. Las frutas pueden ser consideradas como alimentos de alta humedad (AH), en éstos como en los de humedad intermedia la actividad de agua (a_w) que debe ser reducida para prolongar su vida útil. Entre otras operaciones preliminares usadas para la reducción de la actividad de agua se destaca la deshidratación osmótica (OD), sobre las cuales se han descrito cientos de aplicaciones con retención de las propiedades organolépticas y en algunos casos preparación de productos para alimentos funcionales, además de su valor nutritivo. Todos estos cambios disminuyen la calidad del producto y en momentos de competencia máxima entre las industrias de todos los países, la calidad es una de las mayores prioridades a tener en cuenta. Por tanto, se puede afirmar que los principales tipos de deterioros, en cualquier alimento, se producen por los cambios en la textura, en color, el olor, sabor y en pérdidas de nutrientes. Las frutas y sus cremogenados de alguna manera, pueden ser considerados como alimentos nutracéuticos, cuyas propiedades deben preservarse convenientemente.

La incursión de los métodos de alta presión hidrotática (HHP), ofrece algunas ventajas respecto de los tratamientos térmicos convencionales, ya que en el proceso no deforma el alimento debido a que la presión se transmite de forma uniforme e instantánea, además es independiente del volumen y de la forma de la muestra, lo que reduce el tiempo requerido para procesar grandes cantidades de productos. En la aplicación de (HHP), se eliminan los efectos negativos de los tratamientos térmicos en muchos compuestos sensibles al calor, como las vitaminas y aromas, trayendo una mayor retención de sabor y propiedades similares a las de los alimentos frescos. No obstante las condiciones de proceso deben seleccionarse adecuadamente debido a que en algunos casos se pueden producir efectos contrarios al deseado por efectos desencadenantes del pool de enzimas específicas, que eventualmente podrían degradar los principios activos, Rovere, *et al.* (1996); Quaglia, *et al.* (1996); Sancho, *et al.* (1999); Krebbers, *et al*, (2002).

En el diseño de productos y procesos agroalimentarios, es frecuente acudir a las herramientas estadísticas de diseño robusto y experimental para la valoración y optimización de mezclas de varios componentes o ingredientes. Esta tarea fundamentalmente corresponde a los Departamentos de Investigación y desarrollo (I+D), donde se toman decisiones de carácter interdisciplinar y ajustados a las políticas de las compañías procesadoras y generadoras de nuevos productos. En la elaboración de jugos, néctares, conservas, compotas, mermeladas, cremogenados o yogures, se requiere encontrar la mezcla óptima de ingredientes que permita generar las mejores características organolépticas, físicas, reológicas o químicas, aun más económica, cuando alguno de los ingredientes es muy costoso, Braco y Gasparetto (2003); Álvarez y Salamanca, (2007).

Diversas investigaciones en el área de alimentos, se han orientado al estudio de mezclas con restricciones y con variables de proceso, Thompson y Myers (1968); Snee, 1971; Cornell, (1973,1983,1986). En la industria de alimentos se ha venido aplicando desde la década de los 70´s, el primer trabajo fue reportado por Henika y Palmer (1976) en mezcla de cereales. Igualmente se han valorado mezclas y proporciones para Melón, Piña y Naranja en la preparación de postres

comerciales. Huor, Ahmed y Cornell, (1981). Igualmente se han usado estrategias a través de modelos de superficie de respuesta en tortas de concentrado y mezclas, Jhonson y Zabick, (1981); Khuri y Cornell, (1987). En la última década las aplicaciones en la industria de alimentos han crecido significativamente, a tal punto que en casi todas las revistas técnicas en alimentos, se reportan aplicaciones con diseño de mezclas. En los experimentos con mezclas los factores son las componentes o ingredientes de una mezcla por lo tanto sus niveles no son independientes.

El uso de los cremogenados como base para la elaboración de los productos, presenta ventajas definidas, respecto a las demandas de los consumidores actuales. Para el caso colombiano, la evaluación de las propiedades fisicoquímicas, asociadas a la zona Andina, Mesoamericana, Pacifica y Frutos Amazónicas, de gran atención no solo por ser exóticas sino por su valor nutricional. Estas frutas podrían comercializarse como cremogenados estabilizados y son potenciales para la demanda de nuevos productos a nivel local, regional y nacional. La investigación de cremogenados implica el establecimiento de las propiedades fisicoquímicas de las frutas, estabilidad microbiológica y enzimática que debe ir acompañada de procesos de pasteurización, aplicación de altas presiones o aplicar técnicas no convencionales.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Fundación Carolina el apoyo financiero en el desarrollo del proyecto: Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de cremogenados de frutas tropicales y la estancia a la Universidad Pública de Navarra en el Departamento de Tecnología de Alimentos. A si mismo expresa su gratitud al equipo de trabajo y miembros del grupo de investigaciones y administración central de la Universidad del Tolima. Al comité técnico y científico de la Universidad Técnica de Ambato por sus consideraciones.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Ahmed, J.; Shivhare, U.; Kaurr, M.;. 2002. Thermal colour degradation kinetics of mango purre. International journal of food properties. 5(2):359-366.

Ahmed, J.; Shivhare, U.; Singh, P. 2004. Colour kinetics of coriander leaf puree and storage characteristics of paste. Food Chemistry. 84:605-611.

Almeida. M. E.; Nogueira. J. N. 1995. The control of polyphnol oxidase activity in fruits and vegetables. A study of the interactions between the chemical compounds used and heat treatment. Department of Food Technology, FEA-UNICAMP, Campinas, SP, Brazil. In: Plant Foods Hum Nutr. (47), 3:245-256.

Álvarez, R.; Salamanca, G. G. 2007. Valoración metodológica para el estudio de mezclas ternarias en sistemas alimentarios. Proceeding. VI Congreso iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. Por una mejor utilización de nuestros inmensos bienes alimentarios. Ambato Ecuador. Universidad Técnica de Ambato.

Araya, H. L.; Clavijo R. C.; Herrera, C. 2006. Capacidad antioxidante de frutas y verduras cultivados en Chile. Archivos Latinoamericanos de nutrición. (56), 4:361-365.

Auroma O.I. 1999. Conceptualization of the Prooxidant and Antioxidant Actions of Plant Food Chemicals. En Phytochemicals and Phythopharmaceuticals. AOCS. Press. Champaign, Illinois, 32-46.

Avallone. C. M.; Cravzov. A. L.; Montenegro. S. B.; Pellizzari. E. 2000. Estudio de la actividad polifenoloxidasa y proxidas en *Carica papaya* L. mínimamente procesada. Universidad Nacional del Nordeste UNNE. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Argentina.

Avila, I.M.; Silva, C.L. 1999. Journal of Food Engineering. (39):161-166.

Baquero. L. E.; Castro. J. A.; Narváez. C. E. 2005. Catalase, Peroxidase and Polyphenoloxidase from Pitaya Amarilla (*Acanthocereus pitajaya*) Fruits: Ripening and Senescente. In: Acta biol. Colomb. (10). 2:49-60.

Bertoloni, G; Bertucco, A; De Cian, V; Parton, T. 2006. A study on the inactivation of micro-organisms and enzymes by high pressure CO_2 *Biotechnology and Bioengineering.* (*95*), *1:*155-160.

Braco, I. G.; Gasparetto, C. A. 2003. Aplicação da metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e censura. Ciência e Tecnologia de Alimentos. 23. supl.

Buckow, R; Weiss, U; Heinz, V; Knorr; D. 2007. Stability and catalytic activity of α-amylase from barley malt at different pressure-temperature conditions. *Biotechnology and Bioengineering* (*97*), *1:*1-11

Butterworth, T.A; Wang, D. I. C; Sinskey, J. 2002. Application of ultrafiltration for enzyme. Retention during continuous enzymatic reaction *Biotechnology and Bioengineering* (12) 4:615–631.

Cano, M.P., Lobo, M.G. and Ancos, B. 1998. Peroxidase and polyphenol oxidase in long-term frozen stored papaya slices. Differences among hermaphrodite and female papaya fruits. *J. Sci. Food Agric* (76):135–141.

Casado-Vela. J.; Sellés. S.; Bru. R. 2005. Purification and kinetic characterization of polyphenol oxidase from tomato fruits (*Lycopersicon esculentum* cv. Muchamiel). Universidad de Alicante. In: Journal of Food Biochemistry. (29). 381.

Casçao, L.G; Hicke, A; Radke, C.J; Blanch, H.J. 2002. A kinetic model for enzyme interfacial activity and stability: pa-hydroxynitrile lyase at the diisopropyl ether/water interface. *Biotechnology and Bioengineering* (78), 6:595-605.

Castro, J; Baquero, L; Narvaez, C. 2006. Catalasa, peroxidasa y polifenol oxidasa de pitahaya amarilla (*Acanthocereus, pitajaya*). *Revista Colombiana de Quimica.* (35), 1:91-101.

Chen, S. C.; Lin, C.-A.; Fu, A.-H.; Chuo, Y. W. 2003. Inhibition of microbial growth in ready-to-eat food stored at ambient temperature by modified atmosphere packaging *Packaging Technology and Science.* (16), *6:*239-247

Chonhenchob, V, Chantarasomboon, Y; Singh, P. 2007. Quality changes of treated fresh-cut tropical fruits in rigid modified atmosphere packaging containers *Packaging Technology and Science* (20), 1:27-37.

Concellon. A.; Anon. M. C.; Chaves. A. R. 2004. Characterization and changes in polyphenol oxidase from eggplant fruit (*Solanum melongena* L.) during storage at low temperature. In: Food chemistry. (88), 1:17-24.

Cornell, J. A. 1973. Experiments with Mistures: A review. Technometrics. 15:437-455.

Cornell, J. A. 1983. Experiments with Mixtures: Design, Models and the Analysis of Mixture New York John Wiley.

Cornell, J. A. 1986. A Comparison Between Two Ten-Point Deisgns for Studing Three Components Mixtures System. Journal of Quality Technology. 18:1-15.

Da Silva, C; Silveira, M; Riveros, R; Zeni, M. 2004. Concentración de pectinasas por ultrafiltración con membranas de polisulfonas. *Revista Iberoamericana de Polimeros.* (5):3.

Gallardo, L; Jarén, M; Hornero, D; Minguez, M. 2003. Evidence for the involvement of lipoxygenase in the oxidative processes associated with the appearance of green staining alteration in the Gordal olive. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* (*83*), *14:*1487-1492.

Gil, F.I; Artés, F; Castañer, M. 1998. Enzymatic browning in minimally processed fruit and vegetables. *Food science and technology. international* (*4*), *6:*377-389.

Guiavarc'h, Y; Loey, V.A.; Zuber, F; Hendrickx, M. 2004. Development characterization and use of a high-performance enzymatic time-temperature integrator for the control of sterilization process' impacts. *Biotechnology and Bioengineering* (88), *1:*15-25.

Guillotin, S; Kampen, J; Boulenguer, P; Schols, H; Voragen, A. 2006. Degree of blockiness of amide groups as indicator for difference in physical behavior of amidated pectins. Biopolymers (82), 1:29–3.

Henika, R. G.; Palmer, G. M. 1976. Response Surface Methodology: Revisited. Cereal Food Science. Vol 21:432-445.

Huor, S. S.; Murphy, E.; Reed, Cornell, J. A. 1981. Formulation and Sensorial Evaluations of a Fruit Punch Containing

Watermelon Citrullus Lanatus Juice. Journal of Food Science. 45:809-813.

Ibartz, A.; Martin, O.; Barbosa-Cánovas, G. 1997. Non-enzymatic browning kinetics of concentrated pear juice. Food Science and Technology International. (3):213-218.

Icier, F.; Yildiz, H.; Baysal, T. 2006. Peroxidase inactivation and colour changes during ohmic blanching of pea puree. Journal of Food Engineering. (74):424-429.

Jiménez, A.; Gómez, J. M.; Navarro, E.; Sevilla, F. 2002. Changes in the antioxidative system in mitochondria during ripening of pepper fruits. *Plant Physiol. Biochem.* (40):515-520.

Jonson, T. M.; Zabik, M. E. 1981. Response Surface Methodology for Analysis of Protein Interaction in Angel Food Cakes. Journal of Food Science. 46:1226-1230.

Khuri, A.; Cornell, J. A. 1987. Response Surfaces: Design and Analysis Marcel Deckker. Inc. New York.

Komitopoulou. E.; Ioannis. S.; Boziaris. E.; Davies. A.; Delves-Broughton. J. Adams. 1999. *Alicyclobacillus acidoterrestris* in fruit juices and its control by nisin. In: International Journal of Food Science & Technology. (34):84.

Krebbers, B.; Matser, A. M.; Koets, M.; Van den Berg, R. W. 2002. Quality and storage-stability of high-pressure preserved green beans. J Food Engin. (54):27-33.

Kuskoski. E. M.; Troncoso. A. M.; Asuero, A. G. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. In: Cienc. Tecnol. Aliment. (25),4:726-732.

Lamikanra O, Watson, M.A. 2001. Cantoloupe melon peroxidase: characterization and effects of food additives on activity. *Nahrung/Food*, 44:168-172.

Laminkara, O. 2002Fresh-cut fruits and vegetables: science, technology and market. CRC Press.

Laurila, E; Ahvenainen, R. 2002. Fruit and vegetable processing: improving quality. Minimal processing of fresh fruits and vegetables. CRC Press.

Majumder. K.; Mazumdar, B.C. 2005. Ethephon-induced fractional changes of pectic polysaccharides in developing cape gooseberry (*Physalis peruviana* L) fruits. *Journal of the Science of Food and Agriculture* (85), 7:122-1226

Marshall. R.; Kim. J.; Cheng-I. W. 2000.Enzymatic Browning in Fruits, Vegetables and Seafoods. Food Science and Human Nutrition Department. University of Florida USA. FAO.

Mercier, M; Fonade, C. 2002. Enzyme recovery during gas/liquid two-phase flow microfiltration of enzyme/yeast mixtures. *Biotechnology and Bioengineering*. (80), 6:610 -621.

Metin, K; Ateslier, B.B.; Basbulbul, G.; Biyik, H. 2006. Characterization of esterase activity in *Geobacillus* sp. HBB-4. *Journal of Basic Microbiology*. (46), 5:400-409

Migliorini, M; Mugelli, M; Cherubini, C, Viti, P, Zanoni, B. 2006. Influence of O_2 on the quality of virgin olive oil during malaxation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. (86), 13:2140-2146.

Miller, D. 2003.Química de alimentos. Manual de laboratorio. Ed. Limusa Wiley. México.

Nguyen, B.L; Loey, V.; Fachin, D.; Verlent, I.; Hendrickx, M. 2002. Purification, characterization, thermal, and high-pressure inactivation of pectin methylesterase from bananas (cv Cavendish). *Biotechnology and Bioengineering*. (78), 6:683-691.

Nicolas, J; Billaud, C; Rouet-Mayer, R; Philipon, J. 2003. Enzymatic, technical aspects and assays. *Elsevier Science* 686-692.

Pao. S.; Wilbur. W.; Petracek. P. 1997. Effects of cutting on juice leakage, microbiological satability and bitter substances of peeled citrus. In: U. Technol. (30):670-675.

Pinheiro. A.; *et al*. 2006. Chemical, physico-chemical and microbological evaluation of single strenght fruit juices: pineapple, cashew apple and passion. In: Cienc. Tecnol. Aliment. Campinas. (26):1.

Pinto, E. 2003.Análisi bioquímica i quimiométrica dels diferents factors implicats en el desenvolupament del color marró i del llocat de la pera blanquilla. Tesis de doctorado. Universidad de Lleida. España.

Quaglia, G. B.; Gravina, R.; Paperi, R.; Paoletti, F. 1996. Effect of high pressure treatments on peroxidase activity, ascorbic acid content and texture in green peas. Lebensm Wiss u Technol (29):552-555.

Ramirez, A,C.; Santoyo, S.; Reglero, G.; Soler, C. 2007. Radical scavenging activities, endogenous oxidative enzymes and total phenols in edible mushrooms commonly consumed in Europe. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. (87), *12*:2272-2278.

Ramos, F. A.; Delgado, J. L.; Bautista, E.; Morales, A. L.; Duque, C. 2005. Changes in volatiles with the applications of progressive freeze-concentration to Andes berry (*Rubus glaucus* Benth). Journal of food Engineering. (69):291-297.

Rocha, A; Cano, M; Galeazzi, M; Morais, A. 1998. Characterization of 'Starking' apple polyphenoloxidase. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. (77), 4:527-534.

Rovere, P.; Tosoratti, D.; Maggi, A. 1996. Sterilizing trials to 15000 bars to obtain microbiological and enzymatic stability. *Ind Aliment*. (35):1062-1065.

Salamanca, G. G.; Díaz. C.; Salazar. B.; Peña. E.; Forero. F. 2006.Evaluación de las propiedades mecánicas asociadas a frutos de mango (*Mangifera indica L.* Var *Magdalena river – Hilacha)*. En: Propiedades fisicoquímicas y sistemas de procesado: productos hortofrutícolas en el desarrollo agroalimentario. Ibagué Colombia.

Salamanca, G. G.; Forero, F.; Salazar, B., Díaz, C. 2007. Avances en la caracterización, conservación y procesamiento del mango (*Mangifera indica* L.) en Colombia. Revista Tumbaga. Universidad del Tolima.

Sancho, F.; Lambert, Y.; Demazeau, G.; Largeteau, A.; Bouvier, J. M.; Narbonne, J. F. 1999. Effect of ultra-high hydrostatic pressure on hydrosoluble vitamins. Food Engin. (39):247-253.

Scheffé, H. 1963 "The Simplex-Centroide Design for Experiments with Mixtures" Journal of the Royal Statistical Society. Ser. B. 25: 235-263.

Silva, F.; Gibbs, P. 2001. *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in fruit products and design of pasteurization processes. In: Food Science & Technology. 12, 2:68-74.

Serpent, A; Gökmen, V. 2006. A proposed mechanism for the inhibition of soybean lipoxygenase by β-carotene. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. (86), *3*:401-406.

Simpson, R; Carevic, E; Rojas, S. 2007. Modelling a modified atmosphere packaging system for fresh scallops (*Argopecten purpuratus*). *Packaging Technology and Science*. (20), *2*:87-97.

Snee, R. D. 1971. Design and Analysis of Mixtures Experiments. Journal of Quality Technology. 3:159-169.

Thompson, W.; Miers, R. 1968. Response Surface for Experiments with Mixtures. Technometrics 10:739-755.

Tijskens, L.M.M.; Greiner, R.; Biekman, E.S.A.; Konietzny, U. 2001. Modeling the effect of temperature and pH on activity of enzymes: The case of phytases. *Biotechnology and Bioengineering*. (72), 3:323-330.

Vasquez-Caicedo, A. L.; Schilling, S.; Carle, R.; Neidhart, S. 2007. Effects of thermal processing and fruit matrix on beta-carotene stability and enzyme inactivation during transformation of mangoes into puree and nectar. *Food Chemistry 102* (4):1172-1186.

Velazquez, G; Kalpesh, G; Torres, J. 2001. Hydrostatic pressure processing. *Biotam*. (12), (2):70-78.

Velazquez, G; Vázquez, P; Vázquez, M; Torres, J. 2005. High pressure food processing applications. *Cienc. Tecnol. Aliment* (4), 5:343-352.

Verlent, I; Van Loey, A. Smout, C. Duvetter, T. Hendrickx, M. E. 2004. Purified tomato polygalacturonase activity during thermal and high-pressure treatment *Biotechnology and Bioengineering* (86), 1:63-71.

Voon. Y.; Sheikh. N.; Rusul. G.; A. Osman.; Quek. S. 2006. Physicohemical microbial and sensory changes of minimally processed durian (*Durio zibethinus* D24) during storage at 4 and 28°C. In: Postharvest Biology and Technology. (24), 2:168-175.

Vora, H.M; Kyle, W.S.A; Small, D.M. 1999. Activity, localization and thermal inactivation of deteriorative enzymes in Australian carrot (*Daucus carota* L) varieties. *Journal of the Science of Food and Agricultur*.

AVANCES EN LA MEDIDA DE LA TEXTURA POR MÉTODOS FÍSICOS

Durán Luis y Costell Elvira
Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos-CSIC - Valencia (España)

Inevitablemente hay que empezar recordando y reconociendo que la textura es una propiedad sensorial de los alimentos, de carácter complejo, que normalmente se percibe no instantáneamente sino en un proceso dinámico, que puede prolongarse desde la observación visual o el primer contacto táctil hasta la deglución, que tiene lugar después de la masticación. Esta realidad explica las dificultades que hay que superar si pretendemos sustituir la evaluación humana por medidas físicas.

En el ámbito sensorial, la textura ha sido ampliamente estudiada. Su "descomposición" en una serie de atributos específicos, propuesta por Szczesniak (1963), es hoy aceptada y facilita la interpretación de cada una de las sensaciones que el hombre percibe en el proceso de evaluación.

Como toda propiedad sensorial, la textura es la respuesta humana a estímulos físicos. En este caso el principal estímulo es ***la alteración de la estructura del alimento por una acción mecánica externa.*** Con el fin de encontrar formas de sustituir la percepción humana por medidas físicas habrá que profundizar, por tanto, en el conocimiento de los dos aspectos contemplados en la definición del estímulo: la propia estructura del alimento y el tipo de acción externa, o lo que es lo mismo, el procedimiento de evaluación.

Estructura

En los casos más simples, como es el de la viscosidad de un líquido newtoniano es fácil aceptar que la oposición mecánica de las moléculas a fluir unas sobre otras al desplazarse el líquido en la boca sea el estímulo físico que produce la sensación de viscosidad. La medida física que se hace de este fenómeno en un viscosímetro no se parece mucho al tratamiento que le damos en la boca, ni en tipo de aplicación de fuerza ni en velocidad, pero el carácter constante del índice de viscosidad de los líquidos newtonianos favorece la estrecha relación que existe entre ambas magnitudes. Este ejemplo sirve también para ilustrar que se puede obtener información sobre la estructura de un alimento mediante su respuesta a acciones mecánicas, y en concreto a medidas reológicas.

El ingenioso experimento realizado por Shama y Sherman (1973) permitió determinar la naturaleza del estímulo físico de un grupo de líquidos y semilíquidos, según su comportamiento reológico. Encontraron que en los líquidos menos viscosos, el estímulo de la sensación de viscosidad se identifica con la viscosidad instrumental medida a 10 Pa, mientras que en el caso de los más viscosos, el estímulo físico es el esfuerzo necesario para que el líquido fluya a $10\ s^{-1}$.

La adición de hidrocoloides a soluciones acuosas altera su estructura, dependiendo de su configuración molecular. Si el hidrocoloide, como es el caso de la goma guar, presenta una configuración de moléculas enrolladas (*random coil*), la solución se comporta reológicamente como una solución verdadera mientras que si la configuración es de cadenas ordenadas, entre las que se establecen interacciones moleculares, como es el caso de la goma xantana, la solución se comporta como un gel débil. En este caso, la medida de la viscosidad dinámica (η'), por métodos reológicos oscilatorios, permite obtener valores muy estrechamente relacionados con la viscosidad sensorial, especialmente cuando se miden a una frecuencia de 50 rad/s (Richardson et al, 1989).

Otro tipo de estudio físico de la evaluación de viscosidad es el realizado por Kokini y colaboradores (Kokini et al, 1977). El enfoque consiste en un estudio geométrico del proceso de evaluación en la boca y la propuesta de una ecuación que permite deducir el valor de un parámetro (shear stress in the mouth) que se correlaciona muy bien con la viscosidad sensorial.

En los alimentos semisólidos disponemos de menos información sobre su estructura. Generalmente, es su comportamiento reológico el que nos puede dar pistas sobre ella. El estudio de su flujo nos informa sobre la existencia o no de un umbral de fluencia, ligado a la estructura básica, y sobre su plasticidad (n) de interés en el campo sensorial. El estudio mediante reología oscilatoria aporta información adicional sobre su viscoelasticidad y, por tanto, sobre el equilibrio entre los componentes elástico y viscoso. Esta última información sobre la estructura del alimento es más fiable ya que la medida se realiza sin alterar la estructura inicial pero, por otro lado, nos alejamos de la situación real que tiene lugar cuando el hombre actúa sobre el alimento.

En los últimos años se han producido notables avances en el estudio de la estructura de los alimentos, tanto líquidos como sólidos, y de otros materiales biológicos. Las técnicas de análisis microscópico han permitido llegar a niveles que detectan cambios microestructurales, que pueden explicar cambios observables de textura. Este tipo de investigaciones se han realizado principalmente en productos lácteos y en productos formulados con hidrocoloides, haciendo uso de técnicas como la Cryo-SEM (Scanning Electron Microscopy) o la CSLM (Confocal Scanning Laser Microscopy). Los resultados del estudio de los cambios de estructura se han comparado, en la mayoría de los trabajos con la caracterización reológica sin llegar al aspecto sensorial de los cambios de textura (Vélez-Ruiz et al, 2006). Aunque en la mayoría de los casos todavía estamos contemplando relaciones cualitativas, como, por ejemplo, la diferencia observada entre la estructura celular de las alubias tiernas y duras (Aguilera, 2005). Mientras en las primeras, las células están separadas por disolución de la laminilla media, en las segundas están fuertemente unidas. Al masticar aquellas las células se separan fácilmente mientras que en el segundo caso hay que romper las células.

Procedimiento de evaluación

Textura no oral

En un primer contacto con el alimento ya pueden percibirse aspectos de su textura por medio de la vista, del oído o del tacto. Al observar el vertido de un líquido, la tersura y brillo de la piel de un pescado o el color de un bistec, estamos prejuzgando la sensación de textura que tendremos en la boca.

Las sensaciones auditivas más importantes son las que se detectan durante la masticación. La sensación de tacto y de la resistencia a determinadas acciones externas como la presión entre los dedos, el corte de un cuchillo, la presión de una espátula, son las más usadas en la evaluación no oral de la textura y, lógicamente, proporcionan una información previa sobre el proceso final que tendrá lugar en la boca.

La evaluación manual de la textura permite obtener bastante información y es útil en casos en los que no se dispone de mucha cantidad de muestra o cuando la evaluación en la boca es desagradable o difícil. La compresión entre los dedos es una forma común de preevaluar la textura de alimentos sólidos y proporciona varios atributos que pueden reproducirse con instrumentos mecánicos. En un estudio reciente (Barrangou et al, 2006) se encontró una alta correlación entre el módulo de deformabilidad de geles de agarosa y la sensación manual de resistencia a la rotura, lo que parece indicar que el estímulo que el consumidor percibe es la relación entre la presión que ejerce y la deformación del material.

Otras formas no orales de evaluar la textura, como la extensión sobre una superficie (untado), el corte con cuchillo o la

penetración con agujas o tenedores, son utilizadas con éxito en la práctica pero han merecido escasa atención científica.

Textura oral

En relación con el movimiento de líquidos en la boca antes de la deglución, interesa saber el tipo de flujo que gobierna su desplazamiento. Aunque no se ha podido realizar ninguna experiencia reológica, por la enorme complejidad de los movimientos de líquidos en la boca, se especula con que el flujo predominante puede ser el de cizallamiento, pero parece también evidente la contribución de un flujo longitudinal o elongacional. Otro fenómeno importante en relación con la reología de líquidos en la boca es que la saliva contribuye a disminuir la viscosidad de los alimentos muy viscosos y a aumentar la de los muy fluidos, para ayudar a la deglución. Un caso particular es el de las bebidas que contienen almidón, que sufren una drástica pérdida de viscosidad por efecto de las amilasas, presentes en la saliva.

En la evaluación de la textura de los alimentos sólidos, la masticación es sin duda la operación más importante, la que da más información y en la que el consumidor basa su decisión final. Lógicamente, también es la más compleja. Las acciones que se ejercen sobre el alimento son diversas: corte inicial con los incisivos, trituración con las muelas, mezcla con la saliva y formación del bolo final en condiciones para tragarlo, todo ello con la ayuda de la lengua y de las paredes internas de la boca...Y durante todo el proceso, el cerebro está recibiendo señales táctiles y cinestésicas, a través de las terminales nerviosas de las mandíbulas, de la lengua y de los carrillos.

El estudio de la masticación por métodos físicos ha sido enfocado de muy diferentes formas. Históricamente, el primer texturómetro conocido, el *Volodkevitz*, se diseñó para imitar el proceso de masticación, pero de forma muy rudimentaria. Le siguieron otros modelos, que tuvieron más éxito como el texturómetro de la General Foods, la prensa Kramer, la Instron UTM, la *TX-T2*, etc. De todas formas, estos instrumentos realizan sobre el alimento acciones que imitan sólo parcialmente y de forma incompleta el complejo proceso de la masticación. Más recientemente se han desarrollado modelos de simuladores de la masticación con un fin distinto: el de estudiar el efecto de la masticación en la liberación de sabores (Salles et al, 2007).

Sobre el proceso de la masticación se dispone de escasa y dispersa información. Los estudios de electromiografía, consistentes en registrar mediante electrodos la fuerza realizada por los músculos maseteros, ha permitido analizar este aspecto y distinguir entre alimentos de distinta textura. La gran variabilidad detectada entre el comportamiento de distintos individuos resta precisión a este tipo de medida. Los sonidos que se producen al masticar un alimento frágil también proporcionan información sobre el fenómeno y pueden medirse mediante la aplicación de electrodos en las mejillas. Otra manera de seguir el proceso general es midiendo la disminución de tamaños de las partículas.

Estudio por atributos

Dada la complejidad de la sensación de textura, la mejor aproximación al estudio de su posible medida objetiva es empezar por definir con precisión el atributo sensorial que se quiere medir. Ésta no es, en términos generales, una tarea fácil. En algunos casos, como en el de la viscosidad de alimentos líquidos, antes descrito, se puede conseguir su definición y cuantificación con bastante precisión, lo que favorece la selección de medidas físicas que lo reproduzcan y que puedan utilizarse para sustituir a la evaluación humana. Sin embargo, esta sensación no está exenta de la influencia de otras sensaciones, como el gusto, el aroma o el color, o incluso la temperatura. Por ejemplo, un zumo de fruta con un sabor o un aroma más intenso o de color más oscuro puede percibirse también como más viscoso.

En algún caso, como en el del conocido TPA (Texture Profile Analysis), consistente en un ensayo de compresión de doble ciclo, aplicable a alimentos sólidos, se pretende obtener parámetros de significado similar a los atributos sensoriales, aplicándoseles incluso las mismas denominaciones, lo que puede llevar a veces a interpretaciones erróneas. Con este ensayo se miden la *dureza*, la *elasticidad*, la *fragilidad*, la *adhesividad* y la *cohesividad* como respuestas mecánicas del material a la acción de una doble compresión. Estas medidas están afectadas lógicamente por las dimensiones de la muestra y las condiciones de medida del aparato y, lógicamente también, no tienen en cuenta los factores que influyen en la percepción humana (saliva, velocidad de masticación, acción de la lengua, etc.). Todo ello no impide que en muchos casos este ensayo dé información útil sobre todo en el marco del control de calidad industrial.

Un formato de estudio de relación sensorial-instrumental, frecuente en la bibliografía, es el que trata de relacionar un buen número de atributos sensoriales con las medidas realizadas con diferentes métodos mecánicos. Las herramientas estadísticas de que disponemos hoy permiten sacar conclusiones de interés práctico de un gran número de datos experimentales si se aplican correctamente. Un ejemplo de este tipo de estudios es el realizado por Drake et al (1999) en 9 quesos comerciales y 4 experimentales, en los que se analizan 7 descriptores en la boca y 5 en la evaluación manual, en lo que se refiere a textura sensorial. Por otro lado se utilizan como técnicas instrumentales el TPA, la reología oscilatoria y el ensayo de fluencia, obteniéndose 5, 2 y 2 parámetros, respectivamente. Los autores concluyen que la mayoría de los parámetros sensoriales e instrumentales estaban bien correlacionados y que los parámetros del TPA y los de los ensayos reológicos fundamentales fueron buenos predictores de los atributos sensoriales.

Aunque la viscosidad o consistencia es el atributo sensorial mayoritario en la evaluación de la textura de alimentos líquidos o semisólidos, en algunos grupos de alimentos otros atributos destacan por su interés para el consumidor, como es el caso de la cremosidad de productos lácteos, salsas o purés de frutas. Es éste un atributo complejo, compuesto de varias sensaciones como la consistencia o la suavidad. Esta última es físicamente una propiedad de superficie, difícil de medir.

La cremosidad de alimentos semisólidos, como los postres lácteos se puede evaluar reológicamente midiendo el módulo de almacenamiento (G'), obtenido en un ensayo de reometría oscilatoria, o el umbral de fluencia que representa la resistencia del material a iniciar el flujo (de Wijk et al, 2006). Estos dos parámetros se relacionaron bien con la consistencia sensorial de natillas comerciales, en un trabajo realizado recientemente en nuestro laboratorio (Tárrega y Costell, 2007).

REFERENCIAS CITADAS

Aguilera J.M. 2005. Why food microstructure? Journal of Food Engineering 67 (1-2): 3-11

Barrangou, L. M., MaryAnne Drake, Christopher R. Daubert and E. Allen De Wijk RA, Terpstra ME.J, Janssen AM and Prinz JF 2006. Perceived creaminess of semi-solid foods. Trends in Food Science and Technology 17, 412-422

Drake MA, Gerard PD, Truong VD, et al. 1999. Relationship between instrumental and sensory measurements of cheese texture. Journal of Texture Studies 30 (4), 451-476

Foegeding2006. Textural properties of agarose gels. II. Relationships between rheological properties and sensory texture. Food Hydrocolloids 20, 2-3, 196-203

Kokini J.L., Kadane J.B., Cussler E.L., 1977. Liquid texture in the mouth. Journal of Sensory Studies 8, 195-218

Richardson R.K., Morris E.R., Ross-Murphy S.B., Taylor L.J. and Dea I.C. 1989. Characterisation of the perceived texture of thickened systems by dynamic viscosity measurements. Food Hydrocolloids 3, 175-191.

Salles C., Tarrega A., Mielle P., Maratray J., Gorria P., Liaboeuf J. and Liodenot J.-J. 2007. Development of a chewing simulator for food breakdown and the analysis of in vitro flavor compound release in a mouth environment Journal of Food Engineering 82, 189-198

Szczesniak A.S. 1963. Classification of textural characteristics. Journal of Food Science 28 (4): 385-389

Tárrega A., Costell E. 2007. Colour and consistency of semisolid dairy desserts. Instrumental and sensory measurements. Journal of Food Engineering 78, 655-661

CARACTERIZACIÓN FISICOQUIMICA DEL PRIMER ALMIDON NATURAL DE YUCA CEROSO (LIBRE DE AMILOSA) DESCUBIERTO EN CIAT.

Sánchez Teresa[1], Dufour Dominique[1&2], Morante Nelson[1], Ceballos Hernán[1&3]

1: (CIAT) Centro Internacional de Agricultura tropical, Cali, Colombia.
2: (CIRAD) Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Montpellier, Francia.
3: Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

Palabras claves: yuca, almidón ceroso, microscopia, RVA, DSC

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue analizar las propiedades funcionales de un almidón de yuca que presentaba características de un almidón libre de amilosa descubierto en CIAT en 2006, comparándolo con las propiedades funcionales de dos almidones de yuca con características promedias provenientes de la colección mundial de CIAT (6500 clones).

La coloración café-rojiza de las raíces al teñirse con una solución de yodo sugirió que el almidón del clon AM206-5 era bajo en contenido de amilosa. El almidón de este clon se extrajo para una caracterización mas profunda. En microscopia óptica se confirmo la diferencia de tinción entre los almidones. En microscopia electrónica de barrido no se observo diferencias con los almidones de referencia. La medida del contenido de amilosa por el método colorimétrico y por calorimetría diferencial de barrido (DSC) mostraron valores muy bajos por el primer método (3.4%) e ausencia por el segundo.

El comportamiento de los geles realizados a partir de suspensión de 5% de almidón AM206-5 ; MCOL2208 y MPER247 se determino en un rápido visco analizador (RVA) mostrando valores de temperatura de engrudo (Pasting temperature) respectivamente de 68.3 ; 65.4 ; 67.5°C. La viscosidad máxima (Vmax), inestabilidad del gel (Breakdown) y la reorganización (setback) fueron mayores para el almidón ceroso (890 ; 491 ; -400 centipoises) comparados con los almidones de los 2 clones de yuca (577 , 746 ; 249 , 290 ; -161 , -166 centipoises) respectivamente. La solubilidad del almidón ceroso fue menor respecto a las referencias, mientras que el índice de hinchamiento y el volumen de la fracción dispersada fueron mayores para el clon ceroso. El estudio comprobó el descubrimiento del primer clon natural de yuca ceroso.

INTRODUCCIÓN

Moorthy (1) menciono que las fuentes de almidón pueden encontrarse en cereales, palmeras, frutas, vegetales y algunas raíces y tubérculos; sin embargo la extracción comercial del almidón solo se realiza en algunos cultivos. Las fuentes de almidón de plantas perecederas más importantes son la papa, la yuca, el camote, canna y arrurruz. En las raíces de yuca del 73.7 al 84.9% del peso seco es almidón (2). Han sido publicadas una extensa revisión de las propiedades del almidón de yuca (1). El almidón de yuca es de fácil extracción porque las raíces contienen bajos niveles de proteína y de grasa, de color blanco y de sabor neutro lo que es muy deseable para la preparación de los productos alimenticios. Los gránulos son generalmente redondos (ovalados), con un lado truncado, y su tamaño oscila entre 5 y 40 μm.

El contenido de amilosa ha sido reportado con rangos de 17.9 a 23.7% (3); 17 a 25% (4), 18 a 25% (1), o 13.6 a 23.8% (2). El CIAT ha realizado cuantificación de miles de muestras de almidón de clones nuevos y clones de la colección mundial del banco de germoplasma (5). Hay una influencia genética clara sobre el contenido de amilosa en el almidón, y ni la edad de la planta, ni los factores ambientales parecen jugar un papel importante en la determinación de este. Los rangos en el poder de hinchamiento están entre 25 y 30 mL/g de almidón y su digestibilidad es buena. La difracción de rayos X del almidón de yuca sigue un patrón A y C (1,2). El almidón de yuca es uno de los menos resistentes al ataque enzimático entre los almidones de raíces, con hidrólisis similares a las del almidón normal de maíz (2).

El almidón ceroso compuesto exclusivamente de amilopectina, tiene ventajas comerciales por sus propiedades funcionales específicas (6). El almidón ceroso de maíz muestra propiedades similares a las del almidón de yuca normal (7).

El objetivo de este trabajo es de demostrar que el almidón del clon de Yuca AM206-5, descubierto en CIAT es de tipo ceroso, y de estudiar su comportamiento reológico y algunas de sus propiedades fisicoquímicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Se obtuvieron trozos pequeños de las raíces peladas de plantas de los clones AM 206-5, MCOL 2208 y MPER 247. Algunos trozos se liofilizaron durante 24 horas a -30 °C y luego se molieron para obtener la harina.

Para la obtención del almidón, se homogenizaron trozos de las raíces con agua en una licuadora, la suspensión fue tamizada a través de un filtro de 100 µm. La lechada fue sedimentada y el supernadante (almidón) decantado y secado en un horno con ventilación forzada a 40°C.

Métodos

Prueba de yodo: Para determinar la presencia ó ausencia de amilosa, se pulverizó una solución de yoduro de potasio (2 %) sobre rodajas de cada raíz.

Materia seca: determinada después del secado de trozos de las raíces a 60°C durante 48 horas (8).

Cenizas: Se incineraron trozos a 550°C durante 3 horas para determinar el contenido de cenizas (9).

Fibra cruda: se determinó por la pérdida de peso sobre la ignición de los residuos secos de una muestra de harina, después de la digestión con ácido y con base (10).

Azúcares totales y reductores se determinaron de acuerdo a Cronin et al. (11).

Almidón: determinado después de hidrolizar la muestra con α-amilasa termoestable y con amiloglucosidasa (12).

Microscopia óptica Se tiñó una pequeña muestra de almidón con una solución de yodo al 0.2% y se tomaron fotografías.

Microscopia electrónica de barrido, (SEM): Gránulos de almidón deshidratado fueron fotografiados después de haber recubierto la muestra con una mezcla de oro: aluminio.

Claridad de los geles: La metodología sugerida por Craig *et al.* (13) fue utilizada.

Amilosa: La determinación colorimétrica se realizó utilizando la norma ISO 6647(14). La calorimetría diferencial de barrido (DSC) se realizo usando un Perkin Elmer DSC (15).

Temperatura de gelatinización: fue determinada del termograma DSC.

Rapido viscoanalizador (RVA): Las propiedades funcionales de la pasta se estudiaron utilizando una suspensión al 5% (b.s.) en un RVA-4, con programación de temperatura (50 °C hasta 90 °C a 6°C/min mantener durante 5 minutos, enfriar hasta 50°C a 6°C/min). Se determinó la temperatura de engrudo (TE), viscosidad máxima (VM), viscosidad de la pasta caliente (VPC)

y viscosidad de la pasta fría (VPF). Se calcularon tres parámetros:
Inestabilidad del gel : VM-VPT
Reorganización: VPC-VM
Consistencia: VPF-VPC.
La solubilidad, el índice de hinchamiento, y el volumen de la fracción dispersa fueron medidos utilizando una suspensión de almidón al 1.5%(b.s.), la pasta se preparo en un RVA-4, calentando desde 35°C hasta 75°C a 6 °C/min, manteniendo esta temperatura durante 2.5 minutos. La pasta fue inmediatamente centrifugada a 6000g durante 5 minutos a 25 °C. El supernadante y el sobrenadante fueron pesados (PH_{su}, PH_{so}), secados a 100 °C y de nuevo pesados (PS_{su}, PS_{so})..Se calcularon tres parámetros:
Solubilidad (% bs) = $100PH_{su}/0.42$
Poder de Hinchamiento = $(PH_{so} - PS_{so})/PS_{so}$
Volumen de la fracción dispersa (Φ) = $(27.86 - (PH_{su} - PH_{su}))/27.86$
El factor 27.86 es calculado como volumen total de la pasta.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las rodajas de las raíces de la variedad AM 206-5 cuando se tiñeron con la solución de yodo mostraron una coloración café-rojiza, coloración típica de un almidón libre de amilosa; comparada con la tinción azul oscura que aparece en rodajas de yuca normal. (Figura 1)

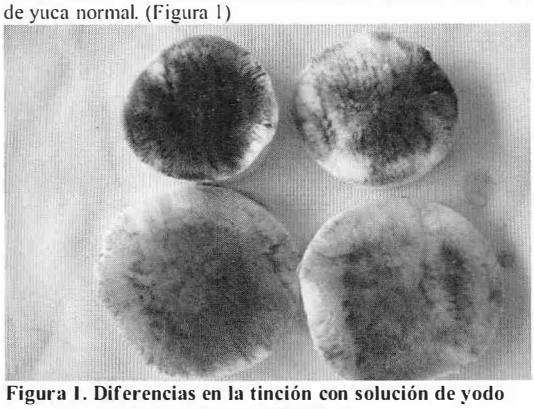


Figura 1. Diferencias en la tinción con solución de yodo de un clon normal y el clon AM 206-5

En la tabla 1 se presentan los resultados del análisis proximal de las harinas. El contenido de materia seca del clon AM 206-5 fue ligeramente más bajo que los clones de referencia, mientras que el contenido de cenizas fue mayor.

En la figura 2 se muestra el contraste de las fotos de microscopia óptica del almidón del clon AM 206-5 y un clon normal de yuca teñidos con yodo al 2%, y se observa una clara diferencia entre los dos genotipos.

En la morfología y el tamaño de los gránulos no presentan diferencias los genotipos, como se puede observar en la fotografía de microscopia de barrido (Figura 3).

Tabla 1. Análisis Proximal % (g/100g bs) de tres clones de yuca

Parámetros[a]	AM 206-5[b]	MCOL 2208	MPER 247
Materia Seca (%)	31.5 (1.3)	34.8	35.7
Cenizas (%)	3.0 (0.2)	1.6	2.2
Fibra Cruda (%)	4.6 (0.7)	2.6	3.2
Azúcares Totales (%)	1.6 (1.1)	2.9	3.6
Azúcares Reductores (%)	0.8 (0.8)	0.9	1.3
Almidón (%)	86 (3.9)	88	86

a) en base seca (b.s). b) La desviación estándar, mostrada entre paréntesis, esta calculada en base a análisis independientes de 5 plantas diferentes del clon AM206-5.

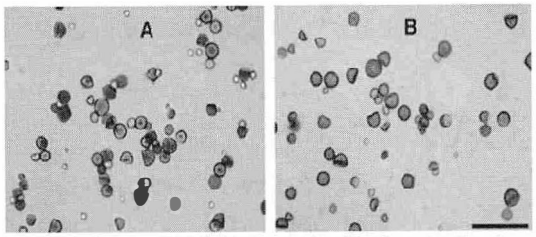


Figura 2. Microscopia óptica de la tinción de gránulos de almidón con yodo de A. Clon ceroso B. Clon normal de yuca

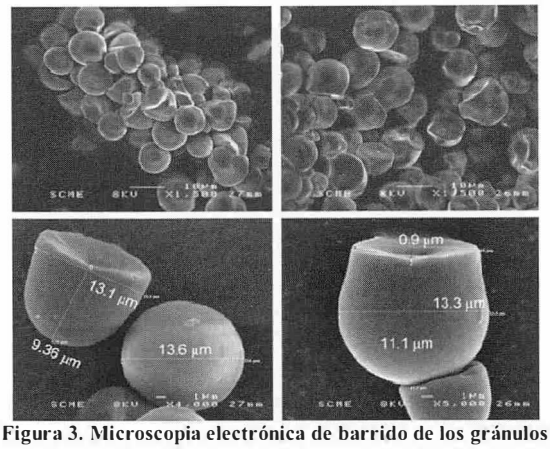


Figura 3. Microscopia electrónica de barrido de los gránulos del clon AM 206-5 (izquierda) y de un clon normal de yuca (derecha).

En la tabla 2 se presentan las propiedades fisicoquímicas de los almidones. La claridad de los geles fue muy similar para los 3 clones. El contenido de amilosa obtenido por colorimetría fue de 3.4 % para el clon AM 206-5, mientras que para los otros dos clones fue de un 20 % en promedio; usando el DSC el contenido de amilosa presento ausencia en el clon AM206-5. La detección de una pequeña cantidad en el método colorimétrico puede ser debido a la impureza de alguno de los estándares utilizados en el análisis.

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas de los almidones de los tres clones de yuca analizados

Parámetros[a]	AM 206-5[b]	MCOL 2208	MPER 247
Claridad de la pasta (%)	57.6 (1.6)	56.2 (0.3)	50.3 (0.6)
Contenido de amilosa a colorimetria (%)	3.4 (0.2)	20.4(0.3)	19.7 (0.4)
Contenido de amilosa DSC (%)	0.0 (0.0)	19.2 (0.0)	9.0 (0.5)
Temperatura de de Gelatinización (°C)	63.1 (0.7)	60.4 (0.1)	61.8 (0.1)

Las propiedades funcionales de los almidones son presentadas en la Tabla 3. El clon AM 206-5 presento el valor mayor en la viscosidad máxima (890 centipoises) en comparación con los otros dos clones (577-546 centipoises). Los valores de inestabilidad de los geles y reorganización fueron notablemente diferentes en el clon AM 206-5 comparado con los otros dos clones, sugiriendo una tolerancia reducida a la fuerza de cizallamiento en el clon ceroso, mientras que el valor de la consistencia no presento diferencias significativas

Tabla 3. Comportamiento de las pastas de almidón de los Clones estudiados

Parámetros[a]	AM 206-5[b]	MCOL 2208	MPER 247
Temperatura de empastamiento (°C)	68.3 (0.8)	65.4 (0.4)	67.5 (0.2)
Viscosidad Máxima (cP)	890 (38)	577 (19)	746 (20)
Viscosidad de la pasta caliente (cP)	399 (18)	329 (12)	456 (16))
Viscosidad de la pasta fria (cP)	490 (17)	416 (16)	580 (18)
Inestabilidad del gel (cP)	491 (31)	249 (7)	290 (27)
Reorganización (cP)	-400 (32)	-161 (8)	-166 (24)
Consistencia (cP)	91 (3)	88 (6)	124 (6)

En los viscoamilogramas (Fig 4) los tres clones estudiados presentan un típico comportamiento de un gel de almidón no resistente a las temperaturas altas y sensible a las fuerzas de cizallamiento.

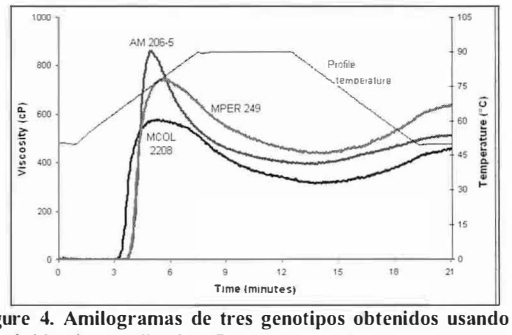


Figure 4. Amilogramas de tres genotipos obtenidos usando un rápido viscoanalizador (RVA)

La solubilidad, el índice de hinchamiento y el volumen de la fracción dispersada del almidón AM 206-5 mostraron resultados contrastantes comparados con los de yuca normal (Tabla 4). La solubilidad del almidón de AM 206-5 fue cerca de la mitad del valor observado para los otros clones, esto puede ser debido a que la amilosa es más soluble que la amilopectina, demostrando nuevamente que el almidón del clon AM 206-5 tiene considerablemente menos cantidad de amilosa que los dos clones normales. El índice de hinchamiento en el clon AM 206-5 fue considerablemente mas alto que los otro dos clones, y el volumen de la fracción dispersada fue un poco mayor que el de los otros dos clones estudiados. El almidón ceroso de yuca es susceptible de absorber 2 veces más agua que un almidón de yuca normal (56 y 31 g de agua por g de almidón) respectivamente.

Tabla 4. Valores de solubilidad, índice de hinchamiento del clon ceroso y los clones normales

Clon	Solubilidad (% bs)	Índice de Hinchamiento ($g*g^{-1}$)	Volumen fracción dispersada (Φ)
AM 206-5	6.0 (0.5)	55.7 (2.3)	0.50 (0.03)
MCOL 2208	14.1 (0.6)	32.3 (0.7)	0.45 (0.00)
MPER 247	13.4 (0.4)	30.8 (0.4)	0.41 (0.01)

CONCLUSIONES

Todos los análisis realizados en este estudio comprueban que el clon dé yuca AM 206-5 no contiene amilosa (almidón ceroso). Este es el primer reporte de un clon de yuca natural (no modificado genéticamente) con estas propiedades.

Las diferencias en la coloración de las raíces al teñirse con la solución de yodo fueron las primeras indicaciones de que el clon era libre de amilosa. Las diferencias presentadas en las propiedades funcionales entre los clones concuerdan con las características que poseen los almidones libres de amilosa (alta viscosidad, alto índice de hinchamiento, y baja solubilidad). La cuantificación del contenido de amilosa por los dos métodos concluye que el almidón del clon AM 206-5 tiene niveles muy bajos o ausencia de amilosa. El tamaño y la forma de los gránulos no presentan diferencias entre el clon AM 206-5 y los clones normales de yuca.

Las propiedades características del almidón ceroso pueden abrir la posibilidad de usos comerciales en aplicaciones novedosas debido a la ausencia de amilosa, la cual participa en la reorganización de los geles al enfriamiento, produciendo sinéresis e inestabilidad del los productos.

El uso de los almidones cerosos crece continuamente en la industria alimenticia debido especialmente al incremento en la demanda de comidas rápidas y son usados como estabilizadores y espesantes para productos alimenticios, especialmente aquellos que son sometidos a grandes cambios de temperatura durante el procesamiento y el almacenamiento. Los geles de almidón ceroso no pierden agua cuando son congelados y deshelados, lo cual incrementa el tiempo de vida útil del alimento; son utilizados como agentes que dan consistencia a los alimentos.

Debido a sus propiedades, el clon de yuca AM206-5 podría encontrar en el futuro un éxito comercial para la producción de almidón ceroso. La caracterización de las propiedades funcionales y el comportamiento de los geles en productos procesados se esta iniciando en CIAT para conocer las ventajas comparativas de este almidón frente a almidones cerosos de otras fuentes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen CIRAD por las capacitaciones otorgada a Teresa Sánchez en Montpellier, Francia, para capacitarse en análisis de propiedades funcionales y reologicas de almidones, especialmente al Dr Christian Mestres responsable del laboratorio.

BIBLIOGRAFIA

1. Moorthy, S. N. 2004.Tropical sources of starch. In *Starch in Food*; Eliasson, A. C., Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL; pp 321-359.
2. Rickard, J. E.; Asaoke, M.; Blanshard, J. M. V. The physico-chemical properties of cassava starch.1991. *Trop. Sci., 31*, 189-207.
3. Munyikwa, T. R. I.; Lageveld, S.; Salehuzzaman, S. N. I. M.; Jacobsen, E.; Visser, R. G. F. 1997. Cassava starch biosynthesis: new. Avenues for modifying starch quantity and quality. *Euphytica*, 96, 65-75.
4. Fernandez, A.; Wenham, J.; Dufour, D.; Wheatley, C. C.1996. The influence of variety and processing on the physicochemical and functional properties of cassava starch and flour. In *Cassava Flour and Starch: Progress in Research and Development:* Dufour, D., O'Brien, G. M., Best R., Eds.; CIRAD/CIAT Montpellier France/ Cali Colombia; pp 263-269.
5. Wheatley C.C.;Orrego, J.I ; Sánchez, T.; Granados, E., Quality evaluation of the cassava core collection at Ciat.1993.First International Scientific Meeting on Cassava Biotechnology Network, Cartagena de Indias Colombia; pp 255-264
6. Hannah, L. C.200. Starch biosynthesis and genetic potential. In *Designing Crops for Added Value:* Murphy C. F., Peterson D. M., Eds.; American Society of Agronomy: Madison, WI; pp181- 199.
7. Watson, S. A. 1988.Corn marketing, processing and utilization. In *Corn and Corn Improvement.* 3rd ed: Sprague, G. F., Dudley. J. W., Eds.; American Society of Agronomy: Madison, WI,; pp 881-940.
8. Prieto, M. L.; Valencia, C. E. 1988.Thesis. Obtención de un método patrón y desarrollo de un método rápido y práctico para la determinación del contenido de humedad en yuca (*Manihot esculenta* Crantz). (Development of a fast method for the determination of the humidity content in yucca.) Universidad del Valle and Universidad Nacional de Colombia, . 101 pp (available at CIAT, Apartado Aereo 6713, Cali. Colombia).
9. *Ash of Flour*; AOAC 923.03, 16th ed; AOAC: Washington, 20., DC. March 1996, p 1.
10. *Fiber (Crude) in Animal Feed and Pet Food;* AOAC 962.09, 16th ed.; AOAC: Washington, DC, March 1996.
11. Cronin, D. A.; Smith, S. 1979. A simple and rapid procedure for the analysis of reducing, total and individual sugars in potatoes. *Potato Res., 22* (2), 99-105.
12. Batey, I. L. Starch analysis using thermostable α-amylases. *Starch/Starke* 1986, *34*, 125-128. Modified by Mestres as reported in Mestres, C. Gelification d'amidons de mais modifies thermiquement. Application a la fabrication de pates alimentaires sans gluten. Ph.D. Thesis. France, 1982.
13. Craig, S. A. S.; Maningat, C. C.; Seib, P. A.; Hoseney, R. C. 1989. Starch paste clarity, *Cereal Chem., 66* (3), 173-182.
14. *Riz: Determination de la Teneur en Amylose*; ISO 6647 (F), 1987.
15. Mestres, C.; Matencio, F.; Pons, B.; Yajid, M.; Fliedel, G. 1996. A rapid method for the determination of amylose content by using differential scanning calorimetry. *Starch/Starke. 48*, 2-6.

FORMACIÓN DEL PROFESIONAL DE INGENIERÍA BASADO EN COMPETENCIAS

Matos Chamorro, R. Alfredo
Universidad Peruana Unión – Villa Unión km 19 Carretera Central Ñaña, Lima Perú
Palabras claves: Educación, competencias, formación, ingeniería

RESUMEN

El propósito de esta reflexión es mostrar la importancia de la formación profesional de ingeniería basado en competencias. Tomando como base la definición de la educación verdadera, ampliado en el informe Delors, en la sociedades de la información y el conocimiento, el estudiante debe ser formado desde la educación básica, universitaria y durante toda la vida para aprender a ser, aprender a conocer, aprender a hacer y aprender a convivir con los demás, esta formación unido a las competencias básicas, genéricas y especificas, ayudarán a los egresados para integrarse al mundo laboral con éxito y garantizar un mundo diferente a las futuras generaciones.

INTRODUCCIÓN:

El éxito o fracaso de los egresados de las instituciones educativas, en buena parte es determinado por la formación que han tenido en las aulas de la universidad, pero también es influenciado por la educación recibida en el hogar, el entorno donde se desarrolla, entre otros, Generalmente el modelo educativo está de acuerdo al modelo de sociedad vigente de modo que en las sociedades de la información y del conocimiento, donde el mundo productivo exige el desarrollo de las capacidades de los individuos, la educación debe contribuir a este propósito, generando el desarrollo integral del individuo en el aspecto físico (cuerpo), mental, desarrollo intelectual, sensibilidad, sentido estético, responsabilidad individual y espiritual (Delors 1996).

El Propósito de esta reflexión es mostrar la importancia de la educación basado en competencias en ingeniería de Alimentos.

1. Formación profesional

White (1958) menciona que la verdadera educación es el desarrollo armonioso de las facultades físicas, mentales y espirituales, esto significa más que conseguir el título de un determinado curso, significa más que una preparación para la vida actual, abarca todo el ser, y todo el período de la existencia accesible al hombre, es decir prepara al individuo para el gozo de servir en este mundo a sus semejantes.

Los estudiantes de ingeniería, generalmente son preparados para el manejo de materiales y pocas veces son preparados en el desarrollo de las relaciones interpersonales, para resolver problemas, dirigir un personal especializado y participar en la toma de decisiones importantes en la empresa, es decir que sean competentes.

Recientemente, el informe de la comisión que preside Jacques Delors (1995) "la educación encierra un tesoro", presenta cuatro áreas pilares para el desarrollo del individuo, estos encierran capacidades que ayudan a ser competentes a los individuos:

2.1 Aprender a ser:

Esta educación le permita comprender al individuo el mundo que le rodea y comportarse como un elemento responsable y justo, los estudiantes deben estar en condiciones de tener un pensamiento autónomo y crítico, así como de elaborar un juicio propio que les permita determinar por si mismos qué deben hacer en las diferentes circunstancias de la vida, desarrollar su personalidad para actuar cada vez con libertad de pensamiento, de juicio, de sentimientos, imaginación y responsabilidad personal que permita ser un ciudadano, productivo, innovador y creador de sueños.

Este desarrollo del ser humano, que va desde el nacimiento hasta el fin de la vida, es un proceso dialectico que comienza por el conocimiento de si mismo y se abre después a las relaciones con los demás, en este sentido, la educación es ante todo un viaje al interior, cuyas etapas corresponden a las de la maduración constante de la personalidad.

2.2 Aprender a conocer:

Aprender para conocer supone, en primer término, aprender a aprender, ejercitando la atención, la memoria y el pensamiento. Desde la infancia, sobre todo en las sociedades dominadas por la imagen televisiva, el joven debe aprender a concentrar su atención en las personas y las cosas. La vertiginosa sucesión de información en los medios de comunicación y el frecuente cambio de canal de televisión, atentan contra el proceso de descubrimiento, que requiere una permanencia y una profundización de la información captada. El ejercicio de la memoria, puede considerarse como un antídoto necesario contra la invasión de las informaciones instantáneas que difunden los medios de comunicación masiva. El ejercicio del pensamiento, en el que es iniciado el niño por sus padres y más tarde por sus maestros, debe entrañar una articulación entre lo concreto y lo abstracto, asimismo convendría combinar tanto en la enseñanza como en la investigación los métodos deductivos el inductivos.

El incremento del saber, que permite comprender mejor las múltiples facetas del propio entorno, favorece el despertar de la curiosidad intelectual, estimula el sentido crítico y permite descifrar la realidad, adquiriendo al mismo tiempo una autonomía de juicio.

Este tipo de aprendizaje, del dominio de los instrumentos del saber, ayuda a comprender mejor el mundo que nos rodea, a fin vivir con dignidad, así como el placer de comprender, de conocer, de descubrir y el proceso de adquisición del conocimiento no concluye nunca además de nutrirse de todo tipo de experiencias a lo largo de toda la vida.

1.3 Aprender a hacer:

No basta preparar a alguien para una tarea material bien definida o para que participe en la fabricación de algo, típico de las sociedades basado en el salario, el futuro de la economía está supeditado a la capacidad de innovación y transformación tecnológica generando nuevas empresas y nuevos empleos, para ello es necesario que las personas tengan competencias adquiridas mediante la formación técnica y profesional, el buen comportamiento social, la aptitud para trabajar en equipo, con

capacidad de iniciativa y la de asumir riesgos y ser un agente de cambio.

Este tipo de aprendizaje está vinculado estrechamente a la cuestión de la formación profesional, ¿Cómo enseñar al alumno a poner en práctica sus conocimientos y al mismo tiempo como adaptar la enseñanza al futuro mercado de trabajo, cuya evolución no es totalmente previsible?, por lo que es importante que el individuo tenga la capacidad de saber administrar los eventos que ocurren.

Los efectos de la "desmaterialización" de las economias avanzadas, están manifestadas en la evolución cuantitativa y cualitativa de los servicios, diferentes a los bienes industriales y agrícolas. Este tipo de servicios son definidos principalmente en función de la relación interpersonal (prestación de servicios, educación, asesorías, sanidad, etc.). El desarrollo del servicio obliga a cultivar cualidades humanas que las formaciones tradicionales no siempre abordaron y corresponden a la capacidad de establecer relaciones estables y eficaces entre las personas.

Actualmente, en las sociedades altamente tecnificadas la deficiente interacción entre individuos puede provocar graves disfunciones, porque están basadas más en el comportamiento antes que en el bagaje intelectual, se plantea entonces una pregunta común a los países, desarrollados y en desarrollo: ¿cómo aprender a comportarse eficazmente en una situación de incertidumbre, cómo participar en la creación del futuro?.

2.4 Aprender a vivir juntos, aprender a vivir con los demás:

La historia humana siempre ha sido conflictiva, pero hay elementos nuevos que acentúan el riesgo de autodestrucción que la humanidad ha creado durante el siglo XX, ¿sería posible concebir una educación que permitiera evitar los conflictos o solucionarlos de manera pacífica, fomentando el conocimiento de los demás, respetando sus culturas y sus religiones?, porque la violencia que impera en el mundo contradice la esperanza que algunos habían depositado en el progreso de la humanidad.

Nuevas formas de colonialismo aparecen imperceptiblemente, donde se tiende a privilegiar el espíritu de competencia y el éxito individual, gracias a la atmosfera competitiva imperante en la actividad económica de cada nación y sobre todo a nivel internacional, y muchas veces, lamentablemente la educación, contribuye a generar rivalidades entre pueblos.

A través de la educación se debe entender que ninguno es una isla, existe interdependencia entre todos los seres humanos, así también con el medio ambiente, y que las diferencias en cultura, raza, credo, educación, etc. deben enriquecer nuestra educación en la toma de conciencia de las semejanzas y diferencias.

Este aprendizaje, constituye una de las principales empresas de la educación contemporánea. El conocimiento de uno mismo, ayuda al descubrimiento del otro, pero muchas veces los profesores que, a fuerza del dogmatismo, destruyen la curiosidad o el espíritu critico en sus alumnos, pueden ser más perjudiciales que beneficiosos, al olvidar que son modelos de vida para los jóvenes, su actitud puede atentar de manera permanente a la capacidad de hacer frente las inevitables tensiones entre seres humanos, grupos y naciones.

Cuando el grupo trabaja en proyectos de apoyo a las comunidades, disminuyen y hasta desaparecen las diferencias, e incluso los conflictos, entre los individuos. Estos proyectos que permiten superar los hábitos individuales y valoran los puntos de convergencia por encima de los aspectos que los separan dan origen a un nuevo modo de identificación, por lo que es importante iniciar a los jóvenes en proyectos comunitarios, en actividades deportivas y culturales, así como otras actividades sociales.

El desarrollo de una cultura de paz es uno de los retos más importantes del siglo XXI, conociendo y comprendiendo mejor a los demás, al mundo y a las interdependencias que se producen a todos los niveles, nos capacita para saber trabajar en equipo.

2.5 Competencias

Se puede definir como la movilización de un conjunto de conocimientos, habilidades cognitivas, habilidades prácticas, actitudes, valores y ética, motivación, destrezas, que son necesarios para realizar actividades o funciones de acuerdo a patrones de calidad y productividad requeridos por la naturaleza del trabajo y la sociedad, en un marco de una cosmovisión definida.

Asi, de acuerdo con Guy Le Boterf (2000) una persona competente es aquella que sabe actuar de manera pertinente en un contexto particular, eligiendo y movilizando recursos intrínsecos (conocimientos, saber hacer, cualidades, cultura, emociones, etc.) y extrínsecos (banco de datos, redes documentales, redes de experiencia especializada, etc.) y en cada etapa de su desarrollo puede caracterizar varios tipos de competencias, las mismas que guardan una estrecha relación de secuencialidad.

a. Competencias básicas: son comportamientos elementales asociados a conocimientos de tipo formativo, son aquellas que requiere el individuo para desempeñarse en cualquier actividad productiva, y están referidas a las capacidades de leer, interpretar textos, aplicar sistemas numéricos, saber expresarse, saber escuchar, aprender a aprender, manejo de TICs, situar y comprender, de manera critica los datos de la realidad para elaborar criterios de elección en la toma de decisiones.

b. Competencias genéricas (transversales): son aquellos conocimientos y habilidades que están asociados al desarrollo de diversas áreas ocupacionales, analizar y evaluar la información, capacidad de negociación, trabajar en equipo, contribuir al mantenimiento de la seguridad e higiene en el área de trabajo, planificar y gestionar la tarea, adquirir una cultura tecnológica, la capacidad de anticipar amenazas y oportunidades, desarrollar una visión sistémica de la realidad, de organizarse, formulación de proyectos profesionales, fortalecimiento de la toma de decisiones, capacidad de asumir riesgos y desarrollo de liderazgo.

No siempre existe una frontera definida de las competencias, y generalmente las competencias actitudinales, competencias intelectuales, competencias comportamentales, competencia metodológica, competencia social, competencias funcionales, competencias participativas, competencias de empleabilidad, competencias claves, con consideradas como parte de las competencias genéricas.

El proyecto tunning America Latina (2006) agrupa las competencias genéricas en cuatro factores:

Factor 1: importancia del aprendizaje y de la aplicación de ese aprendizaje

Factor 2: importancia de los valores sociales

Factor 3: importancia del contexto internacional

Factor 4: Importancia de las habilidades interpersonales

c. Competencias específicas: Son las que complementan el aprender a hacer, son aquellas competencias asociadas a conocimientos y habilidades de índole técnica, transmiten estándares y procesos necesarios para una función productiva, capacidad de organización y planificación de tareas, generalmente se refieren a un lenguaje específico, al uso de instrumentos y herramientas determinadas.

El desarrollo de las competencias en los estudiantes debe ser de acuerdo al contexto socio cultural de la región, y de acuerdo a un plan de desarrollo, donde los actores de la educación, principalmente los docentes, los directivos y el personal de apoyo administrativo, tienen que encaminar y fortalecer el desarrollo de las habilidades descritas por los cuatro pilares a través de las competencias para que puedan ser profesionales de éxito durante la educación universitaria (ver figura 1).

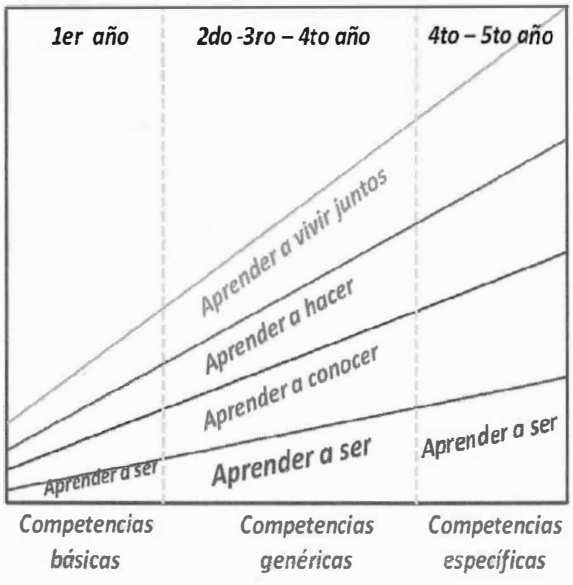


Figura 1 – Competencias y los cuatro pilares de la educación

El proyecto tunning – America latina (2006) ha realizado encuestas en los países de América latina a 824 académicos, 714 empleadores, 2939 graduados y 3944 estudiantes, haciendo un total de 8421 participantes, cuyos resultados se mencionan a continuación.

A partir de una lista de 27 capacidades identificadas, las coincidencias en el orden de importancia de las competencias genéricas según graduados y empleadores, académicos y alumnos, se muestran en la tabla 1.

Los empleadores y graduados consideran que la competencia de trabajo en equipo es muy importante en el mundo laboral, mientras que para los académicos y alumnos no es importante y tal vez esta sea la razón por la que no se le dedica el tiempo necesario para la formación de esta competencia

Tabla 1. Coincidencias en el orden de importancia de las competencias

Graduados y empleadores	Académicos y alumnos
Capacidad de aprender y actualizarse	Capacidad para tomar decisiones
Capacidad de trabajo en equipo	Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas
Compromiso ético	Capacidad de aprender y actualizarse
Compromiso con la calidad	Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica
Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas.	Compromiso ético

Fuente: Tunning- América Latina (2006)

d. Competencia: trabajo en equipo

Poblete y otros (2006) define el trabajo en equipo como la capacidad de integrarse y colaborar activamente con otras personas, áreas u organismos para el logro de los objetivos propuestos (pensamiento colectivo).

Las capacidades que están relacionados al trabajo en equipo son:

Buenas relaciones interpersonales: comunicación, dialogo, tolerancia, cortesía, etc.

Valores personales definidos: honestidad, empatia, integridad, respeto, etc.

Valores sociales: respeto a las culturas, a las religiones, colaboración, solidaridad, etc.

Planificación: visión sistémica, integración, visión de futuro, definición de objetivos, etc.

Su puede visualizar niveles para esta competencia, estos son progresivos: colabora y participa; contribuye y fortalece; dirige, integra y planifica. Blanchard y otros (2006) mencionan niveles semejantes: Empezar a aprender las habilidades del siguiente nivel; acelerar el cambio; dominar las habilidades; estos niveles así como los indicadores pueden ser fijados de acuerdo al contexto socio cultural (ver figura 2).

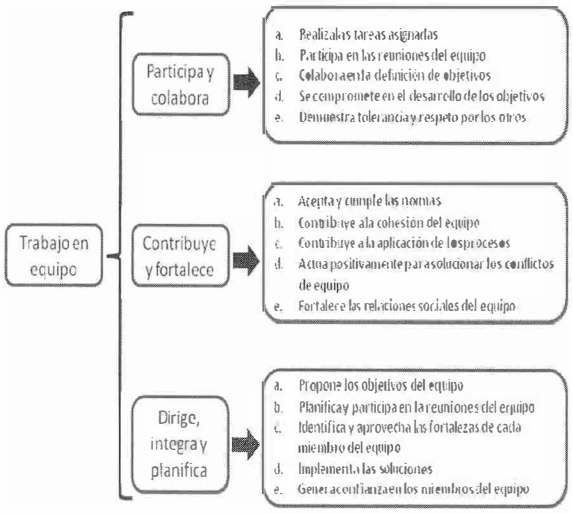


Figura 2 – niveles e indicadores de la competencia de trabajo en equipo.

Si los docentes universitarios no consiguen trabajar en equipo, poco o nada podrán modelar para que los estudiantes desarrollen esta capacidad, de modo que la proliferación de islas humanas es muy frecuente. El desconocimiento del yo, impide conocer a los otros, frecuentemente los silencio en la comunicación y en las relaciones, no es por los silenciadores sino porque, los que pueden hablar no hablan y los que pueden expresarse no dicen sobre las necesidades, las aflicciones y sueños que tienen, y cuando quieren insertarse al mundo laboral, a pesar de haber sido excelentes intelectualmente, socialmente fracasan porque muchas veces han perdido la capacidad de integrarse con otras personas.

No basta proponer el desarrollo de las competencias, también se debe evaluar, puede ser discutible la elección de los evaluadores, sin embargo, se debe tener en cuenta algunos aspectos de la evaluación de las competencias (figura 3), y es considerado como un proceso de recolección de evidencias sobre el desempeño profesional de una persona con el propósito de formarse un juicio sobre su competencia en relación con un perfil profesional e identificar aquellas áreas de desempeño que deben ser fortalecidas, utilizando la formación u otros medios, para llegar al nivel de competencia requerido (SENAI 2002).

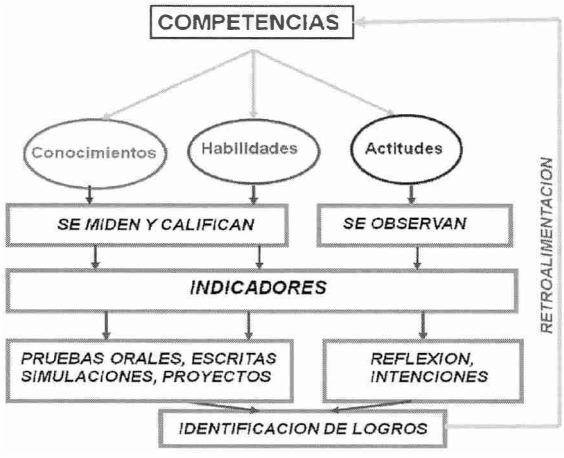


Figura 3 – Proceso de evaluación de competencias

Todo proceso de evaluación pierde su propósito cuando no hay una retroalimentación, la evaluación debe considerarse como una oportunidad de aprendizaje, de lo contrario carece de sentido y el encargado de la evaluación se convierte en un mercenario.

Para el desarrollo de las competencias en los estudiantes es necesario que los actores de la educación tengan que estar en sintonía con la declaración de misión y visión del sistema educativo, porque muchas de las competencias genéricas no se aprenden por teoría, sino a través de los modelos reales, las mismas que deben aparecer intencionalmente en los sílabos de los cursos.

CONCLUSIÓN:

En la sociedad de la información y el conocimiento, la educación basado en el desarrollo de competencias son necesarias para garantizar el éxito profesional, familiar y social, que redunden en la construcción de un mundo con mejores oportunidades y asegure un futuro diferente a las nuevas generaciones.

REFERENCIAS

Blanchard K., Randolph A., Grazier P. 2006. Trabajo en equipo. Serie líderes del Management. Trad. Por Mercè Molist. Ediciones Deusto. Colombia.

Delors J. 1996. Los cuatro pilares de la educación. En la educación encierra un tesoro. Informe de la UNESCO. pp 89-103. Mexico.

Guy Le Boterf. 2000. Construire les compétences individuelles et collectives, Paris, Éditions d'Organisation.

Poblete M., Garcia M., Garcia A., Malla G., Marín J., Solabarrieta J., Villa A. 2006. Experiencias de enseñanza, aprendizaje y evaluación por competencias. Universidad de Deusto. Presentado en la reunión del proyecto Tunnig en San José de Costa Rica, 22 de febrero de 2006.

SENAI. 2002. Metodologia de Avaliação e Certificação de Competencias. Brasilia.

Tunning. 2006. Proyecto Tunning america Latina. Documento 4. Cuarta reunión general. Bruselas 14-16 de Junio de 2006

White E.G. 1958. La educación. California: Publicaciones Interamericanas, 314 p.

LA FORMACIÓN POR COMPETENCIAS EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO PROYECTO CURRICULAR Y PROYECTO DE PAÍS

Hacia un Modelo Curricular por Competencias para una Formación Humana Integral

Naranjo Galo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
VICERRECTORADO ACADÉMICO
Casilla 18-01-0334. E. mail. fcial@uta.edu.ec
AMBATO - ECUADOR

"El currículum es el proyecto de País. El proyecto de País es la esperanza que ese País tiene de sí mismo. El sistema educativo forma al sujeto de un proyecto. Para ello le anticipa el libreto a vivir, la trama de la historia futura y lo dota de las herramientas para intervenir en el drama. Todo plan de estudios de un sistema educativo es el boceto de lo que podrá hacer el futuro ciudadano. Lo contenidos no salen de los tratados científicos, ni de las propuestas de los tecnócratas ni de los conocimientos en boga ni de los funcionarios ni siquiera de los docentes. Se derivan del proyecto de país. Los decide una voluntad política." (Gustavo F.J.Cirigliano).

La formación por competencias en la Universidad Técnica de Ambato se inscribe dentro de un marco teórico de análisis que articula una serie de concepciones innovadoras relacionadas con lo social, lo económico, lo educativo, lo cultural. lo político, los avances científico-técnicos...

Una de sus raíces es el Proyecto "Isnar, nuevo Paradigma desarrollado por un equipo interdisciplinario de investigadores (De Souza Silva et al.2000) que al referirse a la construcción de un proyecto institucional de gestión manifiestan que la innovación institucional que contribuye a la sostenibilidad de la misma, es un proceso complejo y multidimensional dentro de un entorno participativo, que imbrica elementos; conceptuales, metodológicos y culturales como: Marco para pensar (Visión de mundo, filosofía gerencial, hipótesis orientadora, premisas, principios,imagen de organización,Visión de cambio...), Marco para decidir,(procesos, mecanismos, sistemas de apoyo) Marco para actuar(procesos operativos relevantes, mecanismos para la ejecución, sistemas de apoyo a la toma de decisiones).Y que cuando abordan el problema del cambio de época que vivimos dicen: " se requiere de los gerentes el uso del pensamiento lateral, para permitir que la imaginación vuele libre y genere ideas y posibilidades

La propuesta de formación parte de una reflexión crítica sobre la Era de la Planetarización, la misma que es interpretada desde la perspectiva del Pensamiento Complejo; esta posición sirve de base epistemológica y metodológica al diseño de un currículo por competencias, que al concretarse a nivel de aula, se sustenta en la Pedagogía de la Pregunta.

Era de la Planetarización.
El mundo es un sistema complejo y dinámico, con múltiples funciones interconectadas; espacial, temporal, ecológica, social, económica, política, institucional, ética, estética, y es habitado por una diversidad de seres vivos interrelacionados, en los que se incluye la especie humana organizada en sociedades. En este mundo la ciudadanía por derecho debe generar ciudadanos de hecho. Vivimos una nueva época histórica asociada a tres revoluciones: la sociocultural, la económica y la tecnológica cuyos impactos cruzados(no necesariamente compatibles entre sí) están cambiando el sistema de ideas, el sistema de técnicas y la institucionalidad de la época histórica de industrialismo y van generando en proceso transformaciones en las relaciones de producción, relaciones de poder, experiencia humana y cultura.

La sociedad del conocimiento, la globalización, las nuevas tecnologías de la información y comunicación, la tercera revolución científica y técnica, la conservación del medio ambiente, la equidad de género y otras megatendencias tejen y entretejen una vida humana cada vez más compleja, multidimensional, de mayor número de incertidumbres y menor de certidumbres, que obliga a redescrubrir un mundo tan distinto de hace 10 años o más, abandonar esquemas de antaño que no solucionan los problemas de hoy. Así es la Era de la Planetarización: tan activamente presente en nuestra existencia que no tenemos opción para evadirla; hay que responder a ella desde una perspectiva epistemológica sólida y bien argumentada.

En la "Aldea Global" (expresión de Mc Luhan) se multiplican, a gran escala, las informaciones, se aceleran los cambios científicos y tecnológicos; situación que plantea nuevos retos a la educación. Si se desea comprender un problema educativo, hay necesidad de contextualizarlo a nivel local, nacional e internacional, analizar sus interacciones y retroacciones, aprehender su multidimensionalidad; y tejer interdisciplinariamente la complejidad del hecho educativo.

Perspectiva del Pensamiento Complejo
Complexus significa lo que está tejido en conjunto; en efecto, hay complejidad cuando son inseparables los elementos diferentes que constituyen un todo (como el económico, el político, el sociológico, el psicológico, el afectivo, el mitológico) y que tienen un tejido interdependiente, interactivo e inter-retroactivo entre el objeto del conocimiento y su conocimiento, las partes y el todo, el todo y las partes, las partes entre sí, la complejidad es, de hecho, la unión entre la unidad y la multiplicidad Morin (2000a: 31)

El pensamiento complejo posibilita un método de construcción de saberes que tiene en cuenta el entretejido de las partes, la construcción de relaciones, el caos, el cambio y la incertidumbre. (Morin 2006)

El pensamiento complejo constituye un método que, en cuanto camino, no está hecho ni trazado, sino que se hace caminando, como bien lo expresa el poema de Machado (1998) : "caminante no hay camino, se hace camino al andar".

Esta perspectiva supera al pensamiento determinista, de causalidad lineal, reduccionista, fragmentario, aislado y rígido. El Pensamiento Complejo reconoce y religa componentes opuestos pero a la vez complementarios de una realidad: las partes y el todo, lo cuantitativo y lo cualitativo, el análisis y la síntesis, lo abstracto y lo concreto, la teoría y la práctica, la certeza y la incertidumbre, la vida y la muerte. Esta perspectiva de pensamiento permite un conocimiento pertinente y dialéctico del fenómeno de la Planetarización, nos da la posibilidad de aprehender el tejido de la vida humana, de la educación y del trabajo.

Vinculación: Educación-sociedad-trabajo.
Las instituciones formadoras de profesionales deben actuar conjuntamente con la colectividad a la que sirven, y en particular con el ámbito correspondiente de trabajo, para que los egresados puedan desempeñarse de acuerdo con un proyecto ético de vida personal y de nación, a través del ejercicio idóneo de la profesión, con visión local y planetaria.

La formación por competencias facilitará que los profesionales resuelvan (en el ámbito de su incumbencia) con responsabilidad, autonomía, creatividad, seguridad, precisión y oportunidad los problemas del contexto; solución que permitirá satisfacer las necesidades de la colectividad e impulsar su desarrollo.

Formación por Competencias Integradas

Desde la perspectiva del pensamiento complejo, se plantea formar profesionales que siempre estén desaprendiendo, aprendiendo y reaprendiendo para responder con idoneidad al cambio de época, a una realidad compleja, aceleradamente cambiante, turbulenta a ratos, con más incertidumbres y sorpresas que certezas. Una de las alternativas válidas para afrontar la situación actual y futura (local y mundial) es la formación por competencias, forjadora de profesionales polivalentes, polifuncionales y poliproyectuales (Morales, 2004). Por tanto, se requiere adquirir, formar, construir y desarrollar competencias que generen un desarrollo humano integral.

Conscientes de la necesidad de una formación de calidad, es necesario promover el desarrollo integral e integrado de competencias: Biofísicas, cognitivas, comunicativas, socioafectivas, instrumentales, profesionales, valorativas, espirituales y otras.

El perfil del egresado articula dos ejes de competencias:

- Competencias genéricas: Comunes a varias ocupaciones o profesiones
- Competencias específicas: Propias de una determinada profesión. Varias competencias específicas articuladas alrededor de un problema crítico de la práctica profesional (nodo problematizador) constituyen una competencia global.

El perfil deberá revisarse, evaluarse y reajustarse de acuerdo con los cambios del contexto.

Metodología participativa e investigación
Si la vida es interdependiente, la formación profesional debe ser un compromiso consigo mismo, con los demás y el ambiente; por lo cual se plantea que la enseñanza-aprendizaje parta de la vida y vuelva a transformar la vida. Al respecto, se postula una metodología participativa que tiene como eje la investigación formativa, de manera que en el aula se constituya y trabaje una "comunidad crítica de aprendizaje por investigación". En este sentido, se privilegia el aprendizaje basado en problemas (ABP), proyecto de aula, análisis de casos, juegos de simulación y otros: los mismos que parten de un problema y vuelven al él para solucionarlo.

Gestión de calidad
"La universidad es de calidad o no es universidad". La universidad debe formar profesionales idóneos para que lleven una vida digna, se desempeñen con éxito en la situación actual y futura, satisfagan las demandas sociales con criticidad, creatividad y productividad. Debe formar líderes transformacionales. La calidad educativa no es fruto de la improvisación; se sustenta en una filosofía de calidad educativa reflejada en: una planificación estratégica, proyecto educativo institucional, modelo educativo y evaluación potenciadora. La gestión exige planeación, ejecución y evaluación de la formación profesional para responder a las exigencias del contexto.

Evaluación potenciadora
La evaluación que se promueve es potenciadora del talento humano hacia su desarrollo integral. Implica un proceso de investigación de los desempeños vinculados con la formación de los estudiantes, que sirve de base para la reflexión comunitaria, generación de juicios de valor en base a parámetros epistemológicos, axiológicos, científicos, metodológicos, concretados en criterios e indicadores de calidad educativa. La evaluación es una práctica de aprendizaje, de renovación e innovación, una plataforma para asumir nuevos retos y trabajar para alcanzarlos.

COMPETENCIAS

Desde la perspectiva del modelo se concibe a las competencias: como un conjunto integrado de saberes (saber pensar, saber hacer, saber vivir en comunidad, saber emprender), que permite resolver problemas y proponer soluciones creativas en un contexto determinado, motivado por valores y la utilización del potencial de personalidad (inteligencias, aptitudes, actitudes, rasgos...) orientados al crecimiento de los seres humanos en comunidad (saber ser).

Incertidumbres y Riesgos de la Formación por Competencias
Los cambios del contexto (particularmente del sector productivo) pueden sorprender a las instituciones de educación superior con obstáculos inesperados, hechos casuales, y también atraer oportunidades; por lo cual las universidades y escuelas politécnicas tendrán que realizar ajustes necesarios y oportunos sobre la marcha del proceso curricular por competencias. Al respecto cabe tomar en cuenta lo que expresa Morin: "La estrategia, como el conocimiento, sigue siendo la navegación en un océano de incertidumbres a través de archipiélagos de certezas" (citado en Tobón, 2006). Por ello la educación se ve obligada a proporcionar las cartas náuticas de un mundo complejo y en perpetua agitación y, al mismo tiempo, la brújula para poder navegar por él (Delors, 1996; citado en Tobón, 2006).

"En la historia lo posible se vuelve imposible pero también hemos visto que lo improbable se realiza más que lo probable; sepamos, entonces, esperar lo inesperado y trabajar para lo improbable". (Morin, citado en Tobón, 2006)

A continuación se presenta un cuadro de algunos riesgos por la introducción de la formación por competencias, frente a los cuales se plantean alternativas.

Riesgos	Alternativas
Oposición al cambio	Educar para una realidad presente y futura
Desmedro de la autonomía académica ante el sector empresarial	Trabajo consensuado y conjunto: universidad-sociedad-sector productivo
Capacitación para la dependencia empresarial	Formación emprendedora
Pensamiento lineal	Pensamiento complejo
Capacitación de recursos humanos	Potenciación de talentos humanos
Perfil de formación economicista	Perfil de formación humana integral
Rigidez algorítmica	Manejo estratégico de las contingencias que puedan afectar los resultados esperados
Tecnología para deshumanizar	Proyecto ético de vida
Competencias para la rivalidad	Compartencias (minga)
Trabajo docente aislado	Docencia por proyectos interdisciplinarios
Statu quo pedagógico y del contexto	Estrategias de cambio y transformación pedagógica y del contexto

GUÍA METODOLÓGICA PARA DISEÑAR EL CURRÍCULO DE LAS CARRERAS EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO AYUDAS OPERATIVAS PARA EL DISEÑO DEL CURRÍCULO

ETAPA 1
MARCO REFERENCIAL DE LA CARRERA PROFESIONAL

Subetapa 1.1. Investigación del contexto socio económico y cultural de la profesión

Actividades	Preguntas
Caracterización socio-económica y cultural del contexto (síntesis).	¿Cuál es su percepción global de la realidad social y económica del país? Fuentes: INEC, Internet. prensa, otras.
Identificación de las potencialidades del contexto. en relación a la profesión.	¿Cuáles son los recursos importantes del contexto relacionados con la profesión?
Detección de necesidades sociales, económicas, políticas, a ser atendidas por el profesional.	¿Qué tipo de necesidades, intereses y problemas tendrá que atender el profesional?
Construcción de escenarios futuros de la profesión	¿Cuáles son los escenarios potenciales para el ejercicio de la profesión?

Subetapa 1.2. Investigación del mercado ocupacional

Actividades	Preguntas
Áreas ocupacionales del profesional	¿En qué áreas podría trabajar el profesional formado por competencias?
Identificación de los usuarios de los servicios del profesional	¿Qué tipos de personas o instituciones demandarían los servicios del profesional?
Relación demanda-oferta del profesional. La demanda no debe entenderse limitada únicamente al mercado ocupacional; sino en general a las necesidades, intereses y problemas del contexto	¿La oferta actual de profesionales es superior, igual o inferior a la demanda? (Fuentes: INEC, CONESUP, otras)
Delimitación del ámbito de trabajo de la carrera frente a otras carreras afines	¿Cuál sería el ámbito específico de trabajo del profesional frente a otros profesionales afines? (para evitar invasiones del ámbito ocupacional)
Elaboración del cuadro de Instituciones que imparten la carrera con ciclos de estudio, grado académico y título que otorgan	¿Qué instituciones de Educación Superior del país o del exterior imparten la carrera objeto de diseño o rediseño? (Fuente: CONESUP, internet)
Demostración de la necesidad de crear o mantener la carrera	¿Qué datos y argumentos se tiene para demostrar la necesidad de mantener o crear la carrera?

Subetapa 1.3. Fundamentación de la carrera

Se debe articular la Filosofía de la Calidad de la Educación que orientará al currículo de la carrera con el PEI, Modelo Educativo, Planificación Estratégica y Modelo de Evaluación

Actividades	Preguntas
Determinación de los valores organizacionales de la Universidad, de la Facultad y Carrera	¿Qué valores y principios orientan a la Universidad, Facultad y Carrera?
Construcción del Modelo Pedagógico que sustentará el currículo.	¿Qué modelo pedagógico servirá de base a los currículos de la U?
Definición del enfoque curricular	¿Qué enfoque curricular sustentará la formación profesional?
Definición de la Carrera	¿Cómo se describiría la carrera profesional, de manera que no se confunda con otra?

ETAPA 2
ELABORACIÓN DE PERFILES POR COMPETENCIAS

Perfiles	Preguntas a resolver
DE INGRESO CON FINES	¿Cuáles son las características reales de los PROPEDÉUTICOS bachilleres que ingresan a la universidad? - Socio-económicas - Culturales - Académicas - Otras (en función de carrera) - ¿Con qué competencias deben ingresar? - ¿Con qué niveles de desarrollo de las competencias deseables? - ¿Requisitos de ingreso?
DEL EGRESADO	¿Qué problemas críticos deberá resolver en el contexto actual y futuro de la profesión? ¿Con qué competencias genéricas y específicas afrontará los problemas? ¿Cómo se describen esas competencias? ¿Cuáles son los elementos de las competencias? ¿Cuáles son los niveles de desarrollo y sus indicadores de logro? ¿Cuál es el nivel mínimo aceptable (promoción)? ¿Cuál es el perfil de competencias del egresado? ¿Cómo se validará el perfil de competencias? (Universidad, empleadores, expertos, egresados, especialistas, otros)
DEL DOCENTE	¿Qué problemas críticos deberá resolver el docente en el contexto actual y futuro de la universidad? ¿Con qué competencias genéricas y específicas afrontará los problemas? ¿Cómo se describen esas competencias? ¿Cuáles son los elementos de las competencias? ¿Cuáles son los niveles de desarrollo y sus indicadores de logro? ¿Cuál es el nivel mínimo aceptable para el trabajo docente en la universidad? ¿Cuál es el perfil de competencias del docente? ¿Cómo se validará el perfil de competencias? Pedagogos, autoridades, expertos, egresados, especialistas, otros.

ETAPA 3
ORGANIZACIÓN Y ESTRUCTURACIÓN DEL CURRÍCULO

Subetapa 3.1. Determinación de módulos formativos

Actividades	Preguntas
Definición de política curricular de trabajo por módulos formativos	¿Cuáles son las líneas generales de acción de la política curricular de trabajo por módulos? (vinculación educación-sociedad trabajo, teoria – práctica, investigación – desarrollo humano)
Establecimiento de uno o más módulos por cada competencia genérica. Se excluyen de dicha construcción las competencias que serán tratadas de manera transversal	¿Cuáles son los módulos por cada competencia genérica? ¿Qué competencias genéricas serán tratadas de manera transversal?
Decisión de un módulo por cada competencia específica	¿Cuáles son los módulos por cada competencia específica?

Subetapa 3.2. Elaboración del plan de estudios.

Actividades	Preguntas
Diseño de la matriz de integración: perfil de competencias, requerimientos y módulos	¿Se construyó la matriz que integra perfil de competencias, saberes (conocimientos, habilidades y destrezas, actitudes y valores) y módulos requeridos (nombres de los módulos)?
Establecimiento de niveles de formación (por quinquemestres, semestres o años de estudio)	¿Se determinaron los niveles por semestres?
Determinación de horas-aula y horas de estudio independiente para definir créditos según normativa nacional e internacional.	¿Se estableció la relación horas aula (60 minutos) y horas de estudio independiente tutoriado por cada crédito? (ejemplo: 16 horas aula y 16 horas de trabajo independiente tutoriado)
Decisión del número total de créditos de la carrera de conformidad con las normativas establecidas	¿Cuál es el número total de créditos que tendrá la carrera de acuerdo a las normativas establecidas? (300 créditos repartidos entre: módulos (250), prácticas pre-profesionales (20) y trabajo investigativo de grado (30))
Diseño del plan de estudios con créditos.	¿Se determinaron los módulos por niveles con los créditos respectivos?

Subetapa 3.3. Elaboración de la malla curricular por módulos

Diseñar una matriz tomando en cuenta las siguientes sugerencias:

Actividades	Preguntas
Niveles por semestres	¿Se ha determinado el número total de niveles de la carrera de acuerdo con la normativa del CONESUP?
Competencias genéricas y específicas	¿Se diferencian en la malla los bloques de las competencias genéricas y específicas?
En la parte inferior derecha de la matriz se ubican las competencias genéricas que se tratarán mediante módulos determinados (última columna)	¿Se ubicaron los módulos respectivos en los niveles adecuados?
El espacio superior derecho está dedicado a las competencias específicas (última columna)	¿Se ubicaron los módulos respectivos en los niveles adecuados?
En los diferentes niveles se van ubicando los módulos respectivos, de acuerdo con el número de créditos definidos para cada nivel (25) y la secuencia lógica de la ciencia en cuanto a prerrequisitos	¿Se diseñó la malla curricular cuidando la consistencia, la coherencia interna y externa, los créditos de la carrera y de cada nivel?
Se ubican los módulos optativos correspondientes a la especialización, a partir del quinto nivel	¿Guardan correspondencia los módulos optativos con la especialización?
Aseguramiento del valor agregado de la carrera	¿Qué competencias definen el valor agregado de la carrera?

Subetapa 3.4. Elaboración de Módulos

Actividades	Preguntas
Distribución de módulos por equipos de trabajo.	¿Se ha distribuido la elaboración de módulos a equipos de profesores especialistas?
Revisión de problemas que se pretende afrontar con los módulos	¿Se tiene una clara visión de los problemas que se pretende afrontar con los módulos?
Análisis de las competencias genéricas y específicas a desarrollar con módulos.	¿Qué competencias se desarrollarán con los módulos?
Revisión del formato para la elaboración de módulos	¿Se tiene una visión clara del formato para elaborar módulos?
Desarrollo de cada elemento del módulo.	¿Se ha seguido el formato establecido al elaborar los módulos?
Autoevaluación del módulo elaborado por el equipo de trabajo.	¿Responde el módulo a las características que le son propias?
Revisión del módulo por equipo de especialistas.	¿El equipo de trabajo ha evaluado el módulo utilizando criterios como: pertinencia frente al perfil de competencias, coherencia interna, correspondencia con otros módulos, factibilidad de desarrollo completo de la competencia?
Entrega del módulo para trámites de aprobación e impresión.	¿Se ha entregado oportunamente los módulos para su revisión y trámite de aprobación?

ETAPA 4
MARCO ADMINISTRATIVO LEGAL

Subetapa 4.1. Marco administrativo

Actividades:
Elaboración de cuadros de recursos que dispone la Institución o Facultad para ofertar la Carrera.

TALENTO HUMANO PERSONAL DOCENTE

Título Especialización Experiencia Docente Módulos que puede procesar con idoneidad
1.-
2.-
3.-
ADMINISTRATIVOS
Cargo Título Especialidad Años de Experiencia
1.-
2.-
3.-

INFRAESTRUCTURA
Identificación Número disponible Estado de conservación Disponible por convenio
1. Aulas
2. Talleres
3. Laboratorios
4. Bibliotecas
5. Baterías Sanitarias
6. Espacios recreativos
7. Oficinas
8. Otros

RECURSOS TECNOLÓGICOS
Tipos Número disponible Estado de conservación Número necesario
Computadoras
Máquinas de reprografía
Filmadoras
Retroproyectores
Microscopios
Proyectores digitales
Software
Servicio de Internet
Otros

RECURSOS FINANCIEROS:
Presupuesto para funcionamiento
Otros:
.....
.....

ORGANIGRAMAS
.....
.....
CRONOGRAMA
.....
.....

Subetapa 4.2. Marco legal
Construcción del marco legal en concordancia con los requerimientos del enfoque de competencias y sujeción a la Ley de Educación Superior y su Reglamento)

Actividades	Preguntas
Elaboración de reglamentos.	¿Se construyó el Marco Legal de conformidad con los requerimientos del enfoque de competencias? (Ley de Educación Superior y su Reglamento, Reglamento de régimen académico de tercer nivel, Reglamento del distributivo de trabajo por módulos, Reglamento de prácticas preprofesionales, Reglamento de Evaluación – Acreditación del Aprendizaje, Reglamento de Títulos y Grados).

EVALUACIÓN DEL DISEÑO CURRICULAR

FACULTAD: .....
CARRERA: .....

REFERENCIA: A= Bien; B= Requiere mejorar; C= No pertinente

ETAPAS SUBETAPAS ASPECTOS ESCALA DE PONDERACIÓN
A B C

1. MARCO REFERENCIAL DE LA CARRERA
1.1.
Investigación del contexto social, económico y cultural de la profesión. y su prospectiva
Caracterización socio-económica del contexto (síntesis).
Identificación de las potencialidades del contexto en relación con la profesión
Detección de necesidades a ser atendidas por el profesional.
Construcción de escenarios futuros para la profesión

1.2.
Delimitación de Investigación del mercado ocupacional, las áreas ocupacionales del profesional.
Identificación de los usuarios de los servicios del profesional.
Relación demanda-oferta del profesional (Análisis de tendencias).
Delimitación del ámbito de trabajo de la carrera frente a otras carreras afines.
Elaboración del cuadro de instituciones que imparten la carrera, con ciclos de estudio, grado académico y título que otorgan.
Demostración de la necesidad de crear la carrera.

1.3.
Fundamentación de la carrera
Definición de valores organizacionales de la Universidad
Construcción del modelo pedagógico que orientará el currículo.
Conceptualización del currículo.
Enfoque curricular.
Definición de la Carrera.

2.ELABORACIÓN DE PERFILES POR COMPETENCIAS

2.1.
Perfil de ingreso a la carrera con fines de propedéuticos
Determinación competencias de entrada: comunicativas, de estudio e investigación, de pensamiento lógico y de especialidad
Identificación de perfiles de ingreso por competencias
Validación del perfil de ingreso, mediante juicio de expertos (autoridades, profesores de carrera y diseñadores del currículo)

2.2.
Definición de los ámbitos de Perfil del Egresado, actuación profesional
Elaboración del mapa de problemas críticos en los diferentes ámbitos de perfil profesional
Determinación de competencias genéricas y específicas.
Normalización de dichas competencias
Determinación del perfil del egresado
Validación del perfil del egresado, mediante juicio de expertos (empleados, egresados, colegios profesionales, profesores, especialistas de la carrera, requerimientos nacionales e internacionales de homologación)

2.3.
Determinación de competencias genéricas y específicas
Perfil del docente universitario
Determinación del perfil del docente universitario
Validación del perfil del docente universitario (expertos en educación, especialistas e investigadores de las carreras)

3. ORGANIZACIÓN Y ESTRUCTURACIÓN DEL CURRÍCULO

3.1.
Definición
Determinación de módulos por competencias.
De política curricular de trabajo por módulos
Establecimiento de uno o más módulos por cada competencia genérica. Se excluyen de dicha construcción las competencias que serán tratadas de manera transversal
Decisión de un módulo por cada competencia específica

3.2.
Elaboración del plan de integración: estudios.
Diseño de la matriz de perfil de competencias, requerimientos y módulos
Establecimiento de niveles de formación (por quinquemestres, semestres o años de estudio)
Determinación de horas-aula (60 minutos) y horas de estudio independiente para definir créditos según normativa nacional e internacional .
Decisión del número total de créditos de la carrera de conformidad con las normativas establecidas
Diseño del plan de estudios con créditos.

3.3
Elaboración de la malla curricular por módulos
Niveles por semestres.
Competencias genéricas y específicas
En la parte inferior derecha de la matriz se ubican las competencias genéricas que se tratarán mediante módulos determinados (última columna)
El espacio superior derecho está dedicado a las competencias específicas (última columna)
En los diferentes niveles se van ubicando los módulos respectivos, de acuerdo con el número de créditos definidos para cada nivel (25) y la secuencia lógica de la ciencia en cuanto a prerrequisitos
Se ubican los módulos optativos correspondientes a la especialización a partir del quinto nivel
Aseguramiento de la consistencia, coherencia interna y externa de la malla curricular.

4. MARCO ADMINISTRATIVO Y LEGAL

4.1.
Marco Administrativo
Elaboración de cuadros de recursos que dispone la institución
- Talento humano especializado (Profesionales docentes y Profesionales Administrativos).
- Infraestructura (aulas, talleres, laboratorios, bibliotecas)
- Recursos tecnológicos
- Recursos financieros

Diseño de organigramas

4.2.
Marco Legal
Construcción del marco legal en concordancia con los requerimientos del enfoque de competencias y sujeción a la Ley de Educación Superior y Reglamento)
Elaboración de reglamentos. Ejemplos:
Reglamento de Evaluación de Aprendizaje
Referencia al Reglamento de Títulos y Grados

UTILIZACIÓN DE TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS PARA LA OBTENCIÓN DE JUGO CLARIFICADO CONCENTRADO DE MORA *(Rubus glaucus)*

Marcillo, V.[1]; Cruz, A.P.G.[2]; Cabral, L.M.C.[2]; Matta, V.M.[2]; Vera, E.[1]; Ruales, J.[1]
[1]ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
Casilla: 17-01-2759 Email: verito_marcillo@hotmail.com
QUITO-ECUADOR
[2]EMBRAPA AGROINDUSTRIA DE ALIMENTOS
RIO DE JANEIRO-BRASIL

Palabras claves: mora (*Rubus glaucus*), jugos concentrados, ósmosis inversa, membranas planas, membranas espirales

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue estudiar el proceso de concentración del jugo clarificado de mora *(Rubus glaucus)* por ósmosis inversa.
El jugo fue clarificado por microfiltración tangencial y para la concentración se utilizó equipos de ósmosis inversa (Sistema Placas y Sistema Espiral). Las pruebas se realizaron a diferentes temperaturas (25 y 35° C) y presiones transmembrana (40 y 60 bar).
Los resultados muestran que con un proceso conducido a 60 bar y 25° C para el sistema de placas se obtiene una máxima concentración de 26° Brix, 244,85 mg Cianidina/100g de antocianinas y 711,8 mg Ac. Gálico/100g de polifenoles totales.

INTRODUCCIÓN

La mora de Castilla *(Rubus glaucus)*, es una de las variedades de mayor importancia comercial y la más cultivada en la región Andina del Ecuador, debido a su gran aceptación por sus características sensoriales (aroma, sabor y color).
Por otra parte, el uso de tecnología de membranas en la industria de alimentos ha aumentado su interés en los últimos años, debido a la posibilidad de separar moléculas de interés comercial a menor costo, el moderado consumo de energía y la minimización de daños térmicos en el proceso (Petrus Cuperus, 1998). Así por ejemplo, los procesos con membranas como microfiltración y ósmosis inversa son especialmente atrayentes para concentración de jugos de frutas, ya que permitirán una mejor preservación de componentes funcionales, nutricionales y sensoriales de los jugos, porque los procesos son realizados a temperatura ambiente, a diferencia de otros procesos tradicionales como la evaporación donde la concentración de jugos son realizados a altas temperaturas (Bottino *et al*., 2002).
Es así que, el estudio de concentración de jugo clarificado de mora por ósmosis inversa permitirá elaborar y presentar un nuevo producto que cumpla con las exigencias de consumidores existentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia Prima

Se utilizó mora (*Rubus glaucus*) fresca 100% madura de la Provincia de Tungurahua-Ecuador, como materia prima para la producción de jugo clarificado por microfiltración tangencial, a su vez este jugo clarificado se empleó en los ensayos de concentración.

Metodología

Para la obtención del jugo clarificado de mora se utilizó una unidad piloto de microfiltración (TIA), provisto de una membrana cerámica de 0,2 µm de porosidad y con una superficie de membrana de 0,2 m^2, del Departamento de Ciencias de Alimentos y Biotecnología (DECAB), Quito – Ecuador. Los jugos clarificados fueron almacenados en recipientes plásticos de capacidad de 4 l, a congelación (-8° C) hasta su utilización en las pruebas de concentración.

Las pruebas de concentración del jugo clarificado de mora se realizaron en los equipos de ósmosis inversa Sistema Placas – Membranas Planas LAB UNIT M-20 DDS y Sistema Espiral LAB UNIT M-2 WGM de la Planta Piloto II de Embrapa Agroindustria de Alimentos – Brasil.

El sistema espiral tiene un área filtrante de 1,4 m^2 y una exclusión nominal de NaCl del 95%. El tanque de alimentación tiene una capacidad de 20 l y una presión máxima de trabajo de 40 bar.

En el sistema espiral se realizaron pruebas de permeabilidad hidráulica y de jugo clarificado a diferentes temperaturas y presiones transmembrana. Las pruebas de concentración del jugo fueron a 25 y 35° C con una presión transmembrana de 40 bar.

El sistema placas tiene un área filtrante de 0,576 m^2 y una exclusión nominal de NaCl del 95%. El tanque de alimentación tiene una capacidad de 12 l y una presión máxima de trabajo de 60 bar. Las pruebas de concentración del jugo se realizaron a 25 y 35° C y una presión transmembrana de 40 y 60 bar.

En cada prueba se tomaron muestras de jugo al inicio y final de cada proceso, además se midió el flujo del permeado y los sólidos solubles de la fracción retenida durante todo el proceso cada 5 minutos.

Tanto en la materia prima como en el jugo concentrado se cuantificaron sólidos solubles (°Brix), pH, acidez (Lutz, 1985), antocianinas (Fuleki y Francis, 1968), fenólicos totales (Georgé *et al*., 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1. se presentan las curvas de permeabilidad con agua y jugo clarificado de mora obtenidas en el sistema de membranas espirales por ósmosis inversa. La permeabilidad hidráulica obtenida en estas membranas fue de 1,9 l/hm^2bar con una resistencia de la membrana de 0,53 hm^2bar/l. Mientras que, la curva de la permeabilidad del jugo muestra que existe una reducción significativa ($p<0,05$) de los valores del flujo del permeado y una pérdida de la linealidad con relación a la verificada para el agua.
Además, el flujo límite del permeado para el jugo no pudo ser determinado en el rango de presiones que el sistema permite trabajar (40 bar presión máxima de operación), ya que el flujo de permeado aumenta para cada condición de presión hasta los 40 bar.

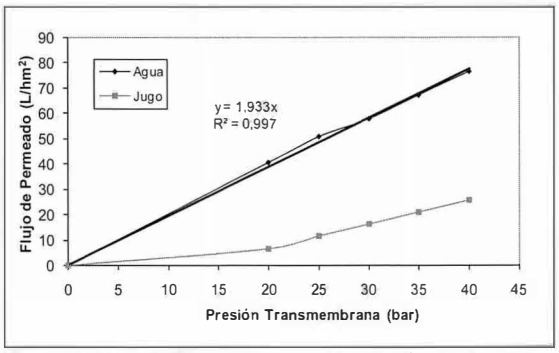


Figura 1. Permeabilidad con agua y jugo clarificado de mora en membranas espirales a 25° C.

La permeabilidad del jugo clarificado de mora aumenta al elevar la temperatura del proceso (Figura 2.), obteniéndose un incremento del 31% cuando el proceso es a 35° C con respecto al proceso que es a 25° C. Sin embargo, el porcentaje de aumento de la permeabilidad empieza a disminuir cuando las temperaturas de trabajo pasan de los 35° C a 40° C. A la presión de 40 bar se tienen los mayores flujos de permeados y para los procesos a temperaturas de 35 y 40° C, los flujos no son estadísticamente diferentes ($p<0,05$).

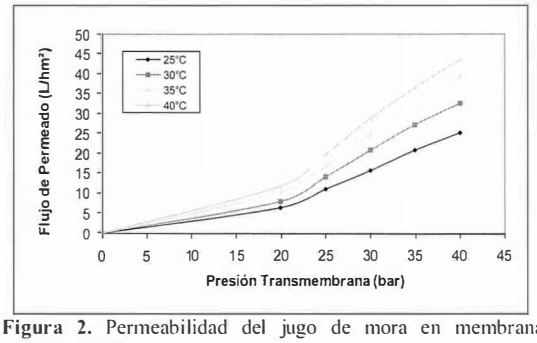


Figura 2. Permeabilidad del jugo de mora en membranas espirales a diferentes temperaturas.

La concentración del jugo en los sistemas se llevó a cabo en modo batch, con un flujo de permeado inicial alto, la concentración sucedió rápido, reduciendo el volumen de alimentación e incrementando la presión osmótica del jugo, lo cual causó la disminución del flujo a lo largo del proceso (Figura 3.).

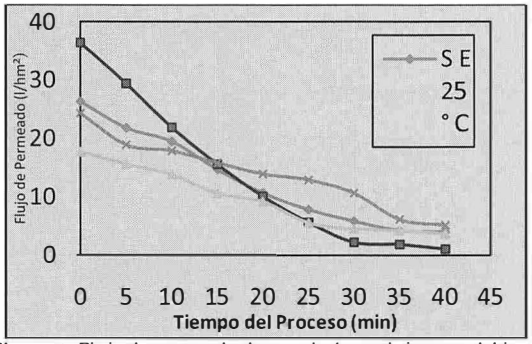


Figura 3. Flujo de permeado durante la ósmosis inversa del jugo clarificado de mora (presión transmembrana de 40 bar), en los sistemas espiral (SE) y placas (SP).

El flujo medio para el sistema espiral fue de 14 l/hm^2 a 25° C y 15 l/hm^2 a 35° C a una presión transmembrana de 40 bar, lo que muestra que la temperatura no influyó significativamente en el flujo medio del permeado. Mientras que, el flujo medio para el sistema de placas fue de 9,5 l/hm^2 a 25° C y 14 l/hm^2 a 35° C a una presión transmembrana de 40 bar, lo que indica que en este sistema si influye significativamente la temperatura del proceso en el flujo medio del permeado.

La variación del contenido de sólidos solubles (°Brix) durante el proceso de ósmosis inversa en los sistemas espiral y placas del jugo clarificado se presenta en la Figura 4. Las curvas son típicas del proceso, de manera que la concentración aumentó hasta el límite de la presión osmótica del jugo. Para el sistema espiral se obtuvo un factor de concentración volumétrica de 2,5 y 2,6 para los procesos a 25 y 35° C respectivamente. Mientras que, para el sistema placas se obtuvo un factor de concentración volumétrica de 2,1 para los procesos a 25 y 35° C, entonces el mayor factor de concentración volumétrica se obtuvo en el sistema espiral a las mismas condiciones de operación.

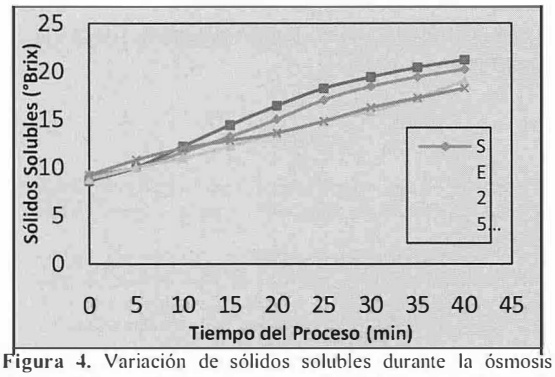


Figura 4. Variación de sólidos solubles durante la ósmosis inversa del jugo clarificado de mora (presión transmembrana de 40 bar), en los sistemas espiral (SE) y placas (SP).

Con los resultados (Figuras 3 y 4.) para un mismo tiempo de operación (40 minutos), al comparar los dos sistemas se tiene que con membranas espirales se obtuvo los mejores flujos medios y concentraciones de jugo. Sin embargo, si se podría alcanzar con membranas planas las mismas concentraciones de jugo que se obtienen con membranas planas, pero esto requeriría un mayor tiempo de operación.

El flujo del permeado decrece con el aumento de la concentración de sólidos solubles durante el proceso de concentración como se muestra en la Figura 5.

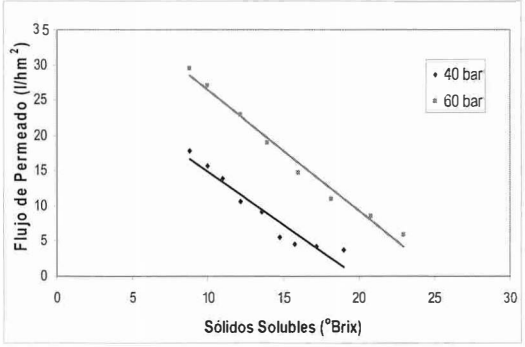


Figura 5. Efecto de la concentración del jugo clarificado de mora en el flujo del permeado a diferentes presiones transmembrana en el sistema de placas a 25° C.

En el sistema de placas a una presión transmembrana de 60 bar se obtuvo la más alta concentración del jugo que fue de 26° Brix con un flujo medio de permeado 14,8 l/hm^2, en 40 minutos de proceso.

Las propiedades del jugo de mora antes y después de los diferentes procesos de ósmosis inversa se muestran en las Tablas 1, 2 y 3.

Tabla N.1 Caracterización del jugo de mora en el proceso de ósmosis inversa en el sistema espiral (presión transmembrana de 40 bar).

	25° C		35° C	
	Jugo Clarificado	Jugo Concentrado	Jugo Clarificado	Jugo Concentrado
Sólidos Solubles (°Birx)	8,3	19,6	8,7	22,2
pH	2,91	2,8	2,88	2,81
Acidez (g Ác. Cítrico/100g)	2,2	4,86	2,2	5,69
Antocianinas (mg Cianidina/100g)	96,49	221,34	92,23	208,20
Polifenoles Totales (mg Ác. Gálico/100g)	271,15	568,11	265,04	678,6

Tabla N.2 Caracterización del jugo de mora en el proceso de ósmosis inversa en el sistema placas (presión transmembrana de 40 bar).

	25° C		35° C	
	Jugo Clarificado	Jugo Concentrado	Jugo Clarificado	Jugo Concentrado
Sólidos Solubles (°Birx)	8,73	18,07	9,03	18,33
pH	2,8	2,7	2,91	2,79
Acidez (g Ác. Cítrico/100g)	2,49	5,26	2,63	4,72
Antocianinas (mg Cianidina/100g)	94,46	189,71	112,85	200,2
Polifenoles Totales (mg Ác. Gálico/100g)	274,35	556,66	303,15	579,89

Tabla N.3 Caracterización del jugo de mora en el proceso de ósmosis inversa en el sistema placas (presión transmembrana de 60 bar).

	25° C	
	Jugo Clarificado	Jugo Concentrado
Sólidos Solubles (°Birx)	8,53	26
pH	2,87	2,78
Acidez (g Ác. Cítrico/100g)	2,13	6,2
Antocianinas (mg Cianidina/100g)	92,84	244,85
Polifenoles Totales (mg Ác. Gálico/100g)	245,95	711,8

Los resultados de la caracterización del jugo (Tablas 1, 2 y 3.) muestran que es posible concentrar por ósmosis inversa a diferentes parámetros (temperatura y presión) y membranas, preservando y concentrando aproximadamente en 2 (a 25-35° C y 40 bar) y 3 (a 25° C y 60 bar) veces los compuestos de intereses funcionales como son las antocianinas y los polifenoles. En el sistema de placas a las condiciones de 25° C y 60 bar se obtuvo la mayor concentración de sólidos solubles (26° Brix), antocianinas (244,85 mg Cianidina/100g) y polifenoles totales (711,8 mg Ac. Gálico/100g).

CONCLUSIONES

El proceso de concentración por ósmosis inversa se presenta como una alternativa para la obtención de jugo concentrado de mora con un buen contenido de componentes funcionales como son los polifenoles y antocianinas.

El parámetro más influyente en el proceso de concentración por ósmosis inversa del jugo de mora fue la presión transmembrana.

En el proceso de ósmosis inversa conducido a 60 bar y 25° C en el sistema de placas se obtuvo la más alta concentración de sólidos solubles, antocianinas y polifenoles totales.

AGRADECIMIENTO

Investigación financiada por la Unión Europea FP6-2003-INCO-DEV-2, contrato 015279 proyecto PAVUC.

BIBLIOGRAFÍA

- Bottino A, Capannelli, G, Turchini, A, Della Valle, P, Trevisan, M. 2002. Integrated membrane processes for the concentration of tomato juice. Desalination 148:73-7.
- Fuleki T, Francis, F. 1968. Quantitative methods for anthocyanins - 1. Extraction and determination of total anthocyanins in cranberries. J. Food Sci. 33:72-7.
- Georgé S, Brat, P, Alter, P, Amiot, MJ. 2005. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. J. Agric. Food Chem. 53:1370-3.
- Lutz A. 1985. Instituto Adolfo Lutz. Normas Analíticas: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. Sao Paulo.
- Petrus Cuperus F. 1998. Membrane processes in agro-food State-of-the-art and new opportunities. Sepa. Puri. Tech. 14:233-9.

VALORACION METODOLÓGICA PARA EL ESTUDIO DE MEZCLAS TERNARIAS EN SISTEMAS ALIMENTARIOS

Álvarez Laverde Héctor Rene[1]; Salamanca Grosso Guillermo [2]
[1]UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA
DEPARTAMENTO DE ESTADÍSTICA E INVESTIGACIÓN OPERATIVA. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA. UPC. BARCELONA. (ESPAÑA).
hector.rene.alvarez@upc.edu.co
[2]GRUPO DE INVESTIGACIONES MELLITOPALINOLOGICAS Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD DEL TOLIMA
IBAGUÉ-COLOMBIA
gsalaman@ut.edu.co

Palabras clave: Desarrollo de productos. Diseño experimental. Tecnología de Alimentos.

RESUMEN

El diseño de mezclas para la elaboración de nuevos productos, es una de las áreas que ha venido ganando interés entre los productores de alimentos, dado que se pueden realizar combinaciones de productos buscando nuevas características funcionales y optimizar el uso de materias primas. Dado que no es frecuente considerar las herramientas del diseño estadístico como estrategia de trabajo en la optimización de productos, se ha planteado abordar una metodología didáctica que permita abordar esta opción y recomendarla en procesos de enseñanza aprendizaje en estudiantes de formación con énfasis en ingeniería y estadística aplicada. El trabajo que se presenta considera algunas investigaciones del diseño con mezclas e ilustra las características y bondades del sistema como estrategia didáctica del diseño experimental. Se muestra además los procedimientos de optimización y valoración de mezclas ternarias.

1. INTRODUCCIÓN

En el diseño de productos y procesos agroalimentarios, es frecuente acudir a las herramientas estadísticas de diseño robusto y experimental para la valoración y optimización de mezclas de varios componentes o ingredientes. Esta tarea fundamentalmente corresponde a los Departamentos de Investigación y desarrollo (I+D), donde se toman decisiones de carácter interdisciplinar y ajustados a las políticas de las compañías procesadoras y generadoras de nuevos productos. En la elaboración de jugos, néctares, conservas, compotas, mermeladas, cremogenados o yogures, se requiere encontrar la mezcla óptima de ingredientes que permita generar las mejores características organolépticas, físicas, reologicas o químicas, aun más económica, cuando alguno de los ingredientes es muy costoso. La práctica común como se hace este proceso, es a ensayo y error en donde el investigador ensaya varias combinaciones o mezclas de ingredientes hasta encontrar una que a su criterio sea mejor, pero no la óptima (Álvarez, 2006). También es común que estas mezclas requieran ser sometidas a algún proceso como de secado, cocción o filtración, las condiciones mismas de procesamiento también van a influir en la búsqueda del desempeño optimo, aun más pueden interactuar con la mezcla misma, por ejemplo puede ocurrir que la temperatura o presión del proceso este interactuando con la combinación de componentes al mezclar mieles y otras componentes.

Cuando se esta frente a una situación de encontrar la mezcla optima de componentes, lo mejor es usar un tipo de diseño de experimentos especiales que son los diseños de mezclas (Mixture Design). En este tipo de experimentos los factores que intervienen son las proporciones de las componentes de la mezcla y las respuestas a optimizar son función de esas proporciones, con respecto al total y no dependen de la cantidad de cada componente. La forma como se analizan este tipo de diseño es a través de una superficie de respuesta, que es la permite encontrar la mezcla optima. Una característica especial de los diseños de mezclas es que la cantidad total de la mezcla normalmente se fija en el diseño de experimentos y la cantidad de cada componentes es proporcional a la cantidad total, además la proporción en el experimento de mezclas no puede variar independientemente como en los diseños factoriales por que ellas están restringidas a que la suma sea constante (1 o 100%).

Al imponerle tal restricción de las componentes complica el diseño y el análisis de diseños de mezclas. Adicional a esta restricción es posible imponer otro tipo de restricciones a las proporciones de las componentes, es decir cuando no se permite mezclas puras (una sola componente), pero en el mismo caso la suma debe ser constante. El diseño de mezclas fue propuesto por Scheffé (1958, 1963). En la década de los 60s se utilizo en industria química como una necesidad de optimizar la experimentación industria de productos y procesos químicos, especialmente en la fabricación de insecticidas, petroquímica y cementos. Otros investigadores que han permitido desarrollar la metodolología especialmente en diseño de mezclas con restricciones y con variables de proceso son Thompsom y Myers (1968); Snee (1971); Cornell (1973, 1983, 1986). En la industria de alimentos se ha venido aplicando desde las década de los 70s, el primer trabajo fue reportado por Henika y Palmer (1976) en mezcla de cereales; Huor, Ahmed y Cornell (1981), en pruebas valoración sensorial optimizaron las proporciones de melón, piña y naranja en un ponche de frutas y Jhonson y Zabick (1981), desarrolló un diseño de mezclas para construir una superficie de respuesta para estudiar las interacciones entre proteínas de la torta tipo ángel. Khuri y Cornell (1987). reporta aplicaciones para el diseño edulcorantes y aplicaciones donde se involucran variables de proceso para el diseño de un pate donde se involucraron las temperaturas y los tiempos de cocción. En la última década las aplicaciones en la industria de alimentos han crecido significativamente, a tal punto que en casi todas las revistas técnicas en alimentos, se reportan aplicaciones con diseño de mezclas.

2. EXPERIMENTOS DE MEZCLAS

En los experimentos con mezclas los factores son las componentes o ingredientes de una mezcla por lo tanto sus niveles no son independientes (Álvarez, 2006, Rodríguez, 2006). Por ejemplo si consideramos la mezcla ternaria de tres componentes, las proporciones de las tres componentes las notamos como $x_1, x_2 y x_3$, donde:

$$X_1 + X_2 + X_3' = 1 \quad y \quad 0 \le X_i \le 1 \qquad (1)$$

Estas restricciones se ilustran en la figura 1. Para el caso de mezclas ternarias, el espacio factorial, es un triangulo cuyos vértices corresponden a formulaciones que son componentes puros (mezclas que consisten el 100% de una sola componente). En la figura 1. Se muestra la relación de componentes en mezclas ternarias. En este caso la región experimental restringida puede representarse en un sistema de coordenadas trilineales.

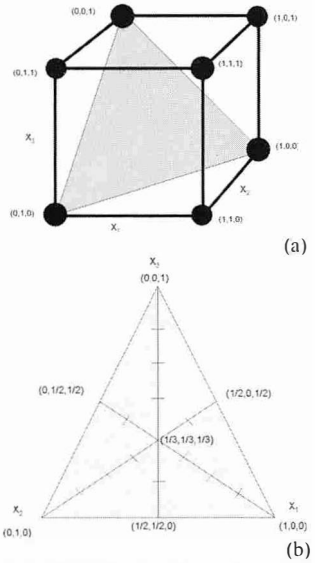


Figura 1: Espacio factorial (a) y sistema coordenadas trilineal (b) de una mezcla ternaria

Cada uno de los lados del triangulo representa una mezcla que solo se componen de dos componentes, los vértices representa las mezclas puras, el centro representa la mezcla con igual proporción de componentes. Para el diseño experimental de mezclas se usan dos tipos de diseños: (a) Diseños Simplex-Laticce y (b) Diseños Simplex-centroides. La figura 2 ilustra los dos tipos de diseño Simplex

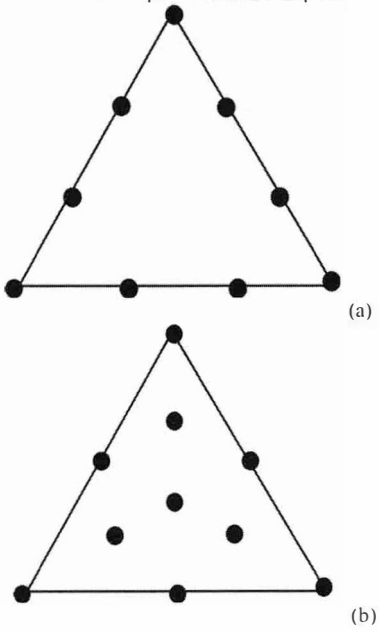


Figura 2: Diseño Simples-Laticce (a) y Diseño simples-Centroide (b)

Los diseños Simplex-laticce tienen la ventaja de que utiliza un menor número de de ensayos, pero la mayoría de puntos están en la frontera y en general el tipo de superficie que se puede estimar en la respuesta es lineal, es aconsejable usar los diseños Simplex-centroide porque incluye mayos numero de puntos en el interior y este si permite estimar superficies cuadráticas y cúbicas, con la cual se puede hallar el punto optimo. El objetivo de los diseños de mezclas es estimar un modelo con curvatura que permita encontrar la mezcla de componentes que tienen el punto óptimo. Para el caso del modelo cuadrático, el modelo a estimar es de la forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 \quad (2)$$

Sujeto a la restricción de $X_1+X_2+X_3 =1$ A este modelo se la llama modelo cuadrático redundante y la restricción hace complicado la estimación del modelo, por tanto se trabaja con el modelo donde se incluye la restricción dentro del modelo:

$$Y = \beta'_1 X_1 + \beta'_2 X_2 + \beta'_3 X_3 + \beta'_{12} X_1 X_2 + \beta'_{13} X_1 X_3 + \beta'_{23} X_2 X_3 \quad (3)$$

Este modelo que en su expresión no tiene forma de cuadrático pero al estimarlo y al graficarlo tiene curvatura, como se muestra en la figura 3, se le llama el modelo no redundante y es el que finalmente se estima.

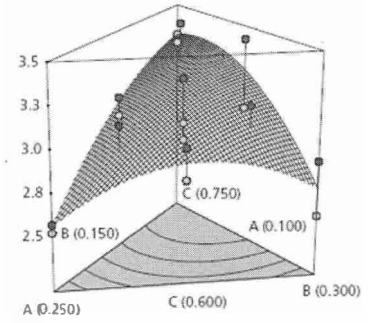


Figura 3: Grafico de contornos y de superficie de respuesta para el modelo cuadrático

3. Diseños de mezclas con restricciones

En muchas mezclas no es posible explorar el rango total $0 \leq x_i \leq 1$, con todas las componentes, esto puede ocurrir por razones técnicas o económicas. Por ejemplo, cuando uno de los ingredientes es agua o azúcar, no tiene sentido evaluar mezclas puras de agua o azúcar, en tales caso se deben adicionar restricciones a estas componentes. En general las restricciones pueden ser de la forma:

$$0 \leq a_i \leq X_i \leq b_i \leq 1 \qquad 0 \leq a_i \leq X_i \quad (4)$$

En general para el establecer el diseño de mezclas con restricciones, no es simple dependiendo de la estructura de las restricciones. Para simplificar vamos a considerar en este caso cuando tenemos solo restricciones inferiores, es decir . En este caso se definen lo que se llaman seudo componentes:

$$X'_i = \frac{X_i - a_i}{\left(1 - \sum_{j=1}^{3} a_j\right)} \qquad \text{con i=1,2 y 3} \quad (5)$$

Con esta transformación se garantiza que las pseudo componentes cumplen:

$$0 \leq X'_i \leq 1 \quad y \qquad X'_1 + X'_2 + X'_3 = 1 \quad (6)$$

Esta transformación se ilustra en la figura 4. De esta forma el diseño y el análisis se realiza completamente sobre las componentes transformadas.

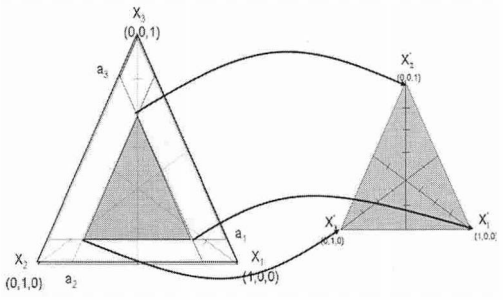


Figura 4: Transformación en seudocomponentes bajo restricciones

4. Aplicación del diseño de mezclas en procesos agroalimentarios

4.1 Descripción del proceso

Para ilustrar como se aplica esta técnica en el diseño de un producto se va a utilizar los datos reportados en la literatura por Branco y Gspareto (2003). Estos investigadores evaluaron el efecto de la temperatura sobre el comportamiento reologico de mezclas ternarias de pulpa de mango y jugo naranja y zanahoria. Para el estudio se estimo la superficie de respuesta de la viscosidad a dos temperaturas (10°C y 60°C). Para el experimento se utilizaron mangos, variedad "Haden", fueron despulpadas y almacenadas a -20°C. Las zanahorias, de variedad "Nantes", fueron trituradas y prensadas para obtener el jugo, el jugo de naranja utilizado fue del tipo comercial sin adición de azúcar, se diluyo en agua destilada a 12° Brix para ser mezclados con los otros jugos. Para el estudio reologico se obtuvieron las medidas por duplicado y se midieron a 10°C y 60°C. En esta comunicación para ilustrar la metodología, solo incluimos el análisis del Índice de consistencia.

4.2 Estrategia experimental

Para el diseño del experimento se establecieron las siguientes restricciones para cada formulación la pulpa de mango mínimo será del 60%, y para los jugos de naranja y zanahoria será mínimo el 10%. Para establecer el espacio factorial se hallaron las siguientes seudo-componentes:

$$X_1' = \frac{X_1 - 0.6}{0.2} \qquad X_1' = \frac{X_1 - 0.1}{0.2}$$

$$X_1' = \frac{X_1 - 0.1}{0.2} \qquad (7)$$

La figura 5 muestra las 10 mezclas distintas que se van a evaluar, de acuerdo a un diseño simplex-centroide hecho sobre las seudo-componentes, también se muestran las mezclas que se deben considerar en las componentes originales.

Tabla 1. Diseño simplex-centroide de mezclas para las seudocimponentes

Ensayo	Seudo-componentes			Componentes originales		
	X'1	X'2	X'3	X1	X2	X3
1	1	0	0	0,8	0,1	0,1
2	0	1	0	0,6	0,3	0,1
3	0	0	1	0,6	0,1	0,3
4	1/2	1/2	0	0,7	0,2	0,1
5	1/2	0	1/2	0,7	0,1	0,2
6	0	1/2	1/2	0,6	0,2	0,2
7	1/3	1/3	1/3	0,66666	0,16666	0,16666
8	2/3	1/6	1/6	0,73333	0,13333	0,13333
9	1/6	2/3	2/3	0,63333	0,23333	0,13330
10	1/6	1/6	1/6	0,63333	0,13333	0,23333

4.2.1. Análisis del Índice de Consistencia a 10°C

Para el análisis del diseño se estimo el modelo no redundante (3) a través de un análisis de regresión múltiple, resultando significativas solos los términos lineales. La tabla 2 muestra el análisis de varianza del modelo ajustado:

$$IC = 2.02X_1' + 0.93X_2' + 1.05X_3'$$

Tabla 2. ANOVA para el modelo de IC cuando la mezcla ésta 10 °C

Fuente Var	GL	SC	CM	F	P
Regresión	2	3,21	1,60	256,61	0,000
Lineal	2	3,21	1,60	256,61	0,000
Error Residual	27	0,17	0,01		
Lack-of-Fit	7	0,05	0,01	1,36	0,275
Error puro	20	0,11	0,01		
Total	29	3,37			

El modelo ajustado es lineal y significativo (El p-valor del falta de ajuste es mayor $\alpha = 0.05$ y además la fuente variación lineal resulta significativa), como se visualiza en la figura 5.

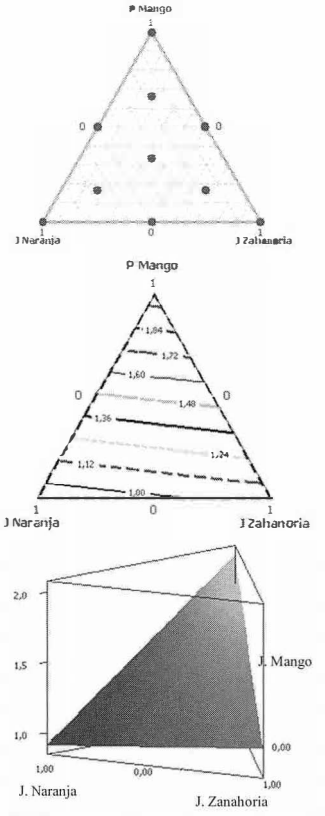


Figura 5. Diagrama de contorno y Superficie de respuesta para el IC a 10°

4.2.2. Análisis del Índice de Consistencia a 60°C

Para el análisis del diseño se estimo el modelo no redundante (3) a través de un análisis de regresión múltiple. La tabla 2 muestra el análisis de varianza del modelo ajustado:

$$IC = 1.99X_1' + 1.55X_2' + 1.91X_3' + 2.00X_1'X_2' + 2.41X_1'X_3' + 1.65X_2'X_3'$$

Tabla 3. ANOVA para el modelo de IC cuando la mezcla esta a 60 °C

Fuente Var	GL	SC	CM	F	P
Regresión	5	2,55	0,51	545,71	0,000
Lineal	2	0,67	0,18	190,20	0,000
Cuadrático	3	1,88	0,63	670,84	0,000
Error residual	24	0,02	0,00		
Lack-of-Fit	4	0,00	0,00	0,20	0,937
Error puro	20	0,02	0,00		
Total	29	2,57			

El modelo ajustado es cuadrático y significativo (El p-valor del falta de ajuste es mayor α=0.05 y además la fuente variación cuadrático resulta significativa), como se visualiza en la figura 6.

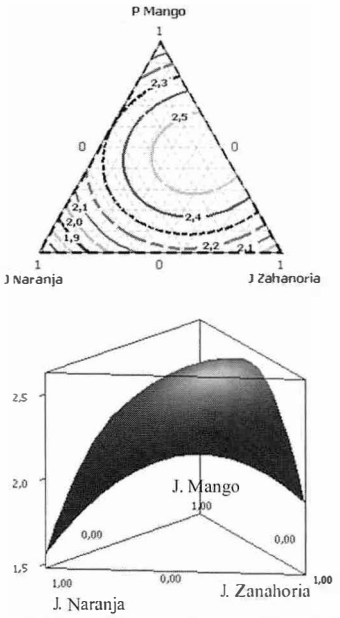


Figura 6 Diagrama de contorno y Superficie de respuesta para el IC a 10°

Como análisis adicional se puede a través del diagrama de trayectorias (figura 8), concluir cual es la componente que tiene un mayor efecto sobre índice de Consistencia. Este diagrama toma como referencia el centroide del diseño (punto central del espacio factorial). Se observa que al reducir la proporción de pulpa de mango el índice de consistencia aumenta proporcionalmente mas que si se aumenta la proporción de jugo de naranja o zanahoria. Este diagrama es muy útil cuando se hacen diseños de mezclas con más de tres componentes.

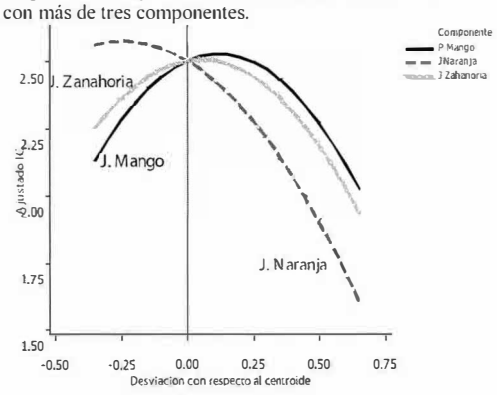


Figura 8: Diagrama de trayectorias del IC a una temperatura 60°

4.2.3. Análisis del Índice de Consistencia conjunto con la temperatura

Es posible realizar una sola estimación de los dos modelos en forma conjunta. Se integra dentro del modelo la variable de proceso temperatura. La ventaja que da hacer este análisis conjunto es que se pueden verificar si existe alguna interacción entre las componentes de la mezcla y las variables de proceso (temperatura).

$$IC = 2.02X_1' + 1.25X_2' + 1.47X_3' + 0.87X_1'X_2' + 1.30X_1'X_3' + 1.47X_2'X_3' + 0.30X_2'Temp + 0.42X_3'Temp + 0.96X_1'X_2'Temp + 1.32X_1'X_3'Temp + X_2'X_3'$$

La pulpa de mango sola no tiene interacción significativa mientras que las combinaciones de dos componentes todas interactúan con la temperatura, como todos los coeficientes son positivos, se puede concluir que cuando pasa de una temperatura baja a una alta, el IC aumenta significativamente, como lo muestra el grafico de efectos principales (figura 9).

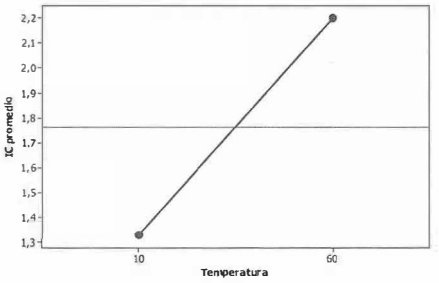


Figura 9: Grafico de efectos principales para la temperatura

De lo que se puede concluir que la temperatura de 60° aumenta significativamente el Índice de Consistencia.

Los diagramas de superficies de respuesta y de contorno son los mismos que se obtuvieron que en el análisis separado, aquí se puede realizar un análisis de varianza conjunto como lo muestra la tabla 3. Se observa que tanto para el análisis de componentes solas como para la interacción con la temperatura el modelo cuadrático es significativo.

Tabla 4: ANOVA para el modelo de IC incluyendo la temperatura

Fuente V.a	GL	SC	CM	F	P
Regresión	11	5,81	0,53	564,97	0,000
Componentes solas					
Lineal	2	1,06	0,34	381,37	0,000
Cuadratico	3	0,31	0,10	114,59	0,000
Interacción					
Lineal	3	4,09	0,20	217,17	0,000
Cuadrático	3	0,35	0,12	130,3	0,000
Error Residual	8	0,01	0,00		
Total	19	582			

Finalmente, a partir del modelo de IC con temperatura de 60°C se puede obtener la mezcla optima que es: $X_1' = 0.46, X_2' = 0.09$ y $X_3' = 0.45$ y para pasarlas a las unidades de componentes originales se hace la transformación inversa obteniendo, que la mezcla optima es de: 69% de pulpa de mango, 12% jugo de naranja y 19% de jugo de zanahoria obteniendo un índice de compactación máximo de 2.70.

5. CONCLUSIONES

Como se ha visto el diseño de mezclas es una herramienta técnica de soporte científico muy robusta que permite realizar análisis completos del comportamiento mezclas con

respecto a una respuesta y permite optimizar el desarrollo de productos a través de valoraciones variando las proporciones de los componentes. Es importante notar que en esta comunicación solo hemos considerado la optimización de una sola respuesta, también la metodología permite optimizar varias respuestas simultáneamente y encontrar la mezcla que se ajusten a esas condiciones de optimabilidad. Es importante resaltar que los profesionales involucrados en la investigación y el desarrollo de productos y procesos agroalimentarios, cada vez deben dominar tecnologías que permitan ser más eficientes en los análisis estadísticos, y que permitan sacar la mayor cantidad de información a los datos experimentales y asi generar un mayor conocimiento de los ensayos.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, L. R. 2006. *Superficies de respuesta en la optimización de procesos de interés agroalimentario.* Propiedades Fisicoquímicas y sistemas de procesado: Productos hortofrutícolas en el desarrollo agroalimentario. Universidad del Tolima. CCI. Investigaciones.

SCHEFFÉ H. (1958) "Experiments with Mixtures" *Journal of the Royal Statistical Society.* Ser. B. Vol 20. pp: 344-360.

SCHEFFÉ H. (1963) "The Simplex-Centroide Design for Experiments with Mixtures" *Journal of the Royal Statistical Society.* Ser. B. Vol 25. pp: 235-263.

THOMPSON W. O. y **MIERS** R. H. (1968) « Response Surface for Experiments with Mixtures » *Technometrics* Vol 10. pp:739-755.

SNEE R. D. (1971) "Design and Analysis of Mixtures Experiments" *Journal of Quality Technology.* Vol 3. pp:159-169.

CORNELL J. A. (1973) "Experiments with Mistures: A review" *Technometrics.* Vol 15. pp:437-455.

CORNELL J. A. (1983) *Experiments with Mixtures: Design, Models and the Analysis of Mixture* New York John Wiley.

CORNELL J. A. (1986) "A Comparison Between Two Ten-Point Deisgns for Studing Three Components Mixtures System" *Journal of Quality Technology.* Vol 18 pp:1-15.

HENIKA R. G. y **PALMER** G. M. (1976) "Response Surface Methodology: Revisited" *Cereal Food Science.* Vol 21. pp:432-445.

HUOR S. S. MURPHY E. M, **REED C.** y **CORNELL** J. A. (1981) "Formulation and Sensorial Evaluations of a Fruit Punch Containing Watermelon Citrullus Lanatus Juice" *Journal of Food Science.* Vol 45. pp:809-813.

JHONSON T. M. y **ZABIK** M. E. (1981) "Response Surface Methodology for Analysis of Protein Interaction in Angel Food Cakes" *Journal of Food Science.* Vol 46. pp:1226-1230.

KHURI A. y **CORNELL** J. A. (1987) *Response Surfaces: Design and Analysis* Marcel Deckker. Inc. New York.

BRACO I. G y **GSPARETO** C. A. (2003) "Aplicação da metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e censura" *Ciência e Tecnologia de Alimentos* Vol 23. supl.

RODRIGUEZ, A. N. 2006. *Aplicaciones del diseño factorial en la evaluación de procesos de licuefacción en fracciones insolubles de fruta.* In. Propiedades Fisicoquímicas y sistemas de procesado: Productos hortofrutícolas en el desarrollo agroalimentario. Universidad del Tolima. CCI. Investigaciones.

CONTRIBUCION A LA OPTIMIZACION DE UNA OPERACIÓN DE LIQUEFACCION MEDIANTE DISEÑO CENTRAL COMPUESTO Y APROXIMACION POR REGRESION RIDGE

Nelson Rodríguez Arias[1]; Guillermo Salamanca Grosso[2]

[1]GRUPO DE INVESTIGACIONES MELLITOPALINOLOGICAS Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD DEL TOLIMA
PBX +57(8) 264 42 19 Fax +57(8) 2644869
B. Santa Helena A.A. 546 – Ibagué. COLOMBIA. Email: nrodriguezarias@gmail.com

Palabras clave: Diseño experimental. Estadística aplicada. Tecnología de alimentos

RESUMEN

Con el propósito de establecer una aplicación sistemática y didáctica en la aplicación de diseños experimentales aplicados a la industria y la tecnología de alimentos, se ha abordado la aplicación de un diseño 2^2 para el estudio relacionado con la separación y caracterización de los polisacáridos extraídos de la pulpa de maracuyá amarillo (*Pasiflora Edulis* var. Flavicarpa Degener) sobre una fracción de materia insoluble en alcohol (MIA), proveniente de la pulpa del maracuyá. El trabajo se complementa con la aplicación del análisis Ridge, que permite generar aproximaciones significativas del óptimo en los casos en los cuales se encuentran infinitas soluciones al modelo.

INTRODUCCIÓN

El diseño estadístico de experimentos es esencialmente el plan para la puesta en marcha del funcionamiento de un sistema, especificando el arreglo de las unidades experimentales en el tiempo o el espacio y el patrón de observaciones a ser recolectado; es por consiguiente una secuencia compleja de etapas, tomadas para garantizar que los datos apropiados serán obtenidos de la forma que permitan un análisis objetivo, soportado en inferencias validas respeto al planteamiento del problema. Un buen diseño experimental, es aquel que proporciona la información requerida con el mínimo esfuerzo experimental. (Mongtgomery, 2002). Los diseños factoriales 2^k se caracterizan por su versatilidad en la evaluación de respuestas, la combinación de niveles y factores considerados en el sistema experimental, facilitando así su aplicación y la reducción de costos durante la evaluación experimental. Los orígenes se remontan a las primeras décadas del siglo XX, cuando Fisher introdujo el concepto de aleatorización y el análisis de varianza. En estos últimos años, la teoría y aplicaciones del diseño se ha consolidado y expandido a todas las áreas del conocimiento. En la evaluación de procesos agroalimentarios, se deben considerar los factores o variables que inciden en la transformación de un producto determinado, estos pueden ser la temperatura, la presión, los niveles de concentración de un agente osmótico o el tiempo de procesado, estos factores se evalúan a dos niveles y de los resultados se infieren los efectos entre los tratamientos, que pueden conducir a efectos lineales, e interacciones y efectos cuadráticos.

En la industria alimentaria, son diversas las aplicaciones relacionadas con los procedimientos para la evaluación, optimización de procesos y en la elaboración de nuevos productos. La aplicación del diseño a los procesos de transformación, puede ser considerada como la relación de entrada de variables asociadas al proceso, a la cual ingresan diversas variables que interactúan para producir un resultado (Álvarez, 2006). Las variables que ingresan al proceso se denominan variables de entrada, y el resultado, variable de salida. El nivel de la variable de salida depende de los niveles que adopten las variables de entrada. La administración de la producción en un proceso en particular, se benefician al saber qué combinación de variables de entrada produce la variable de salida óptima. La búsqueda de combinaciones óptimas de las variables de entrada da lugar al diseño experimental, que es una prueba un conjunto de pruebas, durante la cual se realizan cambios sistemáticos y controlados a las variables de entrada para medir el efecto sobre la variable de salida. El diseño experimental utiliza técnicas como la regresión múltiple, la respuesta superficial y varias extensiones del análisis de varianza. La selección del diseño depende de la naturaleza de las fuentes de variación en el material experimental. Sin mas aun, se va a indicar un diseño para un experimento, se deberá elegir el mas simple posible que permita controlar adecuadamente la variabilidad conocida. Un diseño no deberá ser más complejo de lo requerido para satisfacer los objetivos del experimento. A medida que el diseño experimental se toma mas complejo, una menor flexibilidad se da y aparece una mayor dificultad para organizarlo y hay además una mayor tendencia se da y aparecer una mayor dificultad para organizarlo y hay además una mayor tendencia a cometer errores cuando se realizar el experimento. Entre mas simple el diseño, mas fácil será a cabo ajustes por las equivocaciones que siempre suelen aparecer. En el caso de frutas y hortalizas que son sometidas a procesado para obtener jugos, conservas, compotas, bebidas refrescantes, bases para sopas, entre otros; con frecuencia requieren de porciones de transformación en los cuales se requiere de las herramientas propias del diseño experimental. En estos casos es frecuente la construcción de los arreglos factoriales 2^k, los cuales se caracterizan por su versatilidad. En su aplicación, se evalúan las posibles combinaciones entre factores y niveles necesarios para optimizar estos procesos. En la aplicación de estos arreglos es fundamental encontrar una relación funcional para una combinación de niveles y parámetros necesarios para obtener una respuesta (Myers y Montgomery, 1995).

Un experimento factorial permite investigar todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores o condiciones en cada prueba completa. El objetivo es investigar los resultados experimentales en casos donde interesa estudiar el efecto de diversas condiciones de experimentación y sus interacciones. Dentro de los arreglos factoriales de mayor aplicación se destacan los factoriales 2^k donde k representa el número de factores a dos niveles. Vale indicar que una unidad experimental: corresponde a los elementos, objeto de estudio o investigación que producen la heterogeneidad y que produce el error experimental. La respuesta típica de un diseño esta constituida por una componente asociada al diseño, otra a los efectos de los factores, a la componente de la muestra y la generada por error propio de la experimentación (Rodríguez, 2006). Una consecuencia general de los experimentos compartidos es que puede conducir a dediciones administrativas. Mientras es verdad que la hipótesis nula para igualdad de efectos de los tratamientos siempre será rechazada dados determinados recursos, se debe recordar que el manejo de la no significancia implica equivalencia. Algunas acciones deberán tomarse siempre sobre la base de los resultados obtenidos; bien sea, mantener todo tal cual o cambiar por un

nuevo tratamiento. Las dediciones diarias son un proceso de dos etapas. El examen (análisis) de las probabilidades asociadas a los datos estimados con las conclusiones (acción estadística), basados en estos resultados, se toman la decisión para implementar una acción (Decisión de gestión). El diseño de un experimento depende solamente de los supuestos relacionados con las propiedades de las unidades experimentales. Esencialmente tales características, determinan las restricciones que deben ser colocadas al aleatorizar los tratamientos a las unidades experimentales las cuales a su vez determinar el tipo experimental (Rodríguez, 2006).

APLICACIÓN DEL DISEÑO

Con el propósito de establecer una aplicación sistemática del diseño 2^2 se ha considerado el trabajo de Flórez (4), relacionado con el aislamiento y caracterización de los polisacáridos extraídos de la pulpa de maracuyá amarillo (*Pasiflora Edulis* var. Flavicarpa Degener), en este sentido la aplicación se centra en el estudio de la materia insoluble en alcohol (MIA), proveniente de la pulpa del maracuyá, constituida por tejido parenquimático de paredes celulares primarias, compuesta por pectina, hemicelulosa y celulosa, susceptibles de hidrólisis enzimática. Luego de la separación del MIA, se evaluó el efecto de dos tipos de enzima: la pectinesteraza (PL) y endoexoglucanazas (Cx-C1) con especificidad en la formación de hidrolizados. La enzima PL se utilizo con dos niveles 0.293 y 1.707 UI, la ezima Cx-C1 se fijo en 10 y 50 UI . El efecto neto de estas enzimas sobre el MIA se midió determinando el porcentaje total de azucares totales y % de ácidos uronicos (AGU). La estructura de un diseño central compuesto rotable para el experimento en referencia es como se indica en la tabla 2; la representación general del diseño central compuesto rotable en la hidrólisis de MIA de maracuya se muestra en la tabla 3.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de los azúcares totales (AT) y AGU, de la fracción MIA, conforme al diseño experimental planteado, es como se recoge en la tabla 4. La derivación de los modelos, en el caso de los ácidos uronicos (AGU) y azucares totales es como se indica:

$$Agua = 14.6 - 1.90Pl - 0.019(C_x - C_1) - 1.76Pl^2 + 0.13(C_x - C_1)Pl + 0.44(C_x - C_1)^2 \quad Ec\text{-}1$$

$$Azucar = 41.9 + 2.9Pl + 5.83(C_x - C_1) - 0.16Pl^2 + 0.11(C_x - C_1)Pl - 4.90(C_x - C_1)^2 \quad Ec\text{-}2$$

Estas expresiones son de segundo orden respecto de las enzimas (C_X -C_1) y PL y se corresponden con puntos de silla. El valor de predicción para el punto estacionario en el caso de los AGU's y azucares totales son Y(X)= 15.33 y 44.60 respectivamente. La forma de la superficie, el punto crítico en los niveles codificados es obtenido en forma general por el método de mínimos cuadrados.

Tabla 1. Representación de los factores y niveles del diseño 2^2 en la hidrólisis de MIA de maracuyá

Factores	Niveles UI	Códigos		Variables originales	
PL	0.293	-1	-1	0.293	10.00
	1.707	1	-1	1.707	10.00
Cx-Cl	10.00	-1	1	0.293	50.00
	50.00	1	1	1.707	50.00

Tabla 2. Niveles codificados y valores reales de los factores en estudio

Factor	-1.4142	-1	0	1	1.4142
PL	0	0.293	1	1.707	2
Cx-C1	1.716	10	30	50	58.284

Tabla 3. Representación general del diseño central compuesto rotable en la hidrólisis de MIA de maracuyá

Variables en unidades codificadas		Variables en unidades originales	
Factor A PL	Factor B Cx-Cl	PL	Cx-Cl
-1	-1	0.293	10.00
1	-1	1.707	10.00
-1	1	0.293	50.00
1	1	1.707	50.00
-1.4142	0	0	30.00
1.4142	0	2	30.00
0	-1.4142	1	1.720
0	1.4142	1	58.30
0	0	1	30.00
0	0	1	30.00
0	0	1	30.00

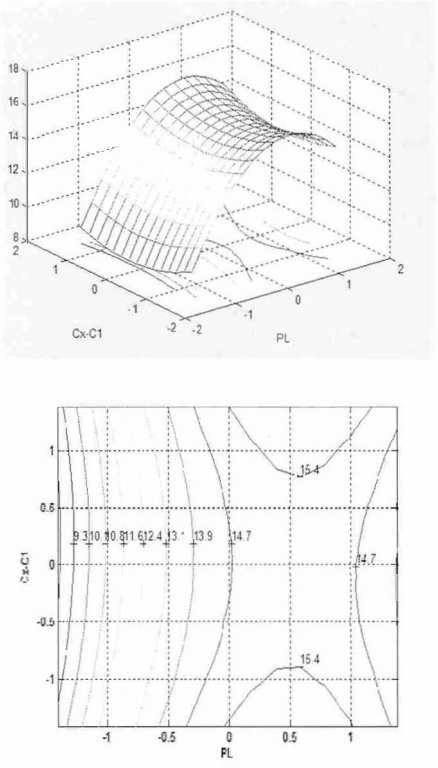


Figura 1. Perfil de contorno y superficie de respuesta de los AGU generados por hidrólisis enzimática de la fraccion MIA de maracuyá

En el trabajo original, se observo que la concentración de la enzima PL tenia efecto en el rendimiento de AGU, al incrementar la concentración de Cx-C_1. En el caso de los azucares se encontró que resultaba significativo los factores PL y Cx-C_1 pero no su interacción. Las correlaciones observadas son susceptibles de comprobación a través de análisis Ridge, que permite evaluar los posibles valores mínimo en las respuestas.

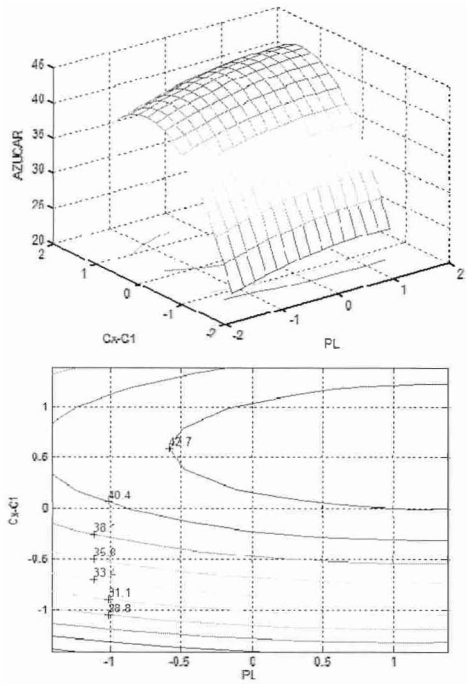


Figura 2. Perfil de contorno y superficie de respuesta de los azucares totales generados por hidrólisis enzimática de la fraccion MIA de maracuyá

Los resultados de esta aproximación académica, contribuyen a los procesos de formación de estudiantes de las áreas de Ingeniería y Tecnología de alimentos, en las asignaturas de proceso y desarrollo de productos, adicionalmente son una contribución en la formación de estudiantes de las asignaturas de diseño experimental en programas de Ingeniería y Estadística, las cuales permanecen desligadas una de otra por falta interdisciplinaridad y desconocimiento.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, L. R. 2006. *Superficies de respuesta en la optimización de procesos de interés agroalimentario.* Propiedades Fisicoquímicas y sistemas de procesado: Productos hortofrutícolas en el desarrollo agroalimentario. Universidad del Tolima. CCI Investigaciones.

FLÓREZ L. M. 2005. Diseño de un complejo enzimático adaptado a la liquefaction de pulpas de frutas tropicales. Aplicación a la pulpa de maracuyá. Anales de tesis doctorales. Fruto de la cooperación con Colombia. Vicerrectorado de cooperación y proyectos internacionales. Universidad Politécnica de Valencia.

MONGTGOMERY. D. C. 2002. Diseño *y Análisis de Experimentos.* Segunda edición Limusa Wiley. México.

MYERS, R..; MONTGOMERY, D. C. 1995. *Response Surface Methodology Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. John Wiley y Sons, Inc. New York.

RODRIGUEZ, A. N. 2006. *Aplicaciones del diseño factorial en la evaluación de procesos de licuefacción en fracciones insolubles de fruta.* In. Propiedades Fisicoquímicas y sistemas de procesado: Productos hortofrutícolas en el desarrollo agroalimentario. Universidad del Tolima. CCI Investigaciones.

DESARROLLO DE UN CREMOGENADO LACTEO A BASE DE MANGO (*Mangifera indica L.*) A TRAVÉS DE DISEÑO EXPERIMENTAL DE MEZCLAS

[1]Guillermo Salamanca Grosso; Laura María Reyes Méndez; Diego Fernando Rocha Parra
Oscar Alberto Rodríguez Barragán; Mónica Patricia Osorio; Andrés Felipe Rocha Parra.

[1]GRUPO DE INVESTIGACIONES MELLITOPALINOLOGICAS Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD DEL TOLIMA
PBX +57(8) 264 42 19 Fax +57(8) 264 48 69
B. Santa Helena A.A. 546 - Ibagué, COLOMBIA. Email: salamancagrosso@gmail.com

Palabras clave: Procesado. Diseño experimental. Mango. Propiedades Fisicoquímicas

RESUMEN

El diseño de mezclas para la elaboración de nuevos produetos, es una de las áreas que ha venido ganando interés entre los productores de alimentos, dado que se pueden realizar combinaciones de productos buscando nuevas características funcionales y optimizar el uso de materias primas. En este trabajo se ilustra el diseño y optimización de cremogenados de mango (Mangi*fera indica* L. Variedad hilacha) y el desarrollo de derivados lácteos de yogur a través de valoración sensorial y diseño experimental de mezclas. Los óptimos observados en % correspondieron al 15 de azúcar, 20 y 65 de base láctea. El pH óptimo es de 3.97 y acidez de 98.8 meqKg^{-1} los sólidos solubles oscilan entre 17 y 19.6 como máximo.

Introducción

En el diseño de productos y procesos agroalimentarios, es frecuente acudir a las herramientas estadísticas de diseño robusto y experimental para la valoración y optimización de mezclas de varios componentes o ingredientes. Esta tarea fundamentalmente corresponde a los Departamentos de Investigación y desarrollo (I+D), donde se toman decisiones de carácter interdisciplinar y ajustados a las políticas de las compañías procesadoras y generadoras de nuevos productos. En la elaboración de jugos, néctares, conservas, compotas, mermeladas, cremogenados o yogures, se requiere encontrar la mezcla óptima de ingredientes que permita generar las mejores características organolépticas, físicas, reológicas o químicas, aun más económica, cuando alguno de los ingredientes es muy costoso (Braco y Gspareto 2003, Álvarez, 2006). En el diseño de mezclas, los factores que intervienen son las proporciones de las componentes de la mezcla y las respuestas a optimizar son función de esas proporciones, con respecto al total y no dependen de la cantidad de cada componente. La forma como se analizan este tipo de diseño es a través de una superficie de respuesta, que es la permite encontrar la mezcla optima. Una característica especial de los diseños de mezclas es que la cantidad total de la mezcla normalmente se fija en el diseño de experimentos y la cantidad de cada componentes es proporcional a la cantidad total, además la proporción en el experimento de mezclas no puede variar independientemente como en los diseños factoriales por que ellas están restringidas a que la suma sea constante (1 o 100%). Diversas investigaciones se han orientado al estudio de mezclas con restricciones y con variables de proceso, entre ellos Thompsom y Myers (1968); Snee (1971); Cornell (1973, 1983, 1986). En la industria de alimentos se ha venido aplicando desde las década de los 70s, el primer trabajo fue reportado por Henika y Palmer (1976) en mezcla de cereales; Huor, Ahmed y Cornell (1981), en pruebas valoración sensorial optimizaron las proporciones de melón, piña y naranja en un ponche de frutas y Jhonson y Zabick (1981), desarrolló un diseño de mezclas para construir una superficie de respuesta para estudiar las interacciones entre proteínas de la torta tipo ángel. Khuri y Cornell (1987) reporta aplicaciones para el diseño de edulcorantes y aplicaciones donde se involucran variables de proceso para el diseño de un pate donde se involucraron las temperaturas y los tiempos de cocción. En la última década las aplicaciones en la industria de alimentos han crecido significativamente, a tal punto que en casi todas las revistas técnicas en alimentos, se reportan aplicaciones con diseño de mezclas. En los experimentos con mezclas los factores son las componentes o ingredientes de una mezcla por lo tanto sus niveles no son independientes (Álvarez, 2006).

La producción y consumo del Mango en Colombia, ha permitido posicionar al departamento del Tolima como uno de los principales productores a nivel nacional. La demanda de bebidas refrescantes ha generado un mercado importante. Se distinguen los néctares y jugos de mango, con (27%) de participación en el mercado, gran parte de ésta producción se hace sobre variedades criollas. En este trabajo se presentan los resultados asociados al diseño y optimización de cremogenados de mango (Mangi*fera indica* L.) a través de sistemas de diseño experimental de mezclas. Los cremogenados de fruta son productos generados de la transformación de las frutas frescas, susceptibles de fermentación pero no fermentadas y que se obtienen por molturación, tamizado o ultrahomogenización de la parte comestible de frutas, sin eliminar la fracción acuosa que constituye el zumo. El uso de cremogenados como base para la elaboración de los productos relacionados, presentan ventajas definidas, respecto a las demandas de los consumidores quienes prefieren alimentos frescos y bajo nivel de procesado. Desde el punto de vista tecnológico, se logra el mantenimiento de las caracteristicas nutricionales y sensoriales iniciales, reduciendo costos y volumen de almacenamiento, en productos frescos, contribuyendo así a la disminución de pérdidas en postcosecha (Salamanca. et al, 2006).

METODOLOGÍA

Materia prima. Los frutos de mango Hilacha se recolectaron en la localidad de Dindalito (Espinal - Tolima-Colombia:

4°07'59.17''N y 74°56'15.72''O), con preclasificación en el cultivar. En el laboratorio se estimaron los sólidos solubles (°Brix), acidez total y pH. Además se realizaron pruebas físicas para los rendimientos en pulpa y peso. El mango hilacha (*Mangifera indica. Var. Magdalena river*), es un fruto de color amarillo, tamaño mediano, peso promedio de 160-250 g. sabor es agradable, con buena aceptación en el mercado nacional y utilizado en la industria de procesamiento de alimentos. Posee gran capacidad de adaptación a diferentes regiones de Colombia y es susceptible al ataque de mosca y antracnosis.

Obtención y conservación de cremogenados: El proceso se inicia con la recepción de la materia prima. La fruta se recibe en la planta donde se realizan operaciones de selección y lavado. Inicialmente se escogen frutas homogéneas en su estado de madurez, libres en lo posible de daños mecánicos y podredumbres generadas por manejo deficiente de las mismas. A continuación se realiza un control sobre la materia prima, considerando las características organolépticas de los frutos, por el aspecto, color, tamaño y grado de madurez. Las operaciones básicas para la obtención del cremogenado de fruta se completa con el deshuesado, trituración, inactivación térmica, tamizado, a través de una malla de 0.5 mm. En la estabilización térmica el producto es sometido a un proceso de intercambio de calor con el fin de reducir su temperatura a unos 60-65 °C, para evitar el deterioro de su fracción volátil en la etapa de homogenización. A continuación el proceso se completa con una homogenización y desaireación, para finalmente realizar una pasteurización, donde se realiza un tratamiento térmico de 45 segundos y temperaturas de 95 a 97 °C. El producto es enfriado hasta 25 °C y se somete a la cadena de frío para su conservación. En la figura 1 se ilustra este procesado.

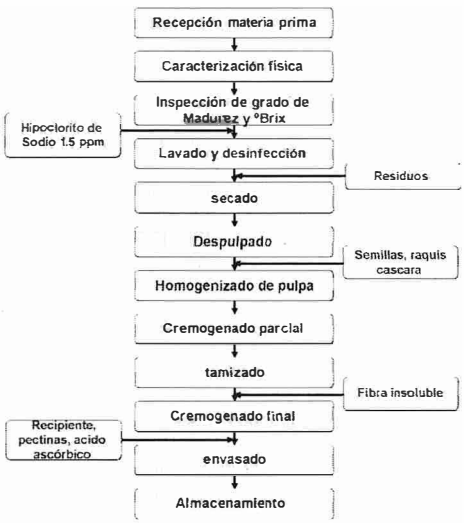


Figura 1. Diagrama de flujo elaboración de cremogenados de mango hilacha

Yogourt: Este producto se adquirió de una empresa productora y comercializadora nacional. El producto Yogur Tapioca, probiotico Tapioka, sin azúcar y semidescremado. El producto se elabora con leche semidescremada pasteurizada, leche en polvo semidescremada y fermento láctico. La leche inoculada se incuba por 5 horas a 45°C hasta lograr consistencia. Luego se sometió a refrigeración a 5.6°C. Este producto se uso como vehiculo para la preparación de derivados lácteos con cremogenado de mango. El peso específico de éste producto es de 1.457.

Edulcorante: Se uso como sacarosa blanca refinada comercial del ingenio Providencia.

Parámetros fisicoquímicos: En la caracterización de la materia prima, se siguieron las metodologías descritas en el manual de métodos analíticos para alimentos de la AOAC (1999). La Acidez se estimo en me/Kg usando hidróxido de sodio 0.1N; el pH se determino potenciométricamente. Las propiedades cromáticas se determinaron directamente sobre los productos a través de registros fotográficos continuos siguiendo la metodología descrita por León *et al*. (2006). En este caso se construyó una cámara cromática a la cual se acoplo una cámara digital Samsung™ de 10.1 Mega pixeles de resolución, dispuesta verticalmente a 42.5 cm de las muestras y un ángulo de 90 grados. El iluminante usado correspondió a un sistema de 4 lámparas fluorescentes Ligting Depot™, de 16W (60 cm) con una temperatura de color equivalente a 6500°K e índice de color cercano a 95%. El estudio de imágenes se hizo en un PC IBM ThinkPad™ usando el software Munsell™ 7.0.1 2006, operado con iluminante D65 y observador 10°

Diseño experimental: Los rangos establecidos para los componentes de las mezclas (Codificados en composición y fracción de 0 a 1, según rango alto o bajo) se fijaron en % como A (Cremogenado de mango): 15 - 30 (0.15-0.30), B. Derivado lácteo (Yogurt): 60-75 (0.60 – 0.75) y C. Azúcar refinada: 10 – 25 (0.10 -0.25). Utilizando la herramienta Desingn - Expert y el diseño Simplex – Lattice (Figura 1), se evaluaron 10 muestras cada una con diferente composición como se observa en la Figura 1. A las muestras de los puntos axiales y vértices se le realizaron 2 réplicas, a los puntos internos 1 y al concéntrico 3, obteniendo un total de 18 réplicas. El derivado lácteo de cremogenado de mango fue evaluado por 12 jueces previamente entrenados y con conocimientos en procesado y características individuales de la materia prima. La evaluación de las mezclas se realizó usando una escala hedónica en las cuales se consideraron los atributos propios de las mezclas: 1 (Deficiente) a 5 (Excelente). Las características sensoriales evaluadas fueron las siguientes: Color, viscosidad, acidez, aroma, textura, palatabilidad, cuerpo, dulzor y aceptación. A cada una de las mezclas se les determinó la acidez, pH y grados °Brix. En estos casos se usaron métodos estandarizados descritos en el manual AOAC (1999). Adicionalmente se realizó un estudio de costos teniendo en cuenta las proporciones de los componentes en las mezclas.

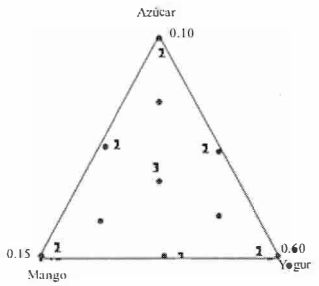


Figura 2. Representación y sistema coordenadas para el diseño de una mezcla láctea a base de cremogenado de mango

Mezclas: Las mezclas de los derivados lácteos se realizaron en cada una de las proporciones indicadas a una temperatura de 15°C. Se realizaron operaciones de pesada y mezcla intima para los componentes yogur azúcar y finalmente cremogenado de mango. El producto se homogenizo usando una mezcladora Oster Hand Mixer portatil de 5 velocidades, motor Heavy Duty Modelo 4450-08 operada a 110 V 50-60Hz. Cada mezcla se mantuvo a 6.0 °C hasta el momento de la evaluación

sensorial, que se hizo a 15°C luego de servido el producto. Las caracterizaciones fisicoquímicas se realizaron en muestras reducidas que se conservaron a 4.0 °C.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Frutos: En la caracterización de los frutos de mango hilacha, se observaron muestran de aroma, con facilidad para el procesado. El peso promedio observado fue de 175.3 ± 30.2 g, con índices de acidez (% A. málico) de 0.32 ± 0.10 y pH de 3.93 ± 0.26. El contenido en °Brix osciló entre 8 y 14, con índices de madurez (Sólidos solubles totales - Acidez) de 8.00 a 13.5.

Cremogenado: En la elaboración de cremogenados de fruta de mango hilacha se observa un rendimiento del 67.2%. Los principales residuos son cascaras y semillas (hueso). El producto presenta un pH de 3.82±0.12; Acidez de 77.3± meq/Kg y 15.4°Brix. La actividad de agua (a_w) es de 0.91. La consistencia del material es propia de un fluido pseudoplástico. Las propiedades sensoriales del producto no se pierden.

Mezclas: Las propiedades fisicoquímicas globales de las mezclas elaboradas se consigna n en la tabla 1. Estas son de carácter acido y sus propiedades cromáticas son muy similares en la luminancia (L) y cromaticidad rojo/verde (a^*) y leves diferencias en amarillo/azul (b*). La gravedad específica es de 1.442 a 1.445

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos asociados a mezclas lácteas de yogur y cremogenado de mango

Componentes %			pH	AT	L	a^*	b^*
A	B	C	20°C	meqKg^{-1}			
0.200	0.650	0.150	3.88	77.8	60.8	-18.4	49.0
0.300	0.600	0.100	3.99	74.0	60.0	-16.3	55.1
0.150	0.675	0.175	4.06	67.7	60.4	-16.3	44.0
0.150	0.750	0.100	4.00	76.5	61.8	-19.3	41.6
0.150	0.600	0.250	3.97	59.8	59.9	-18.6	50.6
0.225	0.675	0.100	3.99	76.2	60.1	-17.0	47.8
0.225	0.600	0.175	3.97	87.0	60.1	-17.9	54.2
0.250	0.625	0.125	3.99	92.0	60.2	-17.7	48.6
0.175	0.700	0.125	4.01	74.0	61.9	-18.4	41.1
0.175	0.625	0.200	3.97	70.5	60.0	-17.4	46.4

Valoración del diseño: los parámetros derivados del diseño presentan características diversas, el color, se ajusta a una relación lineal muy significativa (Pvalor 0.0149), de la forma: Color = 7.64*CM+2.10*Yg+5.24*Az; Donde CM, Yg y Az se corresponden con los contenidos porcentuales de cremogenado de mango, yogurt y niveles de azúcar respectivamente. Figura 3 (A). La viscosidad por su parte es polinómica: Viscosidad = 3.82CM+2.92Yg+2.98Az+2.28CM*Yg+1.82CM*Az+1.80Yg*Az-18.1CM*Yg*Az (Pvalor 0.0128) altamente significativa. El dulce (C) se ajusta a una relación polinómica no significativa (Pvalor 0.17) y la aceptación global (D) de compara a una relación lineal (Pvalor 0.0348).

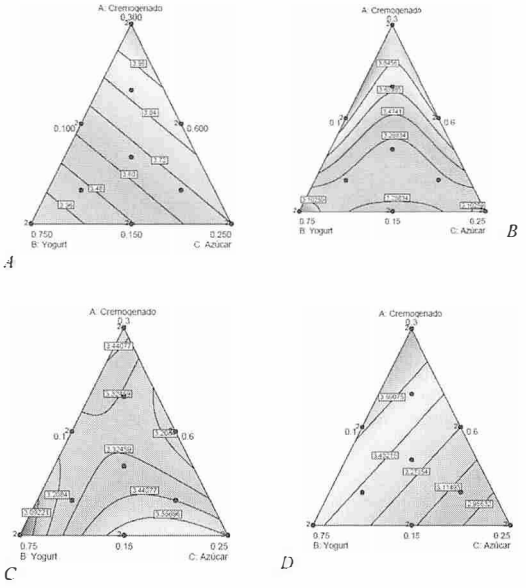


Figura 3. Perfiles y contribuciones generadas del análisis sensorial al cremogenado de mango en yogur: Color (*A*); Viscosidad (*B*); Dulzor (*C*) y Aceptación global (*D*).

Desde el punto de vista fisicoquímico. el pH (Figura 4; A), como la acidez presentan una relación polinómica significativa (Pvalor 0.004), de la forma: pH=4.0CM+4.0Yg+3.97Az-2.47CM*Yg-0.029CM*Az+0.30Yg*Az - 3.07CM*Yg*Az. El croma de las mezclas (C), la cromaticidad amarillo/azul (b^*) y rojo/verde (a^*), son dependientes de la cantidad de fruta en la mezcla. En esté caso se observa una relación significativas (Pvalor 0.0001)

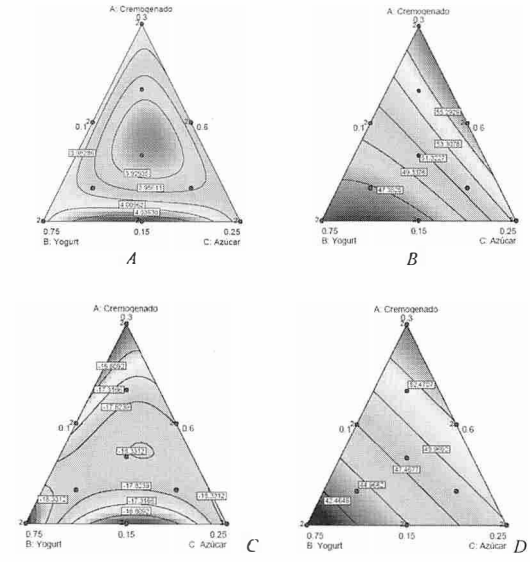


Figura 4. Perfiles de pH (A) Croma (B), cromaticidad rojo/verde (a^*) y amarillo/azul (b*) derivados de los modelos para cremogenado de mango en yogur.

Los valores óptimos de las mezclas analizadas corresponden de la siguiente manera: 20% de cremogenado de fruta de mango hilacha (Figura 5; A), 65% de base de yogur y 15% de azúcar.

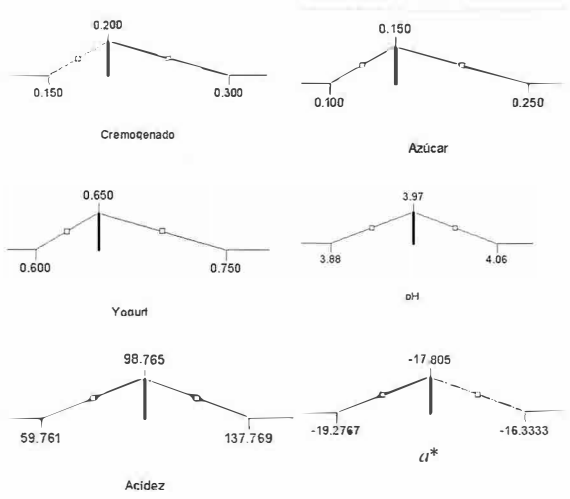


Figura 5. Valores óptimos derivados del diseño de mezclas para la obtención de un derivado lácteo usando cremogenado de mango y base de yogur.

CONCLUSIONES

Este trabajo permitió establecer las condiciones de procesado frutos de mango hilacha (*Mangifera indica.* L. Var Hilacha) y las caracterizaciones asociadas. Además de valorar el potencial de los de cremogenado derivados y el desarrollo de productos mediante diseño de mezclas usando azúcar, yogur y cremogenado de mango. El aporte reside en la valoración de la metodología de los diseños para mezclas ternarias que puede ser a través de análisis sensorial o fisicoquímico.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, L. R. 2006. *Superficies de respuesta en la optimización de procesos de interés agroalimentario.* Propiedades Fisicoquímicas y sistemas de procesado: Productos hortofrutícolas en el desarrollo agroalimentario. Universidad del Tolima. CCI. Investigaciones.

AOAC INTERNATIONAL 1999. Official Methods of Analysis 16th edition. Maryland. USA.

BRACO l. G y GASPARETO C. A. (2003) "Aplicação da metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e censura" *Ciência e Tecnologia de Alimentos* Vol 23. supl.

CORNELL J. A. (1973) "Experiments with Mistures: A review" *Technometrics.* Vol 15. pp:437-455.

CORNELL J. A. (1983) *Experiments with Mixtures: Design, Models and the Analysis of Mixture* New York John Wiley.

CORNELL J. A. (1986) "A Comparison Between Two Ten-Point Deisgns for Studing Three Components Mixtures System" *Journal of Quality Technology.* Vol 18 pp:1-15.

HENIKA R. G. y PALMER G. M. (1976) "Response Surface Methodology: Revisited" *Cereal Food Science.* Vol 21. pp:432-445.

HUOR S. S, MURPHY E. M, REED C. y CORNELL J. A. (1981) "Formulation and Sensorial Evaluations of a Fruit Punch Containing Watermelon Citrullus Lanatus Juice" *Journal of Food Science.* Vol 45. pp:809-813.

LEÓN, K.; MERY, D.; PEDRESCHI, F.; LÉON, J. 2006. Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. Food Research International. En prensa.

JHONSON T. M. y ZABIK M. E. (1981) "Response Surface Methodology for Analysis of Protein Interaction in Angel Food Cakes" *Journal of Food Science.* Vol 46. pp:1226-1230.

KHURI A. y CORNELL J. A. (1987) *Response Surfaces: Design and Analysis* Marcel Deckker. Inc. New York.

SCHEFFÉ H. (1958) "Experiments with Mixtures" *Journal of the Royal Statistical Society.* Ser. B. Vol 20. pp: 344-360.

SCHEFFÉ H. (1963) "The Simplex-Centroide Design for Experiments with Mixtures" *Journal of the Royal Statistical Society.* Ser. B. Vol 25. pp: 235-263.

SALAMANCA, G. G.; FORERO, L. F.; GARCÍA, J. 2006. Algunas investigaciones relevantes sobre mango. Memorias IX Congreso Venezolano de Fruticultura. Universidad Centrooccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto Estado Lara.

THOMPSON W. O. y MIERS R. H. (1968) « Response Surface for Experiments with Mixtures » *Technometrics* Vol 10. pp:739-755.

SNEE R. D. (1971) "Design and Analysis of Mixtures Experiments" *Journal of Quality Technology.* Vol 3. pp:159-169.

CONSERVACIÓN DE OLEORRESINA DE PIMIENTO ROJO UTILIZANDO UN MATERIAL DE PARED NANOESTRUCTURADO

Pascual-Pineda Luz Alicia[1], Azuara-Nieto Ebner[2], Alamilla-Beltrán Liliana[1], , Chanona-López, José Jorge, Gutiérrez-López Gustavo Fidel[1] y Flores-Andrade Enrique[1]

[1]Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional. Prolongación de Carpio y Plan de Ayala, Colonia Plutarco Elías Calles, Delegación Miguel Hidalgo. Código Postal 11340, México Distrito Federal.

[2]Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Veracruzana. Calle Rafael Sánchez Altamirano S/N, Colonia Industrial Animas, Xalapa, Veracruz. Código Postal 91192, México.

RESUMEN

En este trabajo se estudió la adsorción de agua en una matriz de zeolita sintética (valfor 100) que contiene nanoporos de 0.4 nm y en páprika encapsulada por coacervación utilizando dos de pared: ácido algínico (AA) y una mezcla 75:25 % de zeolita: ácido algínico (ZAA). El coacervado con zeolita se estudió como un sistema modelo alimentario y se comprobó que al mezclar el material nanoestructurado (zeolita) con un material no nanoestructurado (ácido algínico), el contenido de carotenoides se conserva en su totalidad en casi todo el rango de actividad de agua estudiado. El material nanoestructurado puede alojar 2.65 veces más carotenoides que el AA, con lo que se comprueba que es posible controlar la estabilidad de sustancias químicas de interés alimentario, debido a que el agua y las sustancias químicas alojadas en microporos (diámetro de poro≤2nm) se unen más fuertemente al alimento.

INTRODUCCIÓN

Muchas de las aplicaciones y descubrimientos actuales en el área de la nanotecnología son en electrónicos, automatización, super-materiales, o en ciencias de la vida, tales como farmacia y medicina. La nanociencia, a diferencia de la nanotecnología, no implica una aplicación práctica pero si el estudio científico de los fenómenos y manipulación de los materiales a escala nanométrica (1-100 nm), en los que se ha observado que sus propiedades difieren completamente de aquellas a escala macrométrica (Uskokovic, 2007; Knowles, 2006; Weiss *et al*., 2006; Roco, 2003). Se ha sugerido que en pocos años llegaremos a tener productos de la nanotecnología en nuestro plato, gracias al conocimiento y aplicación de los fenómenos que ocurren a escala nanométrica (Moraru *et al*., 2003).

El agua es un constituyente esencial de muchos alimentos, sin embargo, el comportamiento del agua confinada en espacios nanométricos difiere del agua a nivel macroscópico. Iiyama *et al*. (2000) demostraron claras evidencias de que las moléculas de agua confinadas en nanoporos de carbono tienen una estructura parecida a la de un sólido. Hummer *et al*. (2001) estudiaron, por medio de simulaciones computacionales, la conducción del agua a través de canales hidrofóbicos de nanotubos de carbono de 13.5 Å de largo y 8 Å de diámetro, en los que el agua muestra un continuo y espontáneo llenado en el interior de la estructura no polar, y donde el agua se ordena en una fila de cinco moléculas de agua.

En el área de alimentos, también se ha estudiado el confinamiento del agua en espacios del orden nanométrico, entre los que podemos encontrar el de Azuara y Beristain (2006) quienes utilizaron el modelo de Dubinin-Radushkevich para predecir el volumen de microporo y lo relacionaron con los mecanismos que controlan la sorción de agua (procesos termodinámicos entrópicos y entálpicos) en algunos productos deshidratados. Los autores realizaron isotermas de adsorción de agua en yogur sometido a varios procesos de secado y encontraron que la zona de humedad controlada por procesos entrópicos se produce cuando la adsorción se está llevando a cabo en el rango de microporos (< 2nm) es decir, cuando el agua se liga más fuertemente a la matriz del alimento.

El pimiento rojo (*Capsicum annuum* L.) ha sido usado como una fuente de pigmentos para mejorar el cambio de color en una gran cantidad de alimentos. La páprika es una oleorresina derivada del pimiento rojo que se utiliza como colorante y es sabido que su intenso color rojo se debe a la síntesis masiva de carotenoides durante la maduración de ésta verdura (Davies *et al*. 1970). Debido a que los carotenoides son extremadamente sensibles a condiciones del medio ambiente, es necesario protegerlos. Una forma de proteger sustancias químicas de interés alimentario es la encapsulación que es una técnica mediante la cual una membrana atrapa pequeñas partículas en forma de sólido, líquido o gas para protegerlos en su interior de condiciones medioambientales, tales como luz, humedad, oxígeno, etc., con el objetivo de incrementar su vida de anaquel y controlar la liberación del producto encapsulado (Mandene *et al*., 2006; Poncelet, 2006; Densai y Park, 2005; Jiménez *et al*., 2004). La coacervación, es un fenómeno que ocurre bajo soluciones coloidales, donde el material de pared rodea completamente al material a encapsular con un revestimiento continuo (Risch, 1995).

La termodinámica se ha utilizado para explicar el comportamiento del agua en el interior y en la superficie de los productos alimenticios. Las isotermas de sorción de agua son útiles para modelar cambios de humedad, calcular propiedades termodinámicas y seleccionar las condiciones más apropiadas de almacenamiento que maximicen las cualidades organolépticas y nutrimentales de los productos deshidratados (Beristain y Azuara, 1990).

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de las nanoestructuras en la adsorción de agua y en la protección de sustancias químicas de interés alimentario, encapsulando por coacervación páprika, utilizando como materiales de pared ácido algínico y una mezcla (75% zeolita valfor : 25% ácido algínico como material modelo nanoestructurado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de las cápsulas. Las cápsulas blanco se elaboraron con ácido algínico (AA). Las cápsulas modificadas con microestructuras, con 75% de zeolita y 25% de ácido algínico (ZAA), utilizando agitadores magnéticos y aplicando calentamiento a una temperatura de 90°- 95°C. A las soluciones obtenidas se les agregó la páprika con una relación 1:0.5 (sólidos: páprika) (Pereyra, 2005).

Las emulsiones obtenidas se hicieron pasar por una pipeta automática y por goteo se depositaron en una solución de $CaCl_2$ al 2%, dejando reposar el coacervado durante 20 minutos. Las cápsulas fueron extraídas de la solución y colocadas en una estufa con vacío, a 17 pulgadas de Hg y 45° C, durante 24 h.

Isotermas de adsorción. Las cápsulas producidas fueron ubicadas en desecadores con P_2O_5 hasta peso constante. La zeolita sintética (ZE) fue calentada en mufla a una temperatura de 500°C para eliminar la humedad. Para la construcción de las isotermas de adsorción se utilizó el método gravimétrico continuo propuesto por Lang *et al*. (1981), en el cuál se colocaron de 2 a 3 g de muestra por triplicado en celdas de equilibrio con soluciones sobresaturadas de sales que generan

humedades relativas constantes en un rango de 11 a 97%. Las muestras fueron mantenidas a 25 y 35°C hasta que se alcanzó el equilibrio en la adsorción de humedad.

Modelo de sorción de humedad: Para determinar el estado físico del agua sorbida en la monocapa se utilizó el modelo de Guggenheim-Anderson-De Boer:

$$M = \frac{M_0 C K a_w}{(1 - K a_w)(1 - K a_w + C K a_w)} \quad (1)$$

Donde M es el contenido de humedad en equilibrio, a_w es la actividad de agua, M_0 es el valor de monocapa y K y C son constantes relacionadas con la temperatura.

El criterio para evaluar el ajuste del modelo para cada isoterma será el porcentaje de desviación medio P:

$$P(\%) = \frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{|Me_i - Mc_i|}{Me_i} \quad (2)$$

Donde Me_i y Mc_i son el contenido de humedad experimental y el calculado, respectivamente, y N es el número de datos experimentales. Un modelo es considerado aceptable si el valor de P está por debajo del 10% (Lomauro *et al.*, 1985).

Coeficiente de pseudo actividad: el coeficiente de pseudo actividad fue calculado de acuerdo a Braibanti *et al.* (1990):

$$f' = \frac{a_w}{M} \quad (3)$$

donde f' es el coeficiente de pseudo actividad del agua adsorbida.

Calor isostérico de adsorción. El calor isostérico se calcula por medio de la ecuación de Clausius-Clapeyron:

$$\left(\frac{\partial \ln P}{\partial T}\right)_\Gamma = \frac{H_g - h_1}{RT^2} = \frac{Q_{st}}{RT^2} \quad (4)$$

donde P es la presión, T es la temperatura absoluta, H_g es la entalpía molar de vapor, h_1 es la entalpía diferencial del agua adsorbida en el alimento, Q_{st} es calor isostérico, Γ es MK, M es la humedad del alimento y K es la constante que depende del área superficial del alimento.

Fracción roja isocrómica de carotenoides. La fracción roja de carotenoides se determinó a través de un método espectofotométrico leyendo las extracciones con acetona a 472 y 508 nm en un equipo marca Beckman UV7500i y con ayuda de la siguiente ecuación (Hornero y Mínguez, 2001):

$$C^R = \frac{A_{508}\times 2144.0 - A_{472}\times 403.3}{270.9}(\mu g/mL) \quad (5)$$

donde A_{508} es la adsorción a 508 nm y A_{472} es la adsorción a 472 nm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se muestran las isotermas de adsorción a 25°C de las cápsulas blanco que contienen 100% ácido alginico de material de pared (AA), la de la zeolita sintética (ZE) que es un material homogéneo y microestructurado (con diámetros de poro ≤ 2nm) y la de las cápsulas microestructuradas con un 75% de zeolita y 25% de ácido alginico (ZAA) como material de pared. Se puede observar que la de AA es una isoterma tipo III, en la que existen grandes cambios de humedad al ir aumentando el a_w y que la de ZE representa el comportamiento típico de las isotermas tipo I en el que existe un gran salto de humedad a bajas actividades de agua, manteniéndose la humedad casi constante a lo largo de toda la isoterma, lo que nos confiere una gran estabilidad en todo el rango de actividades de agua, según la clasificación de Brunauer et al. (1949). La combinación de éstos dos materiales (ZAA) dio como resultado una isoterma tipo II, en la que existe menor adsorción de humedad en comparación con las cápsulas AA, y se forma una meseta en el rango de 0.1 a 0.6 de a_w

Tabla 1. Valores de los parámetros de la ecuación de GAB.

	Cápsulas		Zeolita
Parámetro	AA	ZAA	ZE
C	1.5438	4.9326	130 e 10
K	0.6573	0.8185	0.847
Mo (g agua/ 100 g s.s.)	28.785	6.0619	19.503
P %	3.0523	7.2345	4.121

Las isotermas de adsorción se ajustaron al modelo de GAB y se obtuvieron los valores de los parámetros de energía C y K, así como el valor de monocapa (Mo), los cuales se muestran en el Tabla 1. La constante C de GAB esta relacionada con la diferencia en energía entre las últimas capas de agua con la monocapa.

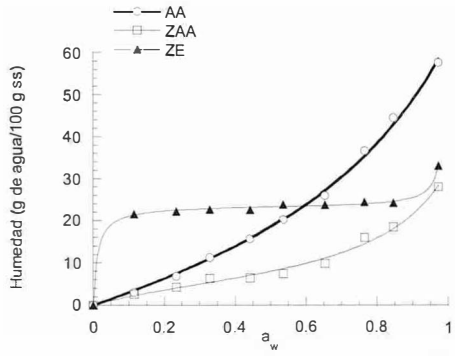


Figura 1. Isotermas de adsorción de humedad a 25°C de las cápsulas producidas y de la zeolita sintética. Las líneas representan el ajuste con el modelo de GAB.

El calor isostérico contra actividad de agua de AA y ZAA se presentan en la figura 2, en la que se observa que las cápsulas microestructuradas tienen mayor energía de adsorción que aquellas a las que no se les agregaron microestructuras. También se observa que existe un cruce en cero a 0.443 y 0.665 de a_w para las muestras sin nanoestructuras y con nanoestructuras, respectivamente; lo que nos indica solubilización incipiente del material de pared. Esto coincide con el comienzo de la pérdida de la fracción roja de carotenoides en las cápsulas AA como se muestra en la figura 4.

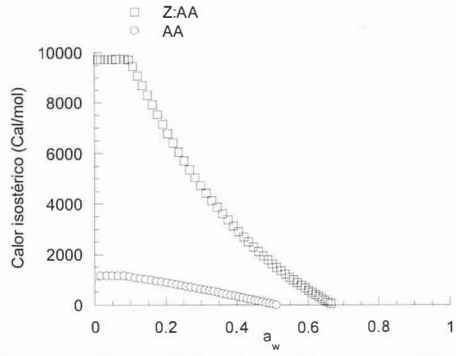


Figura 2. Calor isostérico de las cápsulas de ácido alginico (AA) y de las microestructuradas con zeolitas (ZAA).

El coeficiente de pseudo actividad relaciona la afinidad de las moléculas de agua por los sitios activos en la superficie del material con la probabilidad de enlace. La Figura 3 muestra los coeficientes de pseudo actividad en función de a_w e indica los cambios de fase en las moléculas de agua de la monocapa a multicapa. Los resultados mostraron que la transición de la monocapa a la multicapa (coeficiente de pseudo actividad máximo) para AA fue a bajas actividades de agua comparado con respecto a ZAA.

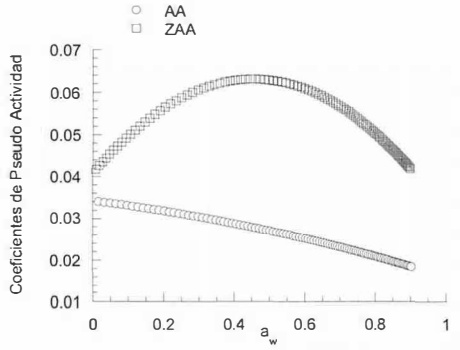


Figura 3. Coeficientes de pseudo actividad en función de la humedad.

En la figura 4 se muestra el contenido de la fracción roja de carotenoides (C^R) de la páprika encapsulada utilizando como materiales de pared AA y ZAA. Se observa que existe mayor estabilidad de los carotenoides en las cápsulas que contienen nanoestructuras, ya que se mantiene el 100% de los carotenoides hasta 0.9 de actividad de agua, mientras que las cápsulas de AA los carotenoides comienzan a degradarse a 0.495 de actividad de agua en las cápsulas AA. Es importante mencionar que las cápsulas nanoestructuradas retienen mayor cantidad de C^R con 7021.27 mg/Kg con respecto a las que no las contienen con 2654.57 mg/Kg (2.65 veces más). Esto podría deberse a que los nanoporos alojan a los carotenoides más fuertemente que los poros con cavidades más grandes, como sucede el AA.

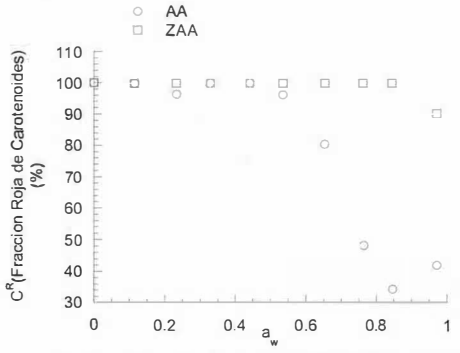


Figura 4. Fracción roja de carotenoides (%) con respecto a la actividad de agua de las cápsulas AA y de las ZAA.

CONCLUSIONES

Las nanoestructuras reducen la degradación de sustancias químicas de interés alimentario debido a que éstas se ligan más fuertemente a una matriz que contiene nanocavidades. Como resultado de esto, en un futuro podremos crear materiales alimenticios nanoestructurados con mayor estabilidad química, fisicoquímica, microbiológica y organolépticamente aceptables.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con financiamiento del CONACYT (Proyecto No 53014).

REFERENCIAS

Azuara, E. and Beristain, C. I. (2006). Enthalpic and entropic mechanisms related to water sorption of yogurt. Drying Technology. 24: 1501 – 1507.

Beristain, C. I. y Azuara, E. (1990). Estabilidad máxima en productos deshidratados. Ciencia. 41: 229 – 236.

Braibanti, A., Fisicaro, E. and Palmia, F. (1990). Water activity and Pseudo-activity coefficient of sorbed water. Journal of Food Engineering. 12: 307 – 324.

Brunauer, S.; Deming, L.S. and Teller, E (1940).On a theory of Van der Waals adsorption of gases. Journal of the American Chemical Society. 62:1723–1732.

Davies, B.H., Matthews, S. Kirk, J.T.O. (1970). The nature and biosynthesis of the carotenoids of different color varities of *capsicum annuum*.Phytochemistry.9:797-805.

Densay K.G.H. and Park H.J. (2005). Recent developments in microencapsulation of food ingredients. Drying technology.23:1361-1394.

Hornero, M.D. and Mínguez,M.M.I. (2001). Rapid spectrophotometric determination of red and yellow isochromic carotenoid fractions in paprika and re papper oleoresins.Journal of agriculture and food chemistry.49:3584-3588.

Hummer, G. Rasaiah, J. C. and Noworyta, J. P.(2001). Water conduction through the hydrophobic channel of a carbon nanotubo. Nature. 414: 188 – 414.

Iiyama, T., Ruike, M., Kaneko, K, Chem. Phys letter. (2000) 331-359.

Jimenez,M., García H.S. and Beristain C.I. (2004).Spray-drying microencapsulation and oxidative stability of conjugates linoleic acid. European food research technology. 219: 588-592.

Knowless, E. E. (2006). Nanotechnology. Evolving occupational safety, health and environmental issues. Professional Safety. March. 20 – 27.

Lang, K. W., McCune, T. D. and Steinberg, M. P.(1981). Proximity equilibration cell for rapid determination of sorption isotherms. Journal of Food Science. 46:936 – 938.

Lomauro C. J., Bakshi A.S. and Labuza T.P. (1985). Evaluation of food moisture sorption isotherm ecuations, Part I. Fruit, vegetable and meat products. Lebensmittel-Wissenchaft and Technology. 18: 111-117.

Mandene A., Jacquot M., Scher J. And Desobry S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release-a review. International Journal of Food Science and Technology. 41:1-21.

Moraru, C.I., Panchapakesan, C.P., Huang, Q., Takhistov, P., Liu, S. and Kokini, J.L. (2003). Nanotechnlogy: a new frontier in food science. Food technology. 57: 24-29.

Poncelet, D. (2006).Microencapsulation: Fundamentals, methods and applications. Surface Chemistry in Biomedical and Enviromental Science: 23-34.

Risch, S.J. (1988). Encapsulation of Flavours by extrusion In: Flavour Encapsulation.Ed. American Chemical Society. 103–109.

Rocco, M.C. (2003). Nanotechnology : convergence with modern biology and medicine. Current Opinion in biotechnology. 14: 401-407.

Uskokovic, V. (2007). Nanotechnologies: what we do not know. Technology in Society. 29: 43-61.

Weiss, J., Takhistov, P.and McClements, D.J.(2006). Functional materials in food nanotechnology. Journal Food Science 71: 107-115.

CONTROL DE LA ESTABILIDAD DE POLVOS SACAROSA-CALCIO MEDIANTE LA NANOESTRUCTURACIÓN CON ETANOL CRIOGÉNICO

Flores-Andrade Enrique[1], Azuara-Nieto Ebner[2], Gutiérrez-López Gustavo Fidel[1], Alamilla-Beltrán Liliana[1], Chanona-Pérez José Jorge[1] y Pascual-Pineda Luz Alicia[1]

[1]Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional. Prolongación de Carpio y Plan de Ayala, Colonia Plutarco Elías Calles, Delegación Miguel Hidalgo. Código Postal 11340, México Distrito Federal.

[2]Instituto de Ciencias Básicas de la Universidad Veracruzana. Calle Rafael Sánchez Altamirano S/N, Colonia Industrial Animas, Xalapa, Veracruz. Código Postal 91192, México.

RESUMEN

En este trabajo se demuestra que la modificación de la estructura a escala nanométrica de polvos de sacarosa-calcio, provoca cambios significativos en sus propiedades de adsorción de humedad, volumen de microporos, dimensión fractal y solubilidad, comparados con un polvo de igual composición química pero diferente nanoestructura. La nanoestructuración incrementó el volumen de microporos desde 3.9 g agua/100 g sólidos secos del polvo secado por aspersión, hasta 8.7 g agua/100 g sólidos secos en el polvo obtenido con un proceso criogénico. Los valores del volumen de microporos son cercanos a los contenidos de humedad observados en la transición de una monocapa a multicapa (máximo coeficiente de pseudo actividad). El polvo secado por aspersión presentó solubilidad incipiente a una humedad relativa de 44.3%, mientras en el polvo nanoestructurado este fenómeno ocurrió a una humedad relativa de 76.5%.

Palabras clave: ingeniería de alimentos, proceso criogénico, azúcar nanoporoso, volumen de microporos y dimensión fractal.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se han realizado avances significativos en la capacidad de manipular la materia a escala atómica, molecular y macromolecular, a través del uso de diversas técnicas experimentales. Esto ha ampliado en gran medida el abanico de aplicaciones para los materiales nanoestructurados los cuales pueden clasificarse como sistemas nanocristalinos y sistemas nanoporosos. Los sistemas nanoporosos, producidos por ensambles de nanocavidades, son de interés en la síntesis química, procesos de separación y en la creación de sensores. La morfología bien definida de la estructura nanoporosa puede ser explotada como malla molecular selectiva para alojar moléculas reactivas o especies biológicas. El control en la forma y tamaño de las nanocavidades es un poderoso medio de combinar la catálisis con la sensibilidad química (Ying, 1999).

Los alimentos son sistemas biológicos complejos que sufren modificaciones en sus propiedades bioquímicas y fisicoquímicas debido al tipo de procesamiento al que son sometidos. Estos sistemas son regidos por algunos de los mismos principios y mecanismos que estudian los físicos, biólogos y bioquímicos y se abre la posibilidad de que los descubrimientos hechos en la nanotecnología puedan eventualmente aplicarse a la industria de alimentos.

El estudio de los fenómenos y la manipulación de un material alimenticio (sistema físico) en una escala de 1 a 100 nm, puede ser considerado como nanociencia en los alimentos y los productos o ingredientes alimenticios cuyos rasgos nanoestructurales provocan diferencias sustanciales en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, comparadas con aquellos materiales de igual composición química pero diferente nanoestructura, pueden ser considerados como productos o ingredientes nanoestructurados.

Una posibilidad de nanoestructuración en alimentos sería la redistribución heterogénea de los átomos en espacios tridimensionales, es decir, que tengan regiones con pocos átomos (o ninguno), denominados poros o cavidades, esparcidos dentro de las regiones de más átomos. Raman y Palmese (2006) denominan a los materiales con poros en el rango de 1 a 100 nm como materiales nanoporosos.

En el caso de materiales alimenticios, la obtención de matrices nanoporosas ordenadas es extremadamente difícil ya que éstos materiales son sistemas complejos heterogéneos y hasta la fecha no se ha encontrado información al respecto. Sin embargo, es posible una nanoestructuración definida pero no ordenada. Zeller y Saleeb (1996) utilizaron líquidos criogénicos para obtener azúcares nanoporosos en un rango de 1 a 7.5 nm y áreas superficiales aproximadamente de 274 m^2/g. Estas nanocavidades (nanoestructuras) no poseen una geometría euclidiana pero es muy probable que posean un arreglo fractal. Los polvos obtenidos por el método de Zeller y Saleeb fueron producidos con el propósito de crear mejores agentes de encapsulación de aromas y sabores, pero no como modelos para estudiar el efecto de la nanoestructura sobre la estabilidad de un alimento.

La termodinámica se ha utilizado para explicar el comportamiento del agua en el interior y en la superficie de los productos alimenticios. Las isotermas de sorción de agua son útiles para modelar cambios de humedad, calcular propiedades termodinámicas y seleccionar las condiciones más apropiadas de almacenamiento que maximicen las cualidades organolépticas y nutrimentales de los productos deshidratados (Beristain y Azuara, 1990).

El objetivo de este trabajo es demostrar que la modificación de la estructura a escala nanométrica por medio de la nanotecnología puede ayudar a producir alimentos en los que el agua atrapada en nanoporos no está disponible para participar en reacciones de degradación y por tanto produce mayor estabilidad fisicoquímica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Proceso criogénico: se obtuvieron polvos de sacarosa-calcio por el método de Zeller y Saleeb (1996) utilizando etanol criogénico. Se asperjó una solución de sacarosa-calcio al 33% de sólidos con una relación molar 1:1.25 sacarosa-calcio sobre etanol enfriado a -40 y -80°C, manejando una relación de 30 partes de etanol y una parte de solución problema. Una vez realizada la aspersión se permitió que la temperatura del etanol con el polvo ascendiera hasta 0°C y se separó por filtración. Posteriormente el polvo obtenido se sometió a un proceso de liofilización por 24 h.

Secado por aspersión: una solución de sacarosa-calcio al 33% de sólidos con una relación molar 1:1.25 fue secado por aspersión en un equipo Büchi Mini Spray Dryer modelo 190 con una temperatura de entrada de 100°C y una de salida de 110°C.

Isotermas de adsorción de humedad: el polvo producido fue ubicado en desecadores con P_2O_5 hasta peso constante. Las isotermas de adsorción de humedad fueron obtenidas utilizando

el método gravimétrico. Muestras de 2 a 3 gramos (por triplicado) fueron pesadas y colocadas en celdas de sorción con soluciones saturadas de sales en el rango de a_w de 0.11 a 0.85. Las muestras fueron mantenidas a 25°C hasta que se alcanzó el equilibrio en la adsorción de humedad.

Modelo de sorción de humedad: se utilizó la ecuación de Guggenheim-Anderson-De Boer (GAB) para modelar la adsorción de humedad en los polvos producidos:

$$M = \frac{M_O C K a_W}{(1 - K a_W)(1 - K a_W + C K a_W)} \quad (1)$$

donde M = contenido de humedad (g de agua/100 g sólido seco), a_w = actividad de agua, Mo = contenido de humedad de la monocapa, C y K son constantes.

La aplicabilidad del modelo se evaluó utilizando el promedio del porcentaje relativo de las diferencias entre el valor experimental y el predicho del contenido de humedad. Esto se define como el módulo de desviación media relativa:

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^{n} \frac{|M_i - M_{pi}|}{M_i} \quad (2)$$

donde M_i = contenido de humedad en base seca (valor experimental) en la medición i; M_{pi} = contenido de humedad predicho y n = el número de observaciones.

Volumen de microporos: se empleó el modelo de Dubinin-Radushkevich, el cual se ha utilizado para calcular el volumen de microporos de diversos adsorbentes (Sonwane y Bhatia, 2000). El contenido de humedad que corresponde al volumen de microporos (n_0) se calculó de la siguiente ecuación:

$$\log n = \log n_o - B \log^2\left(\frac{P_v^o}{Pv}\right) \quad (3)$$

donde n = contenido de humedad adsorbido en base seca, n_0 = cantidad de agua adsorbida correspondiente al volumen de microporos y B = constante relacionada a la estructura porosa del adsorbente (Azuara y Beristain, 2006).

Dimensión fractal de superficie: la dimensión fractal (FD) de la superficie de los materiales fue determinada a partir de los datos de adsorción de vapor de agua por medio del método de condensación capilar de acuerdo a Wang y Li (1997):

$$-\frac{\int_{N(X)}^{N\,max} \ln(X)\,dN(X)}{r_c^2(X)} = k_0^D V_L^{D/3} \frac{\sigma}{RT}\left[\frac{(N_{max} - N(X))^{1/3}}{r_c(X)}\right]^D \quad (4)$$

donde X = presión relativa, N_{max} = moles adsorbidos cuando X tiende a la unidad, r_c = radio de la curvatura del menisco (radio de Kelvin), σ = tensión superficial entre la fase líquida y gas, V_L = volumen molar del adsorbato líquido, k_0 = factor que relaciona el área superficial con el volumen y D = dimensión fractal de la superficie porosa del sustrato.

Coeficiente de pseudo actividad: el coeficiente de pseudo actividad fue calculado de acuerdo a Braibanti *et al.* (1990):

$$f' = \frac{a_W}{M} \quad (5)$$

donde f' es el coeficiente de pseudo actividad del agua adsorbida.

Solubilidad de los polvos: fue evaluada por medio de una inspección visual durante el proceso de adsorción de humedad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las isotermas de adsorción de vapor de agua para el polvo asperjado en etanol criogénico a -40°C (E-40), -80°C (E-80) y el secado por aspersión (SA) se presentan en la Figura 1. Se observó que los polvos sometidos a un proceso criogénico (E-40 y E-80) presentaron una forma sigmoidal descrita como tipo II, a diferencia de SA que es de tipo III. Esto puede ser explicado en base a las diferencias estructurales generadas en cada tipo de procesamiento. La aspersión en etanol criogénico provocó que el agua de la solución se congelara casi instantáneamente, creando cristales de tamaño nanométrico y micrométrico dentro de la matriz de la partícula. El tamaño del cristal depende inversamente de la temperatura de congelación, por lo que se forman cristales más pequeños a bajas temperaturas. Estos cristales de hielo fueron eliminados por la acción deshidratante del etanol evitando el colapso de la nanoestructura del polvo. De acuerdo a Zeller y Saleeb (1996) la eliminación de los cristales de hielo de estos polvos crea en la partícula una estructura porosa con microporos, mesoporos y macroporos. La presencia de microporos (diámetro de poro ? 2 nm) en el polvo de sacarosa-calcio favorece la adsorción de humedad a bajas actividades de agua. En cambio, la isoterma de SA es característica de productos azucarados debido a la solubilidad del azúcar. Además, las partículas producidas en secado por aspersión no poseen una gran estructura microporosa.

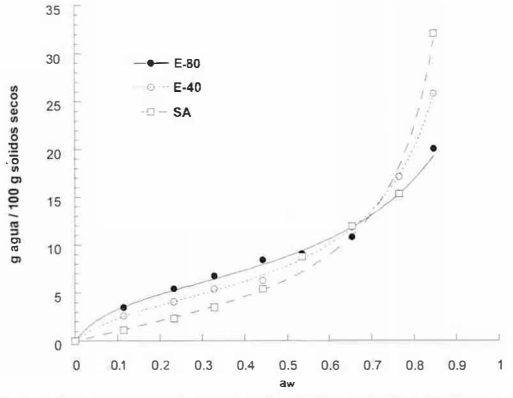


Figura 1. Isotermas de adsorción de humedad a 25°C de los polvos producidos. Las líneas representan el ajuste con el modelo de GAB.

Las isotermas de adsorción se ajustaron al modelo de GAB y se obtuvieron los valores de los parámetros de energía C y K, así como el valor de monocapa (Mo), los cuales se muestran en la Tabla 1. La constante de energía C de GAB está relacionada con la diferencia en esta magnitud entre las últimas capas de agua con la monocapa y se observó que C es mayor para los polvos obtenidos por el proceso criogénico. Sin embargo, los valores de monocapa (Mo) para E-40, E-80 y SA son ligeramente diferentes.

Tabla 1. Valores de los parámetros de la ecuación de GAB.

	Proceso de producción		
Parámetro	SA	E-40	E-80
C	2.426	7.952	12.34
K	1.028	0.980	0.847
Mo (g agua/ 100 g s.s.)	4.314	4.5041	5.632
P %	7.825	2.736	4.121

Los valores de P menores al 10% corresponden a un buen ajuste y los valores menores del 5% a un ajuste excelente.

El efecto de la temperatura en el proceso criogénico pudo observarse en los valores de volumen de microporos (n_o) y B de E-40 y E-80 (Tabla 2). La disminución de la temperatura favorece la creación de una estructura nanoporosa más homogénea con diámetros de poro menores a 2 nm (microporos) en los polvos de sacarosa-calcio y con menores valores de B relacionados con la homogeneidad estructural del material. Es importante señalar que el valor de n_o es diferente de la monocapa de GAB y ha demostrado ser un parámetro más real para definir las mejores condiciones de estabilidad del producto (Flores *et al.*, 2007). Azuara y Beristain (2006) mostraron que los contenidos de humedad correspondientes al volumen de microporos y mínima entropía integral son similares y este es el punto en el cual el agua esta menos disponible para participar en reacciones de deterioro y donde el alimento conserva su calidad nutrimental y funcional (Dominguez *et al.*, 2007).

La modificación de la estructura a escala nanométrica por el proceso criogénico provoca que las isotermas de E-40 y E-80 tengan una mayor capacidad de adsorción a bajas presiones relativas y mayor dimensión fractal (Tabla 2). Esto indica que las moléculas de agua son adsorbidas inicialmente en los microporos creados dentro de la estructura tridimensional del polvo y explica el cambio de una isoterma de adsorción tipo III a una tipo II en un material con la misma composición química pero diferente nanoestructura.

Tabla 2. Parámetros estimados de Dubinin-Radushkevich, Wang y Li y a_w correspondiente.

	Proceso de producción		
Parámetro	SA	E-40	E-80
n_o (g agua/ 100 g s.s.)	3.95	6.32	8.72
a_w correspondiente	0.221	0.408	0.495
B	0.737	0.475	0.469
Dimensión fractal	2.36	2.50	2.66

El coeficiente de pseudo actividad relaciona la afinidad de las moléculas de agua por los sitios activos en la superficie del material con la probabilidad de enlace. La Figura 2 muestra los coeficientes de pseudo actividad en función del contenido de humedad e indica los cambios de fase en las moléculas de agua de la monocapa a multicapa. Los resultados mostraron que la transición de la monocapa a la multicapa (coeficiente de pseudo actividad máximo) para SA fue a menor contenido de humedad comparado con E-40 y E-80 (Tabla 3). Los polvos sometidos al proceso criogénico presentaron en la zona de humedades relativas bajas una mayor capacidad de adsorción y además los contenidos de humedad correspondientes al coeficiente de pseudo actividad máximo fueron cercanos a los volúmenes de microporos.

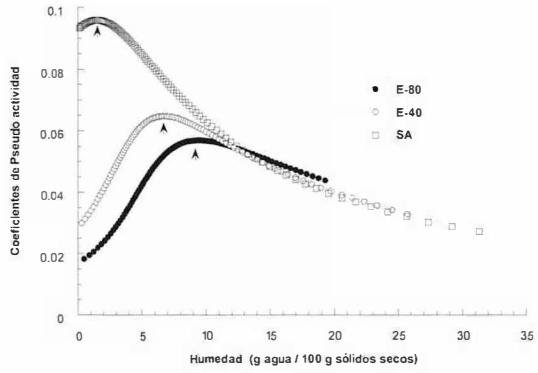


Figura 2. Coeficientes de pseudo actividad en función de la humedad.

Tabla 3. Coeficientes de pseudo actividad, humedad y a_w de los polvos producidos.

Polvo	Coeficiente de pseudo actividad máximo	a_w	Humedad
SA	0.0956	0.145	1.516
E-40	0.0647	0.436	6.731
E-80	0.0570	0.538	9.446

El contenido de humedad correspondiente al volumen de microporo es útil para recomendar el rango de humedades relativas al que debe almacenarse un producto. Los polvos nanoestructurados muestran mayor estabilidad a la solubilización en un rango mayor de a_w (Figura 3).

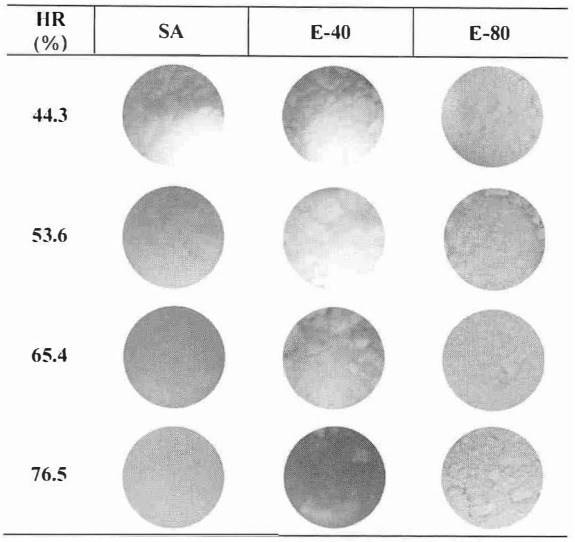


Figura 3. Aspecto de los polvos almacenados a diferentes humedades relativas a 25°C.

CONCLUSIONES

El proceso criogénico permite modificar las características estructurales a escala nanométrica. Los polvos producidos en etanol criogénico presentaron propiedades de sorción y estabilidad sustancialmente diferentes a las propiedades del polvo secado por aspersión, ambos productos de igual composición química pero diferente nanoestructura. El proceso criogénico a -80°C produjo un volumen de microporos mayor.

Es posible mejorar la estabilidad de los azúcares utilizando la nanoestructuración con líquidos criogénicos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con financiamiento del CONACYT (Proyecto No 53014).

REFERENCIAS

Azuara E, Beristain CI. 2006. Enthalpic and entropic mechanisms related to water sorption of yogurt. Dry Technol 24(11): 1501-1507.

Beristain CI, Azuara E. 1990. Estabilidad máxima en productos deshidratados. Ciencia. 41(3): 229-236.

Braibanti A, Fisicaro E, Palmia F. 1990. Water activity and Pseudo-activity coefficient of sorbed water. J Food Eng 12(4): 307-324.

Domínguez IL, Azuara E, Vernon-Carter EJ, Beristain CI. 2007. Thermodynamic analysis of the effect of water activity on the stability of macadamia nut. J Food Eng 81(3): 566-571.

Flores E, Pascual LA, Azuara E, Gutiérrez GF, Alamilla L. 2007. Ventajas del modelo de D'Arcy-Watt para describir la sorción de vapor de agua en alimentos y otros materiales. Poster en el 4to Congreso Internacional de Ingeniería Química y Alimentos. Puebla, México, 5-10 de Marzo.

Raman VI, Palmese GR. 2006. Nanoporous polymers – Design and application. In: Gogotsi Y, editors. Nanomaterials handbook. Boca Raton: Taylor and Francis Group. p 585-601.

Sonwane CG, Bhatia K. 2000. Characterization of pore size distributions of mesoporous materials from adsorption isotherms. Phys Chem B 104(39): 9099-9110.

Wang F, Li S. 1997. Determination of the surface fractal dimension for porous media by capillary condensation. Ind Eng Chem Res 36(5): 1598-1603.

Ying JY. 1999. Nanoporous systems and templates. Science Spectra 18: 56-63.

Zeller BL, Saleeb FZ. 1996. Production of microporous sugars for adsorption of volatile flavors. J Food Sci 61(4): 749-752, 756.

PROCESO DE PRODUCCIÓN Y CARACTERIZACION DE HARINA DE LOMBRIZ (*Eisenia foetida*) PARA NUTRICIÓN ANIMAL

Echeverry, Sandra; Ortega, Eduar.
Asociación Para La Investigación y el Desarrollo Tecnológico Agropecuario y Agroindustrial, ASINDETEC. Universidad de Nariño.
E-mail: rebbeka76@hotmail.com
PASTO NARIÑO COLOMBIA

Palabras claves: Eisenia foetida, lombriz roja californiana, nutrición animal, lombricultura, proteínas alternativas.

RESUMEN

El objeto de este trabajo fue el de diseñar un proceso de fabricación para la elaboración de harina de lombriz roja californiana y su evaluación de calidad química y microbiológica, con lo cual se garantice el cumplimiento de los parámetros mínimos de seguridad alimentaría y calidad bromatológica, necesarios para los alimentos destinados a la nutrición animal. Para ello se desarrollaron los aspectos tecnológicos de la producción de la harina de lombriz; lo que se fundamentó en la eliminación de la carga biológica contaminante. La calidad química, se controló realizando análisis de metales pesados y proximales. La carga microbiológica se determinó con recuento de microorganismos patógenos en el alimento. Los resultados demostraron que el proceso desarrollado garantiza la eliminación de la mayoría de microorganismos, llevando la harina a los niveles aceptables permisibles para consumo. Se observó una disminución entre el sustrato a la harina de lombriz en cuanto a su contenido del zinc; el análisis proximal reveló características adecuadas para este tipo de materias primas. Este trabajo contribuyó para dar viabilidad a los ensayos nutricionales con esta harina en animales.

INTRODUCCIÓN

La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), es un anélido utilizado como alternativa de transformación integral de residuos orgánicos con amplia repercusión en el ámbito ecológico mundial. En el caso del presente proyecto, esta tecnología utiliza a la lombriz roja como un mecanismo de biodegradación del material orgánico residual (granzón) originado en el proceso de compostaje de los residuos orgánicos obtenidos en las plazas de mercado, ejecutada por la empresa APROBORCA. En la mayoría de los Lombricultivos, salvo algunas excepciones, esta actividad esta destinada a la transformación de residuos y la obtención de humus. La biomasa, carne de lombriz, se pierde por la migración de las lombrices, los predadores y una pequeña comercialización como pie de cría para otras explotaciones. Sin embargo empresas internacionales como Minhoca del Brasil[a], también han orientado la lombricultura al aprovechamiento de la biomasa para la nutrición humana y otros casos de Argentina[b] donde se utiliza como alimento para animales

Jhingran y Pulin (1985) reportan que otro uso que se ha planteado para la lombriz es como fuente de proteínas para consumo animal. La carne de lombriz contiene, de acuerdo con algunos estudios, del 60 al 80% de proteína cruda que le ubica como uno de los alimentos de mayor calidad que se pueda encontrar en la naturaleza. Esta alternativa nos ofrece la oportunidad de producir carne de altísima calidad y a bajo costo; rentabilidad y productividad no alcanzada jamás por otra actividad que requiere la obtención de carne. En este sentido, la proteína de lombriz se puede incorporar en cantidades suficientes para enriquecer los alimentos de consumo habitual bajo la forma de harina. Esta contiene del 62 al 82% de proteína de excelente calidad y la totalidad de los aminoácidos esenciales, superando a la harina de pescado y soya.

El objeto del presente trabajo fue el de diseñar un proceso de producción de harina de lombriz roja, que tenga en cuenta los parámetros calidad bromatológica, microbiológica para garantizar la seguridad e inocuidad del alimento destinado al consumo animal.

De esta manera se amplia la posibilidad de utilizar masivamente la carne de la lombriz en forma de harina o en vivo como fuente de proteína en raciones para animales.

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES

Lombriz (*Eisenia foetida*).
Trampas para lombriz
Utensilios
Secador solar.
Reactivos:
Hipoclorito de sodio 5 %
Acido acético 2 %

METODOS

Análisis de laboratorio.

Análisis Químicos de la harina.

Análisis proximal de determinación de humedad, materia seca, cenizas, extracto etéreo, fibra cruda, proteína, extracto no nitrogenado, energía (kcal / 100 g), calcio y fósforo.
Metales pesados: determinación de mercurio, arsénico, cadmio, plomo, zinc. Espectrofotometría de absorción atómica.
Análisis de determinación de ácidos grasos, por cromatografía de gases.

Análisis químicos del sustrato.

Análisis químico parcial del sustrato: pH, porcentaje de humedad, porcentaje de materia orgánica, porcentaje de materia seca, porcentaje de residuo insoluble en ácido. Determinación porcentual de cenizas, carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso y zinc.

Análisis microbiológico de la harina.

Recuento de bacterias aerobias mesófilas
Numero mas probable de coliformes fecales y totales.
Recuento de esporas de clostridium sulfito reductor.
Recuento de mohos y levaduras.
Listeria y salmonella.

Análisis microbiológico del humus.

Recuento en placa del número mas probable de:
Coliformes totales, coliformes fecales, recuento stafilococcus coagulasa positiva, bacillus cereus, esporas de cloistridium, vibrio cholera, pseudomona, listeria, salmonella,

RESULTADOS Y DISCUSION

Proceso De Obtención De La Harina De Lombriz Roja Californiana

Cosecha. El proceso de cosecha, se realizó después de tres meses de establecido el lombricultivo, utilizando la concentración de lombrices por alimentación dirigida, es decir, ubicando estratégicamente empaques de nylon con estiércol de cuy donde se concentrarían las lombrices para alimentarse y posteriormente ser cosechadas. Inicialmente la lombriz roja californiana recogida se somete técnicamente al proceso de recepción en donde se realiza un control de calidad inicial. Este control se basa fundamentalmente en la determinación o posterior eliminación de contaminantes gruesos.

Lavado y desinfección. El lavado tiene por finalidad la eliminación de contaminantes pequeños los cuales en su mayoría sobrenadan en el agua de lavado y salen a la superficie. Generalmente se realizan tres lavados por bache.

Luego se realiza el proceso de desinfección en el cual se pretende la eliminación de la flora microbiana que acompaña el cuerpo de la lombriz. Se utilizó una solución de hipoclorito al 1%, ácido acético glacial al 2% y agua. Proceso en el cual se disminuye el riesgo de contaminación microbiana de la carne de lombriz; después del baño desinfectante se extrae la solución y el remanente de desinfectante se escurre por gravedad para lograr la menor cantidad de agua en la masa de lombrices. Luego se esparcen en las bandejas de secado.

Proceso de secado y molienda. Se ubican las bandejas plásticas dentro del invernadero a una temperatura promedio de 40 °C , después de aproximadamente 48 horas de secado, se obtiene una pasta dura con baja humedad la cual se despega de la bandeja para someterse a la molienda. El resultado final es un polvo de color amarillento que contiene de 60-82% de proteína animal. En este trabajo los rendimientos fueron del 13%. Para el almacenaje se dispone sobre estibas a temperatura ambiente con adecuada ventilación y dando un cumplimiento a las normas básicas de almacenaje de materias primas para alimentación animal.

DETERMINACION DE PUNTOS CRITICOS DE CONTROL DEL PROCESO.

Dentro del proceso de producción se han determinado algunas operaciones que son vitales para garantizar la inocuidad del alimento.
Lavado: es vital puesto que aquí se extraen gran cantidad de partículas que son compuestos en su mayoría por materia fecal, gran poseedoras de enterobacterias que son origen de toxiinfecciones alimentarias.
Desinfección: es vital para la eliminación de microorganismos principalmente bacterias entéricas productoras de toxinas. Esta operación es vital para la eliminación de organismos patógenos.
Empaque: es vital el aislamiento del material seco del medio ambiente en especial cuando la humedad relativa es elevada, puesto que la harina de lombriz es un producto higroscópico lo cual en un momento dado puede contribuir al desarrollo microbiano y a la formación o producción de sustancias tóxicas.

CONDICIONES QUE AFECTAN EL PROCESO.

El proceso esta afectado directamente por las condiciones del ambiente.
La humedad relativa es la principal característica a tener en cuenta para la operación de secado, molienda, empaque y almacenamiento. Como se demostró en los análisis la harina de lombriz es un producto altamente higroscópico, por lo cual es vital prever en el trabajo en planta por garantizar bajos valores de humedad relativa en los procesos mencionados.
La temperatura es importante en las operaciones de secado, molienda seca y almacenamiento. Por referentes bibliográficos se conoce la termosencibilidad de las proteínas, razón por la cual se debe controlar este parámetro a fin de evitar posibles daños químicos. Este mismo factor es de control preponderante en las operaciones de molienda seca por la generación de calor excesivo que se puede generar por fricción.

CARACTERISTICAS DE LA HARINA DE LOMBRIZ

La materia prima que se procesó la constituían individuos vivos libres de partículas gruesas, palos, fibras de celulosa y ligninas, tierra, piedras y fibras plásticas.
La lombriz en masa viva produce una sustancia viscosa cristalina que se encarga de retener la humedad de su cuerpo. Posee un pH ligeramente ácido entre 5.8 y 6.5 y una humedad aproximada del 85 %.
Desde el punto de vista microbiológico es evidente la presencia de enterobacterias por la naturaleza estiercolera de la lombriz lo cual garantiza la presencia en el sustrato de bacterias de origen entérico y variedad de hongos por su contacto permanente con la tierra. Esto pudo ser comprobado mediante el análisis de la carga microbiana del humus, el cual es el principal material acompañante que rodea el cuerpo de lombriz y dentro de la misma (tubo digestivo).
La harina de lombriz se produjo a partir de deshidratación hasta 12 % de humedad, conteniendo un nivel de proteínas del 62%, se supone que la harina es rica en nutrientes de acuerdo a Vielma, Usubillaga y Medina que se refieren en sus estudios. aminoácidos esenciales (Velásquez et al. 1986 II parte; Salazar y Rojas, 1992; Vielma et al. 2003) y minerales (Vielma et al. 2001) también contiene ácidos grasos esenciales para la nutrición humana. La composición de ácidos grasos en la lombriz *Eisenia foetida* fue estudiada por Tacón et al. (1983), Velásquez et al. (1986 II parte) y Salazar y Rojas (1992), reportando la presencia de ácido linoleico y linolénico. Estos antecedentes indican la importancia de estudiar los niveles de ácidos grasos en la harina de lombriz (*Eisenia foetida)* criada bajo las condiciones claramente establecidas. Es de resaltar que este recurso no convencional se podría utilizar como una alternativa nutricional, dado que contiene los nutrientes esenciales para la alimentación humana, así como para la formulación de alimentos balanceados para animales. Los mismos autores reportan: El contenido de ácido láurico, tridecílico y mirístico se aproxima a los valores reportados por Velásquez et al (1986 II parte); sin embargo, otros ácidos tales como el ácido palmítico, esteárico, oleico, eicosenoico y linoleico resultaron bajos. Es importante identificar el ácido araquidónico conocido como W-6, el cual es considerado un ácido graso esencial encontrado en una posición estratégica para la actividad de algunas enzimas (Delfino y Sarno, 2002). Es importante saber que el ácido linoleico, junto con el ácido araquidónico, son importantes en la nutrición humana y deben ser incluidos en la dieta. Debido a la presencia de ácidos grasos insaturados se recomienda el uso de antioxidantes en la preparación de la harina de lombriz *Eisenia foetida,* para preservar sus cualidades y evitar el enranciamiento. Este hecho también explica el olor característico de este tipo de harina (Velásquez et al. 1986 II).

CARACTERISTICAS REQUERIDAS EN EL PRODUCTO DISEÑADO.

En general la harina de lombriz es un producto seco libre de contaminantes microbiológicos y/o contaminantes químicos que se caracteriza por ser poseedor de un alto valor proteico y cuyo bajo contenido de humedad garantice una buena estabilidad de almacenamiento y de conservación.

Desde el punto de vista organoléptico se desarrolló un producto de un olor, sabor y color amarillo oscuro, olor fuerte característico de las proteínas pero no amoniacal ni en descomposición microbiana, por el olor se supone que el sabor es fuerte como el de la harina de pescado, razón por la cual en concentraciones elevadas podría afectar la palatabilidad en especies animales principalmente herbívoros. La textura de la harina de lombriz es suave y muy volátil en el tamaño que se maneja. Por sus características higroscópicas en presencia de agua se torna pegajosa y moldeable.

PROPIEDADES QUIMICA BROMATOLÓGICA

La harina de lombriz posee la siguiente composición de acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio de bromatología de la Universidad de Nariño:

Tabla 1. Composición Harina de Lombriz

NUTRIENTE	CANTIDAD %
HUMEDAD	4,6
PROTEINA	62,4
FIBRA CRUDA	0,9
GRASA	7,5
CARBOHIDRATOS	16,3
CENIZAS	8,3
CALCIO	6.5
FOSFORO	4.4

Fuente: esta investigación
Laboratorio de bromatología UDENAR

Por lo anterior se puede concluir que la harina de lombriz es un material con marcado contenido proteico, y poseedora de significativas cantidades de materiales que son de origen animal (grasas y minerales). que también hacen parte de los alimentos y que contribuirían en la nutrición a los animales.

Tabla 2. Composición de ácidos grasos en Harina de Lombriz

NUTRIENTE	CANTIDAD %
CAPRICO	1.8
LAURICO	6.2
TRIDECANOICO	1.4
MIRISTICO	3.6
PENTADECANOICO	1.4
PALMITICO	16.1
PALMITOLEICO	3.0
ESTEARICO	28.1
ELAIDICO	1.1
OLEICO	8.6
LINOLEICO	17.9
LINOLENICO	4.8
ARAQUIDICO	1.3
BEHENICO	4.6

Fuente: esta investigación
Laboratorio de Cromatografía Universidad Industrial de Santander

Del anterior resultado se puede concluir que las grasas que hacen parte de la harina de lombriz son ricas en ácidos grasos como el esteárico, el palmitico precursores energéticos; y los ácidos linolénico y el linoleico precursores de los ácidos omega 3 y omega 6.

PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS

La lombriz por su hábitat y sus hábitos alimenticios cuenta con un grado elevado de contaminación microbiana, circunstancia que puede apreciarse en los análisis microbiológicos realizados al humus que ella produce y en el cual se la encuentra comúnmente en su estado natural. Sin embargo el producto diseñado posee una carga microbiana baja en comparación con su estado natural. Este proceso es debido al manejo que se le realiza en el proceso de producción de la harina.

Tabla 3. Análisis microbiológico del humus de lombriz

PARAMETRO	RESULTADO
NMP Coliformes Totales / g	Mayor de 24000
NMP Coliformes Fecales /g	29
Rto. Stafilococcus coagulasa positiva / g	100
Rcto. Bacillus Cereus	10.000
Rcto. Mohos y Levaduras	270.000
Rcto. Esporas de Clostridium	Positivo
Vibrio Cholera	Negativo
Pseudomona	Positivo
Listeria/ g	Negativo
Salmonella /25 g	Negativo

Fuente: Esta investigación
Laboratorio del ambiente y productos de consumo IDSN

Tabla 4. Análisis microbiológico de Harina de Lombriz

PARAMETRO	RESULTADO
Rcto. De Bacterias Aerobias Mesófilas/g	163.000
NMP Coliformes Totales / g	23
NMP Coliformes Fecales /g	Menor de 3
Rcto. Esporas de Clostridium sulfito reductor/ g	600
Rcto. Mohos y Levaduras	200
Listeria/ g	Negativo
Salmonella /25 g	Negativo

Fuente: Esta investigación.
Laboratorio del ambiente y productos de consumo IDSN

Tabla 5. Requisitos microbiológicos para concentrado para animales

PARAMETRO	RESULTADO
Rcto. De Bacterias Aerobias Mesófilas/g	200.000
NMP Coliformes Totales / g	150
NMP Coliformes Fecales /g	Hasta 3
Rcto. Esporas de Clostridium sulfito reductor/ g	1000
Rcto. Mohos y Levaduras	3000
Listeria/ g	Negativo
Salmonella /25 g	Negativo

Fuente: normas de calidad INVIMA

De acuerdo a lo anterior, comparando los dos valores de las tablas 4 y 5 se puede concluir que la harina de lombriz obtenida es de óptima calidad de acuerdo a los estándares requeridos para un producto de consumo animal. Aunque la lombriz en su hábitat esta expuesta a una gran carga microbiana, el producto de ella obtenido presenta unas condiciones optimas para el consumo, gracias a los óptimos procesos de fabricación.
Se toma como referente los estándares para consumo animal ya que no existe un parámetro propio que pueda adaptarse a las condiciones de la harina de lombriz. Sin embargo se tienen en cuenta estos valores

porque se ha concebido la harina de lombriz una materia prima para la fabricación de concentrados

La elaboración de la harina de lombriz conlleva una serie de operaciones básicas las cuales parten desde la recolección o cosecha de la materia prima; lombriz.

El trabajo desarrollado en las pruebas piloto y su respectiva confirmación de datos en las pruebas de escala semindustrial han concluido con un proceso de fabricación de la harina de lombriz como se describe a continuación.

AGRADECIMIENTOS

Asociación De Procesadores De Residuos Orgánicos Del Corregimiento De Cabrera, Municipio De Pasto. APROBORCA

BIBLIOGRAFÍA.

JHINGRAN, V.C., y PULIN. Integrated Livestock – Fish farming in India. Agriculture – aquaculture farming system, manila 1985[on line]. Philippines 6-9 august, 1979 [cited 9 abr., 2005]. Web: http://www.fao:org/docrep/field/003/ ac361e/ac361e01.htm

SALAZAR, E. y ROJAS C. 1992. Conferencias Curso fundamental de lombricultura. Asociación Colombiana de lombricultores. Asolombriz. Grupo CorpoAndes Mérida. Venezuela. P. 88.

TACON, A. G. J., STAFFORD, E. A. y Edwards, C. A.1983. A preliminary investigation of the nutritive value of three terrestrial lumbricid worms for rainbow trout. Aquaculture. Vol. 35. 187-199.URL: http/www.adobereader.com

VELÁSQUEZ, L., HERRERA, C. e Ibáñez, I. 1986. Harina de lombriz. II Parte: Composición de ácidos grasos, factores antinutricionales y tratamiento térmico para control bacterial. Alimentos. Vol. 11 (4): 9-13.

VIELMA, Rondon Rosa Alba., USUBILLAGA, Alfredo y MEDINA, Ana Luisa Estudio preliminar de los niveles de ácidos grasos de la harina de lombriz *(Eisenia foetida)* mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. [1]Dpto. de Ciencias de los Alimentos. [2]Instituto de Investigaciones. Facultad de Farmacia.[3]Laboratorio FIRP. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. [on line]. Mérida - Venezuela. Revista de la facultad de farmacia vol. 45 (2) [2003] URL: E-mail:rosavvefr@yahoo.com

DESARROLLO DE UN CONFITE CON CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES PARA NIÑOS, EMPLEANDO BIOMASA LIOFILIZADA DE *Spirulina platensis*

Vélez, O. F.; Sotelo, I.; González-Mariño G. [1]

[1] *Directora Investigación y Desarrollo Facultad de Ingeniería Universidad de La Sabana.*

gloria.gonzalez@unisabana.edu.co

Campús universitario puente del común, chía, Colombia

Palabras clave: Diseño de alimento, Spirulina platensis, goma confitada, funcional.

RESUMEN

Se diseñó y desarrolló una goma confitada enriquecida con biomasa liofilizada de *Spirulina platensis*, para niños entre 3 y 10 años de edad. Se realizó una prueba de consumidor con 40 niños para identificar las preferencias organolépticas en gomas confitadas utilizando productos comerciales del mercado. Se obtuvo con un ($P<0.05$) que la textura preferida fue la de gomas elaboradas con gelatina/pectina como agentes gelificantes; el color favorito fue rojo y el flavor predilecto fue sandía. Se realizó un ensayo de umbral de sabor para la incorporación de biomasa liofilizada de *Spirulina platenses*, en una goma de flavor de sandía. Se desarrolló un prototipo de forma y se diseñó una goma en forma de sandía, gelificado con una mezcla de gelatina/pectina y de colores rojo y verde. En este diseño la *Spirulina platensis* se ubicó en la parte externa – verde del alimento en una concentración del 3%. Para la elaboración del producto se utilizaron: *Spirulina platensis*, agua, agentes gelificantes, edulcorantes, ácido cítrico, ácido ascórbico, colorante vegetal, saborizante de sandía y conservante. La biomasa de *S. platensis* fue cultivada, filtrada y liofilizada en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de La Sabana.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la población infantil es un grupo altamente vulnerable y las estadísticas muestran que los niños colombianos de entre 3 y 10 años de todos los estratos socio – económicos constituyen la fracción más afectada por la desnutrición (ICBF, 2005), este segmento de mercado fue el elegido para orientar el desarrollo de un producto enriquecido, con características de alimento funcional y que aporte nutrientes importantes en la dieta de los niños. Para lograr el desarrollo de un producto alimenticio con características funcionales, cuya materia prima fundamental sea rica en nutrientes, se eligió trabajar con biomasa de la microalga *Spirulina platensis*. La producción de este microorganismo no agota los recursos naturales, es de rápida obtención y altamente alimenticia. (Morist et. al., 2001). La FDA en la designación GRN 101, aprueba a la *Spirulina platensis* como GRAS (Substances Generally Recognized as Safe). También ha referenciado que la composición de la biomasa seca de *S. platensis* contiene 53-62% de proteína; 17-25% de carbohidratos; 4-6% de lípidos; 8-13% de minerales y 3-6% de humedad; además contiene ácidos grasos, vitaminas, cis-beta-caroteno, trans-beta-caroteno, zeaxantina, clorofila a, ficocianina, c-ficocianina y aminoácidos esenciales como leucina, lisina y triptófano (FDA, 2003). Varios tipos de algas y plantas marinas han sido utilizadas tradicionalmente por sociedades costeras desde hace siglos. La documentación científica de la *Spirulina* como "superalimento" no ocurrió sino hasta el siglo XX. Su primer uso como alimento data de hace cientos de años en la parte sur del continente africano. En la II Guerra Mundial, el gobierno japonés creó la Sociedad para el Estudio de Algas. Investigaciones posteriores referenciaron a dos especies llamadas *Chlorella* (que crece en agua fresca) y *Spirulina* (que crece en agua salada). El Dr. Hiroshi Nakamura, definió modelos de cultivo en medios artificiales para algas y junto al Dr. Christopher Hills cultivaron la cepa y la investigaron por 30 años hasta que la *Spirulina* resultó ser uno de los alimentos más poderosos y saludables del mundo (Pure Planet, 2007). Se han desarrollado alimentos con *S. platensis* en diferentes lugares del mundo, especialmente en Brasil, Alemania, Ecuador y Oriente. En la Fundação Universidad de Federal do Rio Grande en el Laboratório de Engenharia Bioquímica – LEB, en Brasil se han elaborado alimentos como ponqués y sopas enriquecidas (Costa, 2006). En Alemania en el IGV Institut für Getreideverarbeitung GmbH, han realizado productos como panes, galletas, bebidas y pastas alimenticias (IGV – GmbH, 2007). Sin embargo, existen algunos retos tecnológicos en la utilización de esta microalga como ingrediente para alimentos, su color verde oscuro no constituye una ventaja para la utilización de la biomasa; así el reto más importante está relacionado con el flavor de la microalga, pues es una materia prima biológica con fuerte sabor a camarón, lo cual puede representar un obstáculo en factores de recompra y consumo de los productos que la contengan. En este trabajo se muestra el desarrollo de un producto enriquecido con biomasa liofilizada de *S. platensis* como oportunidad de desarrollo de alimentos funcionales. Para utilizar la biomasa liofilizada de *S. platensis* como ingrediente de enriquecimiento en un alimento para niños, se decidió agregarla a un producto confitado tipo goma, ya que es un tipo de producto que permite la adición de la biomasa en su matriz de composición sin afectar las propiedades nutritivas de la microalga (Dos Santos et. al., 2003). Una goma confitada es un producto estable, con un sencillo proceso productivo (Lees, 1992), que por su forma de consumo inmediato (sin requerimiento de un procesamiento previo), asegura que el consumidor reciba los nutrientes incorporados en el alimento sin haber sufrido cambios o desnaturalizaciones. Adicionalmente, una goma confitada ofrece una ventaja adicional: la gran preferencia de la población objetivo hacia este tipo de productos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de la biomasa liofilizada de *Spirulina platensis*. Se utilizó un inoculo puro de *S. platensis* originario de Alemania, del IGV Institut für Getreideverarbeitung GmbH (IGV–GmbH, 2006) que fue donado para el desarrollo de este trabajo a la Universidad de La Sabana. Se cultivó en medio Zarrouk modificado (UTEX, 2006). El medio de cultivo se preparó y se esterilizó en autoclave marca Sterilof por 20 min a 121° C. Se mantuvo por 25 días con iluminación usando dos lámparas fluorescentes marca Philips luz día de 20 W. La agitación se produjo con burbujas de aire estéril utilizando microfiltros y difundido en el líquido mediante mangueras y difusores esterilizados en autoclave por 20 min a 121° C. El pH del cultivo se mantuvo entre 9,2 – 9,8 y la temperatura entre 26 – 32° C. La biomasa de la microalga se recuperó por filtración a vacío utilizando membranas microporosas Whatman 113 V, obteniendo una biomasa húmeda espesa en la superficie de los filtros. La biomasa filtrada se deshidrató en liofilizador marca Labconco a 3° C y 22 in Hg de presión. El rendimiento fue de 0,5 – 1,0 g/L. (Ver figura 1).

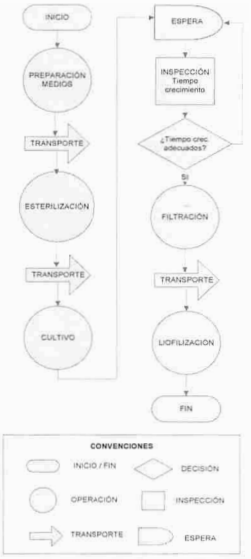


Figura 1. Diagrama de flujo de la producción de la biomasa liofilizada de *Spirulina platensis*.

Prueba de preferencias del consumidor potencial con gomas comerciales. Se utilizaron gomas confitadas encontradas en el mercado local, se evaluó la preferencia en cuanto a textura, color y flavor, mediante un panel sensorial conformado por 40 niños de entre 3 y 10 años. Los resultados de esta prueba se utilizaron como base para la formulación del producto. Las gomas fueron **Tipo 1**: Gomas marca Trolli: "Classic Bears" (Agar – agar); **Tipo 2**: Gomas marca Triunfo: "Moras Melositas" (Pectina); **Tipo 3**: Gomas marca Colibrí: "Media Lunas" (Gelatina). Se evaluó color con gomas tipo 1 verdes, rojas y amarillas y flavor con gomas tipo 1 de sandía, cereza y limón.

Método de evaluación y opciones de respuesta: Se empleó un método de evaluación de preferencias para niños, mediante la utilización de símbolos de caritas. (Figura 2)

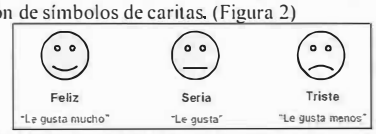


Figura 2. Símbolos utilizados en la prueba de consumidor.

Análisis estadístico de resultados: Se desarrolló un diseño unifactorial completamente aleatorizado de efectos fijos, donde la variable respuesta para cada caso fue la preferencia para cada atributo. Se tabularon los resultados en SPSS® y se realizó la prueba estadística F. SNK, Tukey y Scheffe.

$$Yij = \mu + \alpha i + eij \quad i = 1,2,3 \quad j = 1,2,3,4,5,...40$$

$$e_{ij} \approx N(0, \sigma^2)$$

Para cada uno de los atributos (textura, color y flavor), se evaluaron tres diferentes posibilidades de respuesta cuyo valor se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores asignados a las opciones de respuesta.

RESPUESTA	VALOR
Le gusta mucho	3
Le gusta	2
Le gusta menos	1

Formulación del producto. Para la elaboración de las gomas se utilizó: agua, biomasa liofilizada de *S. platensis*, agente edulcorante, agente gelificante, ácido cítrico, ácido ascórbico, saborizante, conservante y colorante. Los agentes gelificantes, el color y el flavor estuvieron definidos por los resultados del estudio de preferencias del consumidor. La fracción de *S. platensis* se determinó estableciendo el umbral de sabor de esta, en una goma flavor sandía. Se utilizó el método de ensayo y error evaluando con puntajes la textura, color y flavor para cada formulación hasta llegar a la que presentó el mayor puntaje en la escala de conformidad de 0 a 10, siendo 0 el valor que representa total inconformidad y 10 el que representa completa conformidad con lo esperado en el producto.

Proceso productivo a escala de laboratorio. Se tomó como referencia un proceso general para la fabricación de gomas confitadas y se modificó de acuerdo a las necesidades del producto (forma, tamaño, adición de *S. platensis*). Con el proceso definido se desarrolló un diagrama de flujo del proceso productivo utilizando Microsoft – VISIO®.

Niveles de enriquecimiento del producto. Se realizaron análisis: Proximal (Agua, Cenizas, Grasa, Fibra cruda y Proteína); análisis por constituyentes comparado con una goma confitada convencional, agrupando constituyentes según su naturaleza funcional: Aminograma, vitaminas, minerales y otros constituyentes. Para cada grupo se determinó el enriquecimiento porcentual y másico de cada constituyente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prueba de preferencias del consumidor potencial con gomas comerciales.
Textura. Se observó que hay diferencia significativa *($p<0.05$)* entre los gelificantes (agar – agar, pectina y gelatina). Pero no hay diferencia significativa entre las gomas comerciales elaboradas con pectina y gelatina, que tuvieron mayor aceptación, mientras que las elaboradas con agar – agar difieren siendo las menos agradables.
Color. Se determinó que hay diferencia significativa *($p<0.05$)* ente los colores (rojo, verde y amarillo). Existe diferencia significativa entre el verde y amarillo con el rojo, el cual es el favorito para los niños.
Flavor. Se determinó que hay diferencia significativa *($p<0.05$)* ente los flavors (sandía, cereza y limón). Existe diferencia significativa entre el limón y la cereza con la sandía, el cual fue el favorito para los niños.

Formulación del producto. El agente gelificante, color y flavor se definieron con la prueba de consumidor. Se desarrolló un prototipo, de tamaño 13-15 gramos, donde la parte verde-externa es el 40% del total de la masa. La porción verde contiene la biomasa de la microalga, quien le da este color debido al pigmento clorofila de esta.

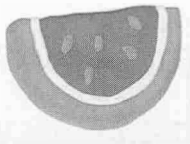


Figura 3. Prototipo del producto.

Umbral de sabor para la incorporación de Spirulina platensis en una goma de flavor de sandía: Se observó que la máxima concentración permitida de *S. platensis* en la goma de sandía estuvo entre 2,5 y 5,0%. Para la formulación del producto se utilizó una concentración de *S. platensis* del 3%.

Formulación parte roja-interna: Se evaluaron 15 formulaciones en función de las características propias de una goma. La mejor formulación (puntaje 30) se obtuvo al mezclar iguales proporciones de sacarosa – jarabe de glucosa y al utilizar como agente gelificante una mezcla de gelatina de 300 bloom con pectina cítrica. Se adicionó una mezcla de 2% de ácidos para mejorar el sabor del producto consiguiendo un enriquecimiento del 1% en ácido ascórbico o vitamina C en la parte interna roja.

Formulación parte verde-externa: Se evaluaron 9 formulaciones; la mejor (puntaje 30) se obtuvo con una concentración de *S. platensis* del 3%, e iguales proporciones de sacarosa – jarabe de glucosa y al utilizar como agente gelificante una mezcla de gelatina de 300 bloom con pectina cítrica. Se observó que al adicionar la biomasa liofilizada de *S.*

platensis en altas proporciones (15,4%) la textura del producto se afecta considerablemente generando una apariencia porosa y esponjosa de mal percepción sensorial. El flavor también se ve afectado con la adición de la biomasa de la microalga generando un flavor desagradable, el reto que se tuvo fue encontrar la proporción precisa para tener el mayor porcentaje posible de *S. platensis* pero de imperceptible sabor, es decir que el flavor predominante fuera el de sandía en el producto, esto se consiguió con una concentración del 3% de microalga, 3% de ácido y 0,7% de saborizante con un enriquecimiento del 1,5% en ácido ascórbico o vitamina C en la parte externa verde.

Proceso productivo a escala de laboratorio. Se dividió en tres partes que se muestran en la figura 4.

1. Producción de la parte verde – externa.
2. Producción de la parte roja – interna.
3. Corte, adición del recubrimiento y empaque.

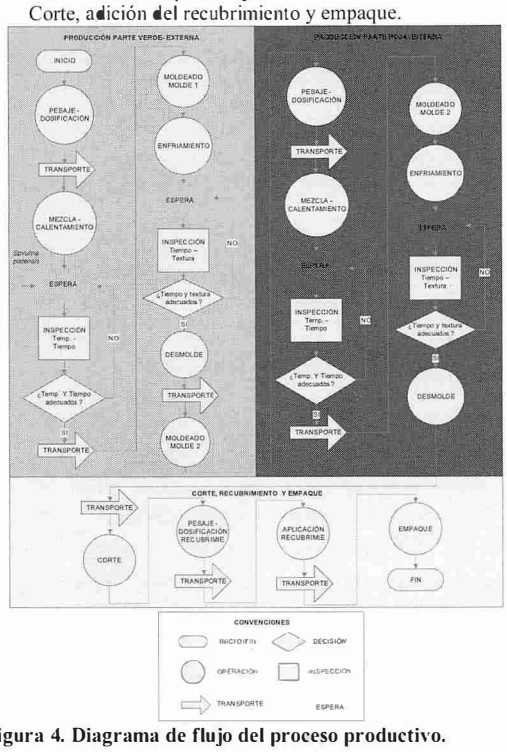


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso productivo.

Niveles de enriquecimiento del producto final. La composición de la goma se muestra en las tablas 2, 3, 4, 5 y 6.

Tabla 2. Análisis proximal del producto final.

Medida	Valor
Humedad	20,80%
Cenizas	0,80%
Grasa	0,10%
Fibra cruda	0%
Proteína (N * 6,25)	12,20%
Extracto no nitrogenado	66,10%
Energía/100 g	314,1 Calorías

Tabla 3. Análisis de aminograma.

Constituyente	Unidades	En 13,8 g de goma enriquecida	En 13,8 g de goma convencional	Enriquecimiento %	Enriquecimiento Valor
Tryptophan	g	0,002	0,000	>>	0,002
Threonine	g	0,032	0,027	18,07%	0,005
Isoleucine	g	0,027	0,021	24,87%	0,005
Leucine	g	0,054	0,046	18,09%	0,008
Lysine	g	0,069	0,064	7,85%	0,005
Methionine	g	0,013	0,011	17,01%	0,002
Cystine	g	0,001	0,000	>>	0,001
Phenylalanine	g	0,037	0,032	14,35%	0,005
Tyrosine	g	0,010	0,006	76,52%	0,004
Valine	g	0,044	0,039	15,14%	0,006
Arginina	g	0,130	0,123	5,62%	0,007
Histidina	g	0,014	0,012	14,71%	0,002
Alanine	g	0,156	0,149	5,06%	0,008
Aspartic acid	g	0,107	0,098	9,87%	0,010
Glutamicacid	g	0,176	0,162	8,60%	0,014
Glycine	g	0,359	0,353	1,46%	0,005
Proline	g	0,232	0,228	1,74%	0,004
Serine	g	0,053	0,048	10,33%	0,005
TOTAL	g	1,517	1,420	6,82%	0,097

A diferencia de una goma comercial convencional, la goma enriquecida contiene todos los aminoácidos, incluyendo los esenciales. El enriquecimiento total en aminoácidos se estima en un 6,82% comparado con una goma convencional.

Tabla 4. Análisis de vitaminas.

Constituyente	Unidades	En 13,8 g de goma enriquecida	En 13,8 g de goma convencional	Enriquecimiento	Enriquecimiento Valor
Vitamin C, total ascorbic acid	mg	158,417	0,000	>>	158,417
Thiamin	mg	0,005	0,001	419,47%	0,004
Riboflavin	mg	0,012	0,006	107,44%	0,006
Niacin	mg	0,024	0,002	886,28%	0,021
Pantothenic acid	mg	0,010	0,004	154,72%	0,006
Vitamin B-6	mg	0,001	0,001	112,47%	0,001
Folate, total	mcg	0,718	0,561	27,89%	0,157
Folate, food	mcg	0,718	0,561	27,89%	0,157
Folate, DFE	mcg_DFE	0,718	0,561	27,89%	0,157
Vitamin B-12	mcg	0,366	0,000	>>	0,366
VitaminA, IU	IU	0,953	0,014	7022,98%	0,945
VitaminA, RAE	mcg_RAE	0,048	0,000	>>	0,048
Vitamin E (alpha-tocopherol)	mg	0,008	0,000	>>	0,008
Vitamin K (phylloquinone)	mcg	0,042	0,000	>>	0,042

La goma desarrollada se enriqueció en vitaminas en un porcentaje mayor al 10% (estimado). Las vitaminas que no están presentes en una goma convencional pero si en la funcional son la vitamina C, B – 12, A, E y K.

Tabla 5. Análisis de minerales.

Constituyente	Unidades	En 13,8 g de goma enriquecida	En 13,8 g de goma convencional	Enriquecimiento	Enriquecimiento Valor
Calcium, Ca	mg	2,075	1,875	10,66%	0,200
Iron, Fe	mg	0,096	0,048	98,49%	0,047
Magnesium, Mg	mg	1,088	0,763	42,56%	0,325
Phosphorus, P	mg	1,374	1,177	16,69%	0,196
Potassium, K	mg	4,460	2,190	103,61%	2,269
Sodium, Na	mg	12,604	10,859	16,07%	1,745
Zinc, Zn	mg	0,010	0,006	52,59%	0,003
Copper, Cu	mg	0,054	0,044	22,92%	0,010
Manganese, Mn	mg	0,009	0,006	50,16%	0,003
Selenium, Se	mg	0,001	0,001	1,37%	0,000
TOTAL	mg	21,769	16,970	28,28%	4,799

Los minerales que enriquecieron en mayor proporción (mayor al 10% estimado) con respecto a una goma convencional fueron potasio, hierro, zinc, manganeso, magnesio, cobre, fósforo, sodio y calcio. El enriquecimiento total en cuanto a minerales fue de 28,28% estimado.

Tabla 6. Análisis de otros constituyentes.

Constituyente	Unidades	En 13,8 g de goma enriquecida	En 13,8 g de goma convencional	Enriquecimiento	Enriquecimiento Valor
Citric acid	g	0,217	0,217	0,00%	0,000
Carotene, beta	mcg	0,569	0,000	>>	0,569
Cryptoxanthin, beta	mcg	0,003	0,000	>>	0,003
Phycocianine	g	0,028	0,000	>>	0,028
Clorophyll	g	0,002	0,000	>>	0,002
Gamma linoleic acid	g	0,002	0,000	>>	0,002

CONCLUSIONES

Se desarrolló un confite con características funcionales mediante la adición de biomasa liofilizada de *Spirulina platensis*, partiendo de las preferencias del consumidor asegurando un producto atractivo en el mercado. La goma desarrollada se enriqueció en todos los aminoácidos incluidos los esenciales, vitaminas, minerales y otros constituyentes como antioxidantes propios de la *Spirulina platensis*.

REFERENCIAS

1. Costa, J. 2006. Produção de biodiesel a partir de microalgas utilizando gás carbônico ambiental.
2. Dos Santos, G.; Costa, J. 2003. Development of foods enriched with the cyanobacterium *Spirulina platensis*. Laboratory of Biochemical Engineering, Federal University Foundation of Rio Grande (FURG), Rio Grande, RS, Brazil.
3. FDA (Food and Drug Administration). 2003. GRN 000101 - la aprobación como GRAS (Substances Generally Recognized as Safe) para la *Spirulina platensis*.
4. IGV Institut für Getreideverarbeitung Gm bH. 2006. *Spirulina platensis*. Disponible en http://www.igv-gmbh.de/index_e.htm
6. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar – ICBF. 2005. Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia. ENSIN 2005.
7. Lees, R.; Jackson. E. B. 1992. Sugar confectionery and Chocolate Manufacture. Blackie Academic & Professional. London.
8. Morist, A.; Montesinos, J. L.; Cusidó, J. A.; Gòdia, F. 2001. Recovery and treatment of Spirulina platensis cells cultured in a continuous photobioreactor to be used as food. Process Biochemistry. (37): 535-547.
9. PURE PLANET. 2007. The History of Spirulina. Disponible en: http://www.pureplanet.com

EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA APARICIÓN DE DEFECTOS EN APERITIVOS COEXTRUSIONADOS

Valverde[1] M., Capilla[1] V., García[1] P., García-Reverter[1] J., Mulet[2] A.
1. ainia – centro tecnológico. Parque Tecnológico de Valencia. C/ Benjamín Flanklin, 5-11 46980, Paterna (Valencia) España. E-mail: mvalverde@ainia.es
2. Grupo ASPA, Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera, s/n, 46022, Valencia, España. E-mail: amulet@tal.upv.es

Palabras clave: Procesos para el diseño de alimentos, tecnología de extrusión, coextrusión, temperatura de relleno, perfil de temperaturas, defectos.

RESUMEN

Con el objeto de investigar la posible influencia de la temperatura de relleno y del perfil de temperaturas de extrusión sobre la aparición de defectos en aperitivos coextrusionados, se llevaron a cabo pruebas experimentales en planta piloto de extrusión.

Para los experimentos de aplicación del procesado de coextrusión, se utilizó un equipo extrusor de doble husillo corrotativo que alcanza producciones de hasta 50 kg/h dotado de una boquilla de coextrusión y de un equipo de bombeo de relleno. Para el desarrollo de todas las pruebas se empleó una única formulación para la cobertura a base de harinas y una única formulación para el relleno. Los parámetros operativos modificados fueron el perfil de temperaturas del extrusor y la temperatura del depósito que contiene el relleno. Se ensayaron tres perfiles de temperatura diferentes 40/60/125/125/110; 40/60/100/100/90 y 40/60/80/80/70 y dos temperaturas de depósito de relleno (45 °C y 80 °C). Las demás variables operativas implicadas en el proceso se mantuvieron constantes, caudal de agua (0.48 kg/h), caudal de alimentación (10 kg/h) y velocidad de los husillos (250 rpm).

La aparición de defectos se analizó por medio de la caracterización física de los productos obtenidos mediante la observación de la migración del relleno, la medida de la anchura de hendiduras longitudinales y el encogimiento del producto por efecto del relleno (medida del grosor del producto).

Los resultados indicaron que la aparición de defectos fue mayor en las pruebas con un perfil de temperaturas alto 40/60/125/125/110 combinadas con temperaturas de relleno inferiores, 80 y 45 °C. Así, cuanto mayor es la diferencia entre la temperatura de la cobertura y la temperatura del relleno, los defectos en el producto final son mayores.

INTRODUCCIÓN

El proceso de extrusión de alimentos es una forma de cocción rápida, continua, y homogénea. Mediante este proceso mecánico y de aporte de calor, se aplica alta presión y temperatura durante poco tiempo, al alimento procesado. Como resultado se producen una serie de cambios en la forma, estructura y composición del producto (Thymi *et al*, 2005). Debido a la intensa ruptura y mezclado estructural que provoca, se facilitan reacciones que de otro modo estarían limitadas por las características difusionales de los productos y reactivos implicados.

Entre los productos procesados destacan los aperitivos extrusionados o snacks que consisten básicamente en una mezcla de diferentes cereales, en ocasiones con una determinada cantidad de agua, que han sido sometidos a un proceso de cocción-extrusión.

En el interior del extrusor, la mezcla preparada es sometida a mezclado, amasado, cizallado y a un calentamiento a temperatura superior a la de su temperatura de gelatinización. Así se obtiene un producto cocido que puede recubrirse o aromatizarse directamente y que en ocasiones requiere de operaciones complementarias como la fritura o el tostado.

En este contexto surgen nuevos productos tales como los aperitivos o snacks rellenos (aperitivos coextrusionados). La producción de snacks rellenos supone la elaboración de, por una parte, la cobertura del producto, o parte externa, a partir de una mezcla de harinas de cereales; y por otra, el relleno, que dependerá del producto que se desee elaborar y que posee una determinada viscosidad.

De forma general, la cobertura se elabora mediante el procesado por extrusión de una mezcla de harinas e ingredientes que alimentan a un extrusor de simple o de doble husillo. Por otra parte, el relleno se prepara y se mantiene a temperatura constante en un depósito que dispone de un sistema de agitación y de calentamiento. Así, el relleno es conducido mediante un sistema de bombeo hacia la boquilla de coextrusión.

Durante el proceso de coextrusión tienen lugar diversas transformaciones en la masa extrusionada, principalmente debido a la gelatinización del almidón, a la coagulación de las proteínas, a la formación de complejos entre la amilosa y los lípidos (Arêas, 1992) que son los principales responsables de los cambios reológicos en el producto final y además se dan reacciones de pardeamiento no enzimático. También tienen lugar cambios en el relleno que dependen principalmente de las características de las materias primas con las que está elaborado y de la tecnología implicada en su procesado. Por ello, es interesante estudiar los efectos y las interacciones de los diferentes parámetros de proceso sobre los cambios que tienen lugar tanto en el relleno como en la cobertura del producto para poder así controlar y optimizar los parámetros del proceso, y obtener de esta manera un producto de elevada calidad.

En este sentido, el proceso de relleno parece ser el paso más decisivo en la elaboración de snacks rellenos debido a su influencia directa sobre las características organolépticas del producto final (de Cindio *et al. 2002*). Asimismo, las características físicas y químicas de los productos extrusionados dependen en gran medida de la temperatura del proceso (Balandrán Quintana *et al, 1998*). Las condiciones de temperatura del extrusor deben ser acordes con el producto que se va a procesar. En la elaboración de snacks, la temperatura es decisiva sobre los cambios estructurales del producto.

La temperatura en la boquilla de coextrusión debe permitir una correcta expansión del producto. Por ello, se hace imprescindible controlar la temperatura del relleno que llega a ese punto con el fin de evitar defectos.

El objeto del trabajo es estudiar la influencia que tiene el perfil de temperaturas y la temperatura del depósito de relleno sobre la aparición de defectos en un snack relleno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de las muestras.

El producto de base empleado para la preparación de la cobertura fue harina de diferentes procedencias (trigo, arroz, maíz, etc). Además se añadieron otros ingredientes minoritarios. Los ingredientes empleados se mezclaron con un agitador de palas hasta obtener una mezcla homogénea. En la tabla 1 se presenta la formulación empleada para la preparación de la cobertura.

Tabla 1. Formulación de la cobertura.

Ingredientes	%
Harina de trigo	25.7
Harina de maíz	20
Harina de arroz	31.3
$CaCO_3$	0.5
Sal	1.5
Azúcar	5
Proteína de soja	3
Leche en polvo	5
Almidón	8

El relleno empleado consistió en una pasta salada elaborada a partir de queso que contiene un elevado porcentaje de aceite (18-25 %).

Para la elaboración de la cobertura del snack, la formulación preparada a base de harinas fue sometida a un proceso de cocción-extrusión mediante un extrusor de doble husillo co-rotativo (BC-21, Clextral), con un diámetro de husillos de 25 mm, longitud de carcasa de 500 mm, y velocidad máxima de husillo de 680 rpm (figura 1).



Figura 1. Extrusor BC-21.

El equipo dispone de 5 zonas diferentes donde se controla la temperatura, lo que conforma el perfil de temperaturas de extrusión. Además, permite trabajar a temperaturas de hasta 300 °C y presiones de hasta 200 bar, y con producciones de hasta 50 kg/h. En la parte final del extrusor, se sitúa la boquilla de coextrusión que dará la forma del producto final y que dispone de una sonda para la medida de la temperatura de la cobertura a la salida de la boquilla.

En el procesado de extrusión para la elaboración de la cobertura del producto se fijó el caudal de alimentación del extrusor (10 kg/h), el caudal de agua (0.48 kg/h) y la velocidad de los husillos (250 rpm) trabajando en régimen lento.

Para la incorporación del relleno se empleó un equipo de coextrusión que consiste en un depósito de 50L (donde se sitúa el relleno) dotado de un sistema de calefacción que permite caldear el depósito hasta 90 °C, un sistema de agitación para facilitar el calentamiento homogéneo del producto, y un sistema de bombeo que tiene como finalidad el desplazamiento del producto desde el depósito hasta la boquilla de coextrusión. En este caso, el caudal de incorporación de relleno al producto se fijó en 4 kg/h.

El producto saliente de la boquilla de coextrusión, de forma cilíndrica, se cortó con la ayuda de una pellizcadora, se obtuvieron piezas con formato tipo "pillow" que se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Una vez enfriado, se llevó a cabo la caracterización física del producto.

Se ensayaron 3 perfiles diferentes de temperatura de extrusión (alto, medio y bajo) y dos temperaturas de calefacción del relleno (alta y baja), el diseño experimental queda reflejado en la tabla 2.

Tabla 2. Diseño experimental.

	Codificación		Valores reales	
Prueba	X_1	X_2	Perfil de T^a (°C)	T^a relleno (°C)
1	+1	+1	40/60/125/125/110	80
2	+1	-1	40/60/125/125/110	45
3	0	+1	40/60/100/100/90	80
4	0	-1	40/60/100/100/90	45
5	-1	+1	40/60/80/80/80	80
6	-1	-1	40/60/80/80/80	45

Determinación de propiedades físicas.

Para cada una de las pruebas experimentales, las determinaciones de parámetros físicos se llevaron a acabo en 25 muestras donde se observó el grado de migración del relleno, la expansión del producto y la aparición de hendiduras.

La determinación del grado de migración del relleno se realizó visualmente para cada una de las muestras y se observó si el relleno atravesaba o no la cobertura. Se determinó el porcentaje de muestras que presentaba migración.

La expansión se determinó tomando un punto medio del producto obtenido y midiendo el espesor del mismo.

Se observó la aparición de hendiduras longitudinales en las muestras cuya anchura se midió con la ayuda de un pie de rey. Se anotó el número de muestras que se abrían después del procesado.

Por otra parte, se midieron los valores de la temperatura del producto (cobertura) a la salida del extrusor, justo antes de la incorporación del relleno.

Los resultados analíticos obtenidos fueron analizados mediante el análisis de varianza ANOVA y se determinó la influencia del perfil de temperaturas de extrusión y de la temperatura de relleno sobre las propiedades físicas del producto final.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 3 recoge las propiedades físicas estudiadas en cada una de las pruebas experimentales, y la temperatura de la cobertura del producto a la salida de la boquilla de extrusión antes de la incorporación del relleno.

Tabla 3. Propiedades físicas de los productos coextrusionados y temperatura de la cobertura en cada prueba experimental.

	Migración (%)	Hendidura (mm)	Expansión (mm)	T^a_{cob}
1	28.6	3.36 ± 1.79	13.83 ± 0.08	122
2	92	6.55 ± 1.76	19.05 ± 1.69	115
3	92	5.09 ± 1.42	17.18 ± 1.46	109
4	84	5.24 ± 1.79	19.94 ± 2.23	107
5	12	1.87 ± 1.77	19.79 ± 1.45	100
6	84	5.37 ± 1.54	17.16 ± 1.63	107

En todas las pruebas se observó migración del relleno hacia la cobertura. Sin embargo, de forma general el nivel de migración fue menor para las pruebas con una temperatura de relleno de 80 °C.

Por otra parte, en algunas pruebas, por el efecto de la incorporación del relleno, se ha observado la aparición de hendiduras longitudinales en el producto, es decir, aperturas o cortes que no llegan por lo general a abrir del todo el producto.
Así, las figuras 2 y 3 reflejan el efecto de la temperatura de relleno y del perfil de temperaturas sobre el tamaño de las hendiduras en el producto final.

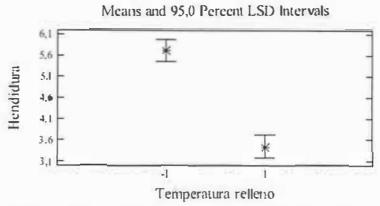


Figura 2. Efecto de la temperatura del depósito de relleno sobre el tamaño de las hendiduras del producto final.

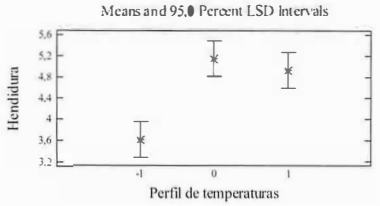


Figura 3. Efecto del perfil de temperaturas de extrusión sobre el tamaño de las hendiduras del producto final.

Del estudio del efecto de la temperatura sobre la aparición de hendiduras en el producto final, se dedujo que existe una influencia significativa ($p<0.05$) tanto de la temperatura del relleno (figura 2) como del perfil de temperaturas (figura 3) sobre el defecto "hendidura". Así, se observó que cuanto mayor es la temperatura del relleno, menor es el defecto causado por la presencia de hendiduras, ya que o bien estas son de menor tamaño o bien el producto no las presenta. Por otra parte, se detectó que no había diferencias significativas en la influencia de los perfiles de temperatura medio y alto, siendo el nivel bajo (40/60/80/80/80) significativamente diferente a los otros dos y el que presentó los mejores resultados.

De los valores de temperatura del producto (cobertura) a la salida de la boquilla, se observó que la temperatura es inferior cuando se trabaja con el perfil más bajo de temperaturas pero en todos los casos se alcanzan temperaturas mínimas de 100ºC. Se puede deducir que el defecto causado por la aparición de hendiduras es menor a un menor perfil de temperaturas porque la temperatura de la boquilla es más cercana a la temperatura del relleno.

Además, en las pruebas realizadas con un relleno de 45 ºC, en un porcentaje elevado de muestras las hendiduras llegaron a abrirse longitudinalmente ocasionando la pérdida del relleno y la depreciación de la calidad del producto.

Por otra parte, se estudió el efecto de la temperatura sobre la expansión del producto final (figuras 4 y 5).

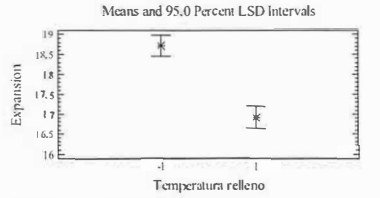


Figura 4. Influencia de la temperatura del relleno sobre la expansión del producto final

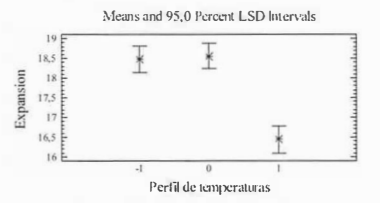


Figura 5. Influencia del perfil de temperaturas del extrusor sobre la expansión del producto final.

Del análisis estadístico de los datos, se determinó que tanto la temperatura del relleno como el perfil de temperaturas de extrusión resultaron tener un efecto significativo ($p<0.05$) sobre la expansión del producto final.

Las figuras 4 y 5 muestran el efecto inverso de la temperatura sobre la expansión del producto. Así, cuanto menor es la temperatura del relleno, mayor es la expansión. Esto es debido a que en las pruebas realizadas a 45 ºC el producto se abre, ocasionando la pérdida del relleno, que no embebe la cobertura que lo rodea y por lo tanto no impide su expansión. Por otra parte, en las pruebas realizadas con el perfil de temperaturas alto, y una temperatura de relleno de 80 ºC, el producto obtenido no se abre y consecuentemente no hay pérdida de relleno. En este caso la menor expansión debe estar condicionada porque el relleno disminuye la temperatura de la cobertura a la salida de la boquilla impidiendo una mayor expansión.

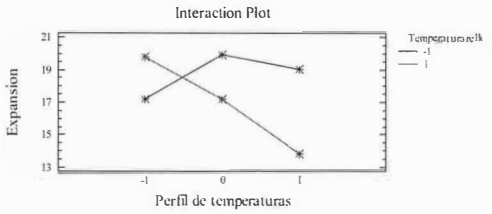


Figura 6. Efecto de la interacción entre el perfil de temperaturas y la temperatura del relleno sobre la expansión del producto final.

De acuerdo con la figura 6 existe una influencia significativa de la interacción de los dos parámetros operativos del estudio sobre la expansión del producto final. Considerando que las pruebas realizadas a 45 ºC no han dado buenos resultados, se extrae, que las mejores condiciones de procesado son aquellas que ocasionan menores diferencias de temperatura entre la cobertura (temperatura de la boquilla de extrusión) y el relleno.

CONCLUSIONES

Se ha constatado que de manera general, cuanto mayor es la diferencia de temperaturas entre el relleno y la boquilla de extrusión, el producto final presenta mayores defectos. Los defectos se muestran principalmente en el producto como:

- Formación de hendiduras longitudinales pronunciadas en el producto obtenido. En ocasiones, el producto llega a abrirse.
- Encogimiento del producto y pérdida del grado de expansión.
- Mayor migración del relleno hacia la cobertura.

Los mejores resultados se obtuvieron para un perfil de temperatura bajo y una temperatura de relleno alta, situación en la cual se producen menores diferencias de temperatura entre el relleno y la boquilla (o cobertura del producto).

REFERENCIAS

- Arêas, J.A.G., 1992. Extrusion of food proteins. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 32:365-392.
- Balandrán R.R., Barbosa G.V., Zazueta J.J, Anzaldúa A, and Quintero A., 1998. Functional and nutrictional properties of etruded whole pinto bean meal (*Phaseolus Vulgaris L.*). Journal of food science, 63(1):113-116.
- de Cindio B., Domenico G., Pollini C.M., Peressini, D. and Sensidoni A., 2002. Filled snack production by coextrusion-cooking: I. Rheological modelling of the process. J. Food Engineering 52: 67-74.
- Thymi S., Krokida M.K., Pappa A. y Maroulis Z.B. , 2005. "Structural properties of extruded corn starch". Journal of Food Engineering 68, Issue 4, 519-526.

ESTABILIDAD DEL SABOR Y DEL AROMA DE LA CEBOLLA JUNCA *Allium fistulosum, L* EN LA ELABORACIÓN INDUSTRIAL DE PASTA PARA CONDIMENTAR

Rueda, Bibiana; Malagón, César; Prieto, Lena
UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
Carrera 5 # 59 A 44. E. mail. lprieto@lasalle.edu.co
BOGOTÁ - COLOMBIA

Palabras claves: procesos para el diseño de alimentos, cebolla, *Allium fistulosum l*, pasta para condimentar

RESUMEN

Este proyecto se desarrolló en tres etapas principales, la primera se definió como la pre-experimentación en la cual se evaluaron el aroma y el sabor de la cebolla junca para la elaboración del condimento en pasta, donde se obtuvo que el mejor pH es 3,5 con corte de cebolla refrigerada a 4°C y con tratamiento térmico a 65°C durante 30 minutos pues la enzima alliinasa no se desnaturaliza por completo en estas condiciones. Después se llevó a cabo la siguiente etapa que se denominó experimentación de la formulación para la pasta, en la cual se plantearon cinco formulaciones en las que se varió el porcentaje de espesantes y estabilizantes para encontrar que la formula 3 tuvo mejor consistencia con 8,3 a 9°Brix de sólidos solubles, y una pungencia entre 185,65 a 189,57 $\mu g_{ácidopirúvico}/g$. En la última etapa se realizó la estabilidad del producto en el tiempo, la cual se evaluó teniendo en cuenta aspectos microbiológicos, condiciones del producto empacado y los indicadores de ácido pirúvico, porcentaje de sólidos solubles y consistencia; simulando ambientes que va a experimentar el producto terminado: el primero a temperatura ambiente con luz directa, el segundo en refrigeración a 4°C, y el último a temperatura acelerada a 40°C las 24 horas con una humedad relativa aproximada de 50% en un horno construido para este fin.

INTRODUCCIÓN

En el mercado colombiano los productos tipo pasta elaborados con cebollas son en su mayoría a base de cebolla cabezona y presentan una falencia evidente en cuanto a la pérdida del sabor y del aroma, sin duda alguna; cualidades principales por las que se utilizan estas especies en fresco. Por ende este proyecto tuvo como fin buscar la estabilidad del sabor y del aroma en la elaboración de un producto tipo pasta a base de cebolla junca (*Allium fistulosum. l*). Esta cebolla al igual que cualquier variedad del género *Allium* carece de olor si no hay un daño mecánico en sus tejidos o una desnaturalización de la enzima alliinasa para que hidrolice las moléculas precursoras de los compuestos responsables del sabor, del aroma y de las sustancias lacrimógenas. Así el sabor característico de las cebollas se debe a la presencia de alicinas que contienen propilo y 1-propenilo y di y tri sulfuros (Rahman 2003). Para llevar a cabo el seguimiento del sabor y del aroma es necesario comprender que por la reacción de la enzima alliinasa presente en esta hortaliza y como producto de un daño mecánico o físico aparecen dos subproductos principales el amoniaco y el ácido pirúvico, ambos indicadores de pungencia en las cebollas, es decir; de sabor y de aroma. Por todo lo anterior es importante aclarar que la pungencia de la cebolla junca procesada será medida tomando como indicador el ácido pirúvico formado como producto del proceso enzimático pues Hart y Fisher (1984) mencionan que el ácido pirúvico reacciona con la 2,4-dinitrofenil hidracina para formar la correspondiente hidrazona, que puede determinarse colorimétricamente.

Por otra parte, la cebolla junca conocida como cebolla larga, cebolla llorona, cebolla de rama, cebolla de tallo, cebolla de rabo o cebolla común; presenta una longitud promedio de 29,1 cm con un peso de 35,3 g y una densidad de 0,8 g/cm^3 (Siesa 2002), y contiene 100g de la parte comestible: 15 mg de ácido ascórbico, 64 mg de calcio, 40 mg de fósforo, 1,6 g de proteína, 90,3 g de agua y 600 UI de vitamina A (Trujillo 2002). En Colombia, los departamentos productores de cebolla junca son: Boyacá, Risaralda y Santander con una producción nacional entre 500.000 a 600.000 toneladas por año. Una vez cosechada la cebolla junca se recolecta en plena madurez sin golpearla para evitar daños, después se clasifica según grosor y sanidad, y se continua con un empacado en costales de fique de 65 kg para conducirla al lugar de almacenamiento donde se deja pocos días a 0°C y 90% de humedad relativa en bodegas oscuras; finalmente, se transporte en canastillas plásticas a los supermercados mayoristas (Trujillo 2002).

MATERIALES Y METODOS

Pre-experimentación. El aroma y el sabor de la cebolla junca se evaluaron en dos ensayos tomando como variables, la temperatura de la hortaliza en fresco (para realizar el licuado), que para el caso corresponden a la temperatura ambiente en Bogotá (18°C) y la temperatura de refrigeración de 4°C; a partir del producto licuado se dividieron tres partes iguales que correspondieron a los pH ajustados, el primero de ellos correspondió al característico de la cebolla junca y que aproximadamente es de 5,7, en el segundo caso se llevó a pH de 4,5 y en el tercero a pH de 3,5; a su vez estas divisiones se fraccionaron en cinco partes y cada una se sometió a un tratamiento específico, de tal forma que se estableció un rango de temperatura en el que la enzima alliinasa no se desnaturalizó por completo y se definió la temperatura a la que puede someterse la cebolla junca para la elaboración del condimento en pasta. Después de tener la pulpa de cebolla en una licuadora industrial marca Ajover, se trataron térmicamente a 45°C, 65°C y 72°C, y sin tratamiento térmico a los diferentes pH.

Determinación de ácido pirúvico. El ácido pirúvico como indicador de pungencia para toda la experimentación, se obtuvo mediante la curva de calibración realizada por el método 17-23 que demostró *Schwimmer en USDA Western Regional Research Laboratorio*, descrito por Hart y Fischer (1984) para cuantificar el ácido producido enzimáticamente. La pungencia se evaluó para muestras con un 97,52% de humedad de la pasta en base húmeda y 2,48% de sólidos. Por lo tanto, la curva de calibración se preparó con un peso inicial de piruvato sódico correspondiente a 0,0334g y un aforo de 10mL con agua destilada, de esta disolución se tomó una alícuota de 0,1 mL y de igual forma se afora a 10mL con agua destilada, finalmente se continúa con el procedimiento para la preparación de la grafica patrón. Las lecturas de absorvancia a una longitud de onda de 420 nm y concentración de ácido pirúvico se muestran en tabla 1.

Tabla 1. Datos de ácido pirúvico para la curva de calibración

Volumen ácido pirúvico (mL)	Ácido pirúvico (µg)	Absorvancia
0,5	6,68	0,266
1,0	13,36	0,352
1,5	20,04	0,483
2,0	26,74	0,568
2,5	33,40	0,645

Los resultados se linealizaron con la ecuación y=0,0146x+0,1706 con un factor de correlación de 0,9915. A parir de la concentración de ácido pirúvico expresada en

Formulaciones de producto. La especia base del condimento fue la pulpa de cebolla junca que constituyó entre el 91,98 al 96,10% de las formulaciones. Este contenido cumple con las recomendaciones mínimas de la Norma Técnica Colombiana NTC 4423 (ICONTEC 1991) para los condimentos de pasta, la cual menciona que estos productos deben contener un mínimo del 80% m/m de la especia. Además se adicionó, sal y azúcar en una proporción de 1,8% y 1,6% respectivamente, pectina entre 1 a 2,5% para mantener estable el producto en el tiempo, y almidón de yuca como aditivo espesante. El pH de 3,5 en el producto se alcanzó con ácido cítrico al 0,5%. Por último, se empleó en la formulación una mezcla de benzoato y sorbato como conservantes, sin superar los 1250 mg/kg máximos permitidos en la legislación colombiana (ICONTEC 1991).

Determinación de la consistencia. Con el consistómetro de Bostwick se midió la consistencia por el método descrito por Von Hils (2000) quien plantea que los productos *hot break* en los cuales se requiere una buena consistencia, los valores son inferiores a 5 o 6cm de escurrimiento. Esta medición se realizó para cada formulación tomando un tiempo de escurrimiento que corresponde a 10 segundos.

Determinación de sólidos solubles. Según el método descrito en la AOAC (2006) numeral 962.18.16 los sólidos solubles en fase acuosa se midieron con refractómetro; pues la cebolla es un compuesto hidrofílico.

Análisis microbiológicos. Estos análisis consideraron el recuento de mesófilos, coliformes fecales, mohos y levaduras, y detección de *Salmonella* para la pasta, al inicio y al final del tiempo de vida útil establecido.

Estabilidad del producto en el tiempo. El tiempo de vida útil se estimó a partir del modelo de Arrhenius (Dominic 2002), así:

$$t_2 = \frac{t_1}{Q_{10}^{(\Delta T/10)}}$$

El cual considera, el tiempo actual (t_1), el tiempo acelerado (t_2), el diferencial de las temperaturas ambiente y acelerada (ΔT), y el cambio de la proporción al aumentar 10°C en la temperatura de 3 días (Q_{10}).

Evaluación estadística. Los resultados experimentales se evaluaron estadísticamente con arreglos completamente aleatorizados de una sola vía, con 95% de confiabilidad a partir de una hipótesis y se probaron las hipótesis alternas aceptadas con las pruebas de Tukey y Duncan; para ello se empleó el programa *Statistix*® versión 8.1.

RESULTADOS

Pre-experimentación. Las muestras obtenidas para esta fase, presentaron un comportamiento diferente según el ensayo. Para los ensayos con pH de 5,7 y de 4,5 en los diferentes tratamientos térmicos, se observó que el color verde de la cebolla junca se acentuó. Para algunos ensayos se les elevó la temperatura hasta 72°C y se tornaron de color café claro lo que evidenció una desnaturalización enzimática. Por otro lado las muestras de la prueba a pH de 3,5 en comparación con las anteriores, no presentaron pardeamiento y el color se conservó como el verde característico de la cebolla licuada. Luego, al comparar el color entre las diferentes muestras según cada ensayo se concluye que la cebolla que se cortó a temperatura de refrigeración conservó mejor el color.

Respecto a la pungencia para el corte de la cebolla junca a temperatura ambiente, se observó que la pungencia a pH de 5,7 o característico de la cebolla fue en aumento durante los tres primeros tratamientos; es decir, a temperatura ambiente, 45°C y 65°C, sin embargo a 72°C hubo un descenso en la pungencia, que se asocia a la desnaturalización de la enzima; y se observó algo similar a pH de 4,5 y a pH de 3,5 el comportamiento de la pungencia conservó valores similares. Queda por añadir que las muestras de cebolla junca a diferente pH y sometidas a las temperaturas establecidas, presentaron valores de pungencia entre 147,94 a 198,36 $\mu g_{\text{ácido pirúvico}}/g$. En los ensayos con corte a temperatura de 4°C, la pungencia a pH de 5,7 aumentó durante los tres primeros tratamientos, es decir a temperatura ambiente, a 45°C y a 65°C, sin embargo a 72°C hubo un descenso en la pungencia, que se asocia a la desnaturalización de la enzima. Por su parte el comportamiento de las muestras a pH de 4,5 e inclusive a pH de 3,5 son iguales al que se obtuvo en las muestras a pH de 5,7 y la tendencia es similar. De igual forma los rangos de pungencia de las muestras de este ensayo, los cuales están entre 112,28 a 147,82 $\mu g_{\text{ácido pirúvico}}/g$. Con base en los resultados de la pre-experimentación y de acuerdo al soporte estadístico de los valores de pungencia para los dos ensayos, el corte de la cebolla junca debe realizarse a temperatura ambiente ya que hay una pungencia mayor (Figuras 1 y 2).

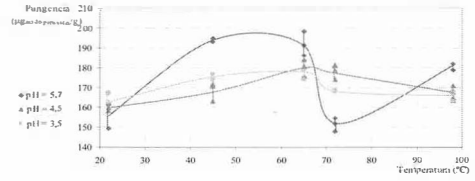


Figura 1. Pungencia en corte de cebolla junca a temperatura ambiente

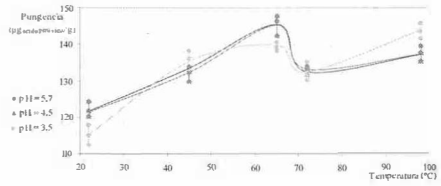


Figura 2. Pungencia en corte de cebolla junca a temperatura de 4°C

El mejor pH para la elaboración industrial de condimento en pasta a base de cebolla junca es el de 3,5 pues ayuda a inhibir la producción de microorganismos en el producto terminado y no afecta las cualidades de sabor y de aroma de la hortaliza en fresco. Así mismo, sin importar la temperatura en la que se realice el corte de la cebolla junca ni el pH de la misma, la enzima alliinasa mantiene la producción de ácido pirúvico. Por esta razón y de acuerdo a la temperatura y tiempo de pasteurización propuesto por Rahman (2003) la pasteurización del condimento en pasta a base de cebolla junca debe realizarse a 65°C durante 30 minutos.

Experimentación de la formulación de la pasta. Las pastas realizadas en esta fase, mostraron resultados de sólidos solubles entre 8,3 a 9°Brix. Según los resultados de la determinación de pungencia para las pastas de cebolla junca con las diferentes formulaciones planteadas y cuyos valores se muestran en la figura 3, se analizó que después de haber sido sometidas a pasteurización de 65°C durante 30 minutos, se obtuvo que la fórmula 4 es la de menor pungencia entre 159,26 a 165,33 $\mu g_{\text{ácido pirúvico}}/g$. La formulación 1 presentó el rango más alto de todas las formulaciones con una pungencia entre 217,25 a 224,10 $\mu g_{\text{ácido pirúvico}}/g$. Por último, cabe aclarar que ninguna de estas formulaciones presentaron pungencia inferior a la de la cebolla junca en fresco.

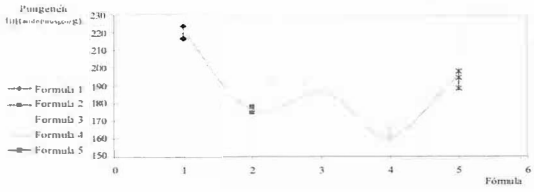


Figura 3. Pungencia en las formulaciones de pasta de cebolla junca

Los resultados se evaluaron estadísticamente, las fórmulas 3 y 5 no presentaron diferencias significativas en cuanto al aroma y el sabor, no obstante las fórmulas 1, 2 y 4, comparadas con las fórmulas 3 y 5; mostraron diferencias significativas respecto a la pungencia. En la tabla 2 se evidencia que todas las fórmulas tienen valores inferiores a 5 cm de escurrimiento y por lo tanto

buena consistencia. Considerando esto, la fórmula 3 al haber obtenido los menores valores de escurrimiento, se define como la que presentó mejor consistencia.

Tabla 2. Consistencia de las pastas de cebolla en la experimentación

FÓRMULA	1	2	3	4	5
CONSISTENCIA (cm)	6,00	3,00	2,00	1,50	1,50
	5,50	3,50	2,50	1,00	1,50
	5,50	3,50	2,00	1,00	1,00

Finalmente, la fórmula 3 es la formulación con mayor pungencia y en lo que respecta a la consistencia es la que tiene un nivel de escurrimiento óptimo y que se refleja en la fácil untuosidad del producto sin perder su consistencia. Por ende, esta fórmula es la que se escogió como la mejor.

Estabilidad del producto en el tiempo. El condimento en pasta a base de cebolla junca cumple con los requisitos microbiológicos para especias y condimentos en pasta debido a que después de 4 semanas hay ausencia de mesófilos, coliformes fecales, mohos y levaduras y *Salmonella*, esto lo hace un producto de buena calidad según la Norma Técnica Colombiana NTC 4423 (ICONTEC 1991).

Luego de 30 días de haber sometido la pasta de cebolla junca a diferentes ambientes, los resultados de pungencia fueron similares para cada uno de ellos y se soportó estadísticamente de acuerdo a los resultados de la tyabla 3, donde la pasta a temperatura ambiente y luz directa mostró una variación de la pungencia entre 187,18 a 206,75 $\mu g_{\text{ácido pirúvico}}/g$; por su parte la pasta a temperatura de 4ºC obtuvo una pungencia entre 182,87 a 204,60 $\mu g_{\text{ácido pirúvico}}/g$; por último, en la pasta a temperatura acelerada (40ºC) estuvo entre 183,89 a 199,63 $\mu g_{\text{ácido pirúvico}}/g$.

Entre tanto, la consistencia de la pasta a lo largo de las cuatro semanas de evaluación presento el mismo comportamiento del aroma y del sabor puesto que los resultados obtenidos son afines y estadísticamente se comprueba que no hay diferencias significativas entre las pastas sometidas a diferentes ambiente.

Se procedió a realizar el tiempo estimado de vida útil acelerada para el condimento en pasta a base de cebolla junca, así:

$$t_2 = \frac{30\ días}{3^{\left(\frac{(22-40)°C}{10}\right)}}$$

$$t_2 = 216\ días$$

Tabla 3. Pungencia de pasta de cebolla en en el tiempo

SEMANA	TEMPERATURA			TOTAL DE REPETI-CIONES	ANOVA (5% Error)
	Ambiente	4ºC	40ºC		
	Pungencia ($\mu g_{\text{ácido pirúvico}}/g$)				
1	187,86	186,48	189,33	9	Fc = 0,42 Ft = 5,14
	192,86	190,85	187,04		
	194,50	189,88	196,08		
2	196,1	182,87	195,98	9	Fc = 0,48 Ft = 5,14
	187,18	198,09	199,63		
	195,13	192,64	191,63		
3	206,75	200,49	193,66	9	Fc = 1,10 Ft = 5,14
	195,56	190,66	190,16		
	188,70	204,60	188,33		
4	196,30	192,93	183,89	9	Fc = 1,78 Ft = 5,14
	195,72	190,90	196,51		
	197,74	188,08	194,17		

Por lo anterior; el condimento en pasta a base de cebolla junca, después de haber sido sometida a temperatura de 40ºC con el fin de acelerar las reacciones químicas y enzimáticas del producto, y así realizar un estudio rápido de vida útil se estimó que la caducidad de este alimento es de 216 días. Cabe aclarar que esta caducidad corresponde solo a los días en que la pasta fue puesta bajo las condiciones mencionadas.

CONCLUSIONES

El corte de las hojas y raíz de la cebolla junca debe ser realizado a temperatura ambiente para acelerar la reacción enzimática y por consiguiente aumentar el contenido de ácido pirúvico como indicador de pungencia para acentuar las cualidades de aroma y de sabor en el producto terminado. Para la elaboración industrial de condimento en pasta a base de cebolla junca, el pH de la pasta debe ser de 3,5 ya que ayuda a inhibir la producción de microorganismos en el producto terminado y no afecta las cualidades de sabor y de aroma de la hortaliza en fresco. En la pre-experimentación se determinó que para la elaboración del condimento en pasta a base de cebolla junca la temperatura de 65ºC conserva estable las condiciones de la enzima aliinasa y por ende el contenido de ácido pirúvico como indicador de pungencia.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la pre-experimentación se concluye que la enzima alliinasa generadora del sabor y del aroma de la cebolla junca, es estable hasta una temperatura de 65ºC sin importar el pH en el que se encuentre. Al mismo tiempo, se observó que la cebolla junca al someterse a un daño físico realizado a temperatura ambiente, no pierde por completo las cualidades de pungencia a pesar de que se haya acelerado la reacción enzimática generadora de este compuesto.

La pungencia de la cebolla junca en fresco se encuentra en un rango de 149,20 $\mu g_{\text{ácido pirúvico}}/g$ a 161,83 $\mu g_{\text{ácido pirúvico}}/g$ siendo casi tres veces más pungente que la cebolla cabezona deshidratada tomada como base teórica y que corresponde a valores de pungencia entre 22,38 $\mu g_{\text{ácido pirúvico}}/g$ a 55,958 $\mu g_{\text{ácido pirúvico}}/g$ los cuales se encuentran en la base real de humedad de las muestras de cebolla junca.

En el estudio acelerado de vida útil se determinó que en un tiempo de 7 meses el condimento en pasta a base de cebolla junca no pierde las cualidades de sabor y de aroma del producto y no presenta crecimiento de microorganismos; es decir, que a las condiciones de corte de la cebolla junca a temperatura ambiente, pH de la pasta de 3,5 y pasteurización a 65ºC durante 30 minutos garantizan un producto estable en el tiempo.

AGRADECIMIENTOS

A la Química Luz Myriam Moncada por sus oportunas apreciaciones profesionales, a la Ingeniera de Alimentos Patricia Chaparro por sus aportes en el área del procesamiento de frutas y hortalizas, y a la Universidad De La Salle por facilitar las plantas pilotos para el desarrollo del proyecto.

BIBLIOGRAFIA

AOAC Internacional. 2006. "Método 962.18.16. USA". p: 147

Dominic, M. 2002. "Caducidad de los alimentos". España. Editorial Acribia. pp: 25-46

Hart, L. y Fisher, H. 1984. "Análisis moderno de los alimentos". España. Editorial Acribia. pp: 69-135

ICONTEC International. 1991. "Normas y Procedimientos Reglamentarios de la Industria de alimentos NTC 4423". Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Colombia. 15p.

Rahman, S. 2003. "Manual de conservación de los alimentos". España. Editorial Acribia. pp: 36-56

Siesa. 2002. "Sistema de información estratégica del sector agroalimentario". Colombia. Editorial CCI. pp: 1-2

Trujillo, F. 2002. "Procesos de deshidratación de cebolla junca y de cebolla cabezona". Tesis de Ingeniería de Alimentos. Universidad De La Salle. Colombia. 158p.

Von, H. 2000. "Instrucciones para el uso del consistómetro Bostwick. Bertuzzi". Manual en la Universidad De La Salle, Planta de Frutas y Hortalizas. Facultad de Ingeniería de Alimentos. Colombia. 3p.

CAMBIOS REOLOGICOS DURANTE EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE YOGURT DE CHOCHO (*Lupinus mutabilis* Sweet)

Segovia, Gabriela[1,2].; Villacrés, Elena[2].; Paredes, Mario[1]

[1/]Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato, Campus Académico Huachi. Av. Los Chasquis y Río Payamino Telf: 032400987. fcial@uta.edu.ec; gabys64@latinmail.com

[2/] Departamento de Nutrición y Calidad de Alimentos. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Km 1 Panamericana Sur, Quito, Ecuador. Telefax (593-2)3007134, eescdir@panchonet.net; hidalgor@ecnet.ec; www.iniap-ecuador.gov.ec

Palabras claves: Procesos, chocho, proteína hidrolizada, estabilizante, gel, fermentación

RESUMEN

Con el fin de diversificar el consumo del chocho, se investigó y desarrolló la tecnología de elaboración de yogurt, a partir del grano desamargado fresco.

Como materia prima se utilizó el extracto acuoso del grano (leche) y como ingredientes se incorporaron niveles variables de proteína hidrolizada de chocho (0,2; 0,5 %) y solución de sacarosa (15 y 18 ° Brix). Para la fermentación se probaron concentraciones de inóculo al 2,5 y 3 % (*Streptococcus thermophilus y Lactobacillus bulgaricus)*, el conjunto se incubó a 40°C durante 3,5 horas.. Al final del proceso se alcanzó una acidez del 0,65 % (expresado como ácido láctico) y un pH de 4,3; lo cual contribuyó a la gelificación y firmeza del coágulo.

Los cambios reológicos que ocurren cuando el producto se torna espeso, después del periodo de incubación, se registraron en un viscosímetro rotacional provisto del rotor LV2, correspondiente a la geometría de cilindro simple. Estos parámetros son útiles como medidas de control durante el proceso de elaboración y para fijar las características de calidad preferidas por el consumidor.

La incorporación de proteína hidrolizada, elevó el contenido proteico del producto final hasta un nivel de 6 %, mientras que el contenido de grasa registrado fue del 2,2 %, parámetros que diferencian a este producto, de su homólogo de origen animal y lo hacen apto para dietas especiales con restricción en el consumo de grasa y colesterol.

INTRODUCCIÓN

El aceite y las proteínas almacenados en los cotiledones de la semilla de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet), son los elementos de mayor interés nutricional e industrial. Esta leguminosa produce, en promedio 765 kg de proteína y 300 Kg de aceite por hectárea. El mayor potencial de la proteína está en el área del mejoramiento nutricional de alimentos, sin embargo tiene aplicación como ingrediente funcional, debido a su capacidad para formar o estabilizar geles, espumas, masas, emulsiones y estructuras fibrilares. Esta propiedad se aprovecha en el procesamiento de sustitutos lácteos con diferentes características reológicas, los cuales son de menor costo que la leche entera de vaca y ofrecen la oportunidad de fortificarlos, mediante la adición de proteína, aminoácidos específicos, vitaminas o minerales (Johannsen, 1996).

Durante el proceso de elaboración del yogurt, sus propiedades físicas cambian por efecto de varios factores como: el tratamiento térmico de la leche, el contenido de proteína, la homogeneización, la acidez, el cultivo de microorganismos, el manejo mecánico del coágulo y la presencia de estabilizadores. Parnell-Clunies y colaboradores (1986), establecieron que el tratamiento térmico de la leche a temperaturas ultra altas (UHT), provoca yogurts de baja viscosidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Chocho, variedad Andino 450, leche en polvo (La Vaquita), cultivo láctico Fermelac®, proteína hidrolizada de chocho, estabilizante, azúcar. Materiales de uso común de laboratorio.

Molino *Geng* para granos húmedos, provisto de un tamiz de abertura 0.1 mm., Modelo FDM-Z100.

Métodos

Preparación del yogurt con incorporación de proteína hidrolizada

El grano desamargado fresco fue molido en el molino *Geng*, manteniendo una relación 1:2, es decir por cada kilogramo de chocho, se utilizó dos litros de agua. Al final del proceso se obtiene una fracción líquida denominada leche y otra residual sólida, denominada torta.

En la leche recuperada se probó la incorporación de dos niveles de proteína hidrolizada de chocho (0.2 y 0,5 %) y dos concentraciones de sólidos solubles (15 y 18 °Brix). Se homogenizó el conjunto a 60°C durante un minuto, luego fue pasteurizado a 87°C por 5 minutos; al cabo de este tiempo se enfrió el producto a 40°C y se inocularon concentraciones variables de cultivo láctico (2,5 y 3 % v/v). El conjunto fue incubado a 40 °C durante 3,5 horas y luego enfriado a 15 °C, obteniéndose un producto gelificado, el cual fue caracterizado.

Caracterización

- Acidez titulable: Método de la A.S.B.C. 1991 Adaptado en el Dpto. de Nutrición y Calidad del INIAP.
- pH: Método de la A.S.B.C. 1991 Adaptado en el Dpto. de Nutrición y Calidad del INIAP.
- Viscosidad y parámetros reológicos: se empleó un viscosímetro rotacional marca Brookfield LVTD; con adaptadores UL y LV2, radio interior de 0.005128 m y radio exterior de 0.006475 m
- Análisis proximal: Proteína bruta, cenizas, fibra bruta, humedad. Métodos de la A.O.A.C. (1986), adaptados en el Dpto. de Nutrición y Calidad del INIAP (1991).
- Sólidos totales: según el método establecido en la Norma INEN 014.
- Grasa: método Gerber, (1992)
- Contenido de minerales (macro y micro elementos), 1991: Por Espectrofotometría de Absorción Atómica.
- Perfil de aminoácidos: Por Cromatografía Líquida de Alta Resolución, HPLC.

El paquete estadístico *Statgraphics Plus* versión 4.5, se utilizó para evaluar los datos del presente estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la fermentación se evaluó el efecto de la incorporación de proteína hidrolizada, nivel de inóculo y sólidos solubles sobre la cinética de fermentación.

Acidez Titulable

Se determinó una relación directamente proporcional entre el tiempo de fermentación y el desarrollo de la acidez, debido a la producción de ácidos orgánicos, principalmente ácido láctico, por acción glucolítica de las bacterias *S. thermophilus y L. bulgaricus* sobre la sacarosa y la lactosa de la leche en polvo añadida. Concentraciones de proteína hidrolizada al 0,5 % e inóculo al 3 % favorecieron el desarrollo de la acidez hasta niveles comprendidos entre 0,61 y 0,65 %, en un tiempo promedio de 3,5 horas. Estos valores se encuentran dentro de las reglamentaciones establecidas en la Norma INEN 710, para este tipo de productos.

pH

En contraste con la acidez, los valores de pH disminuyeron a medida que avanzó el tiempo de fermentación, hasta niveles entre 4,2 y 4,3. Este valor se encuentra en las proximidades del punto isoeléctrico de la proteína (4.5), lo que provocó su precitación, contribuyendo a la formación, firmeza del gel y al sabor característico del producto.

Comportamiento reológico

Las propiedades reológicas de los productos lácteos han sido ampliamente estudiadas; al graficar los valores de velocidad de rotación, expresados en revoluciones por minuto (RPM), contra las lecturas registradas con el adaptador UL del viscosímetro Brookfield, expresadas como porcentaje, se observa que al inicio del proceso de formación del yogurt, el producto mantuvo las características de la leche de chocho (Figura N° 1); los valores del esfuerzo de cizalla (τ), variaron en forma directamente proporcional a la velocidad de cizalla (γ) (Cuadro N° 1), mostrando un comportamiento newtoniano.

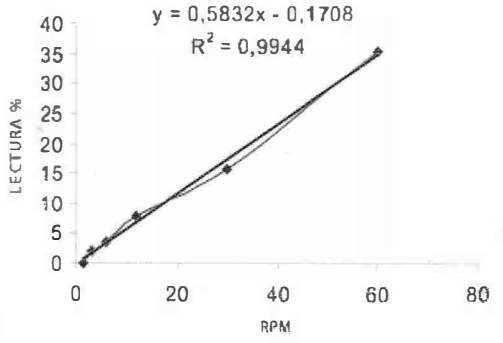


Figura N° 1. Cambio en la lectura del torque a diferentes velocidades de rotación, en leche de chocho.

Los valores de viscosidad de la leche de chocho registrados, son más altos que los correspondientes a la leche de vaca, (0,0017 Pa.s), debido al efecto de la proteína hidrolizada, la sacarosa y el estabilizante añadidos, los cuales modifican las propiedades reológicas de las fases continuas (Thebaudin y col., 1997). En consecuencia se requeriría mayor energía de activación para iniciar el flujo en leche de chocho que en leche de vaca.

Conforme avanza la fermentación se apreciaron cambios en la consistencia, el producto se tornó espeso y al final de 3,5 horas de proceso, se requirió utilizar el rotor LV2, que corresponde a la geometría de cilindro simple, registrándose disminución de la viscosidad aparente a medida que la velocidad de cizalla se incrementa.

Cuadro N° 1. Parámetros reológicos de la leche de chocho a 20°C

Velocidad de rotación (rpm)	FS (%)	τ (Pa)	γ (1/s)	μ (Pa.s)
0,3				
0,6				
1,5	0	0,000	1,839	0
3	2,1	0,015	3,377	0,0042
6	3,5	0,026	7,355	0,0035
12	7,9	0,058	14,710	0,0039
30	15,68	0,115	36,774	0,0031
60	35,4	0,260	73,548	0,0035

Viscosidad Aparente

La viscosidad aparente es la resistencia de un líquido a fluir o deformarse, para el yogurt de chocho, este parámetro disminuyó a medida que se incrementó la velocidad del rotor, probablemente debido al rompimiento de la red encargada de mantener la estructura del gel (Figura N° 2). El modelo de la ley de potencia para fluidos seudoplásticos se considera adecuado para describir el flujo del yogurt al final de su elaboración.

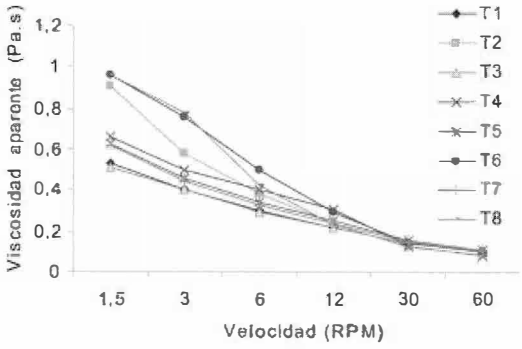


Figura N° 2. Efecto de diversos tratamientos sobre la viscosidad aparente del yogurt de chocho, a diferentes velocidades de rotación.

La mayor viscosidad aparente de los tratamientos T6 y T8, a bajas velocidad de rotación (1,5 y 3 rpm), con respecto a los tratamientos T3, T1 y T7, está influenciada por el contenido de sólidos solubles (18 °Brix), debido a la adición de sacarosa; sin embargo conforme aumenta la velocidad de rotación, disminuyen las diferencias debidas a este factor.

Índice de comportamiento al flujo (n)

Los valores de índice de comportamiento al flujo aplicados a los alimentos en su período de consumo, constituyen la "huella digital reológica" para especificar la identidad de un alimento, lo cual es útil para diferenciar un alimento de otro en el mercado mundial.

Para el cálculo de este índice, se utilizó la ecuación sugerida por Alvarado (1996), la misma que relaciona el logaritmo $4\pi N/60$ con el logaritmo de la viscosidad aparente. A partir de esta relación, se obtuvieron ecuaciones de regresión para cada uno de los tratamientos, de cuya pendiente sumada la unidad, se obtuvo el índice de comportamiento al flujo (n). Los coeficientes de correlación (R^2) obtenidos fluctuaron entre 0,92-0,99; validando así el modelo de regresión aplicado.

Para el yogurt de chocho, procesado con diferentes concentraciones de proteína hidrolizada, inóculo y sólidos solubles, el valor de **n** obtenido fue menor que la unidad (0,29-0,55), corroborando su comportamiento seudoplástico.

Cuadro Nº 2. Indice de comportamiento al flujo, en yogurt de chocho, preparado con diferentes dosificaciones de ingredientes

Tratamientos	ECUACION $\log\mu_a = (n-1)\log 4\pi N + \log K$	R^2	Índice de Comportamiento (n)
T1	-0,4542 * log (4πN) - 0,4882	0,9986	0,5458
T2	-0,648 * log (4πN) - 0,3655	0,9978	0,352
T3	-0,4451 * log (4πN) - 0,4979	0,9974	0,5549
T4	-0,5672 * log (4πN) - 0,3852	0,9230	0,4328
T5	-0,461 * log (4πN) - 0,4257	0,9987	0,539
T6	-0,6566 * log (4πN) - 0,2882	0,9890	0,3434
T7	-0,4738 * log (4πN) - 0,4437	0,9982	0,5262
T8	-0,711 * log (4πN) - 0,3236	0,9894	0,289

Para los tratamientos T2, T6 y T8, que incluyeron la adición de proteína hidrolizada al 0,5 % e inóculo al 2,5 %, se obtuvieron índices de comportamiento igual a 0,35; 0,34 y 0,29, respectivamente; valores similares a los reportados por Alvarado (1996), para el yogurt de leche de vaca. En contraste, el mayor valor de **n** y por tanto una mayor desviación del testigo comercial, se registró para los tratamientos T1 y T3, en los se incorporó una menor concentración (0,2 %) de proteína hidrolizada (0,2 %) y mayor concentración de inóculo (3 %).

Índice de consistencia (k)

El yogurt de chocho presentó valores de índice de consistencia (k) comprendidos entre 0,32-0,52 Pa.s^n, valores más bajos con relación a su homólogo, obtenido a partir de leche de vaca (0,6 Pa.s^n), evidenciando la consistencia normal del producto. Los tratamientos que alcanzaron un mayor índice de consistencia fueron el T2, T6 y T8, con valores promedio de 0,51; 0,47 y 0,43, respectivamente. Estos tratamientos en común incluyeron una concentración inicial de sólidos solubles igual a 18 º Brix, poniendo de manifiesto la influencia de este factor en la consistencia del producto.

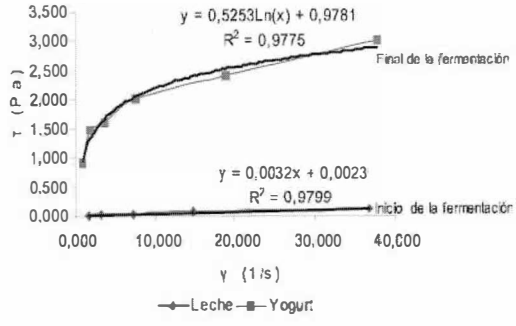


Figura Nº 2. Curvas de flujo obtenidas en yogurt de chocho a 20ºC.

El proceso de elaboración del yogurt, produce marcados cambios en los parámetros reológicos, ya que comienza como un fluido newtoniano, la leche, y termina en un fluido seudoplástico (Figura Nº 2), en consecuencia los índices calculados pueden ser utilizados en el control de calidad del producto, evaluación sensorial y aplicaciones de ingeniería relacionadas con su procesamiento y manejo.

Viscosidad real

Los datos de viscosidad real para el yogurt de chocho, se cifraron entre 0,3 - 0,4 Pa.s, valores menores a los reportados por Alvarado (1996), para el yogurt de leche de vaca (0,55-0,6 Pa.s).

Composición química

La Norma Ecuatoriana INEN 710, establece como requerimiento mínimo de proteína para el yogurt, un 3%; el yogurt de chocho presenta un mayor aporte de este nutriente alcanzando un valor de 5,79 % en el tratamiento T4.

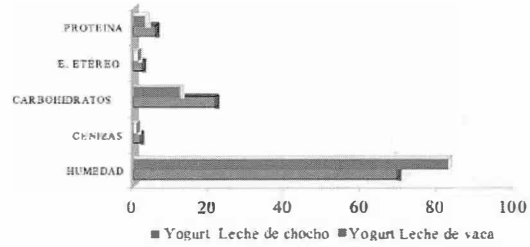


Figura Nº3. Composición proximal comparativa entre el yogurt de chocho y el de leche de vaca

En la proteína del yogurt vegetal, predominaron los aminoácidos arginina, leusina, fenilalanina, isoleucina, valina, ácido glutámico, serina, treonina y ácido aspártico.

Los valores de grasa para el producto obtenido a partir del chocho están comprendidos entre 2,2-2,3%, niveles que se enmarcan dentro del rango establecido por el INEN para yogurts tipo II, los cuales deben presentar un contenido máximo de grasa igual al 2 %, nivel beneficioso para personas con restricción en el consumo de este nutriente. En cuanto al contenido de cenizas, valor indicativo del contenido de minerales, el producto de chocho presentó una mayor concentración (1,67 %), posiblemente debido a los ingredientes añadidos en la formulación del producto. Entre los minerales sobresalieron el calcio (0.4%), el fósforo (0,4%), el potasio (0,48%) y el magnesio (0,05 %); mismos que son necesarios para diversas funciones, fisiológicas del organismo.

CONCLUSIONES

- El pH y la acidez determinaron el tiempo de fermentación del yogurt, alcanzando un valor promedio de 3,5 horas. Al final del proceso se registraron valores de 4.3 para el pH y 0,65 % para la acidez.

- En base al estudio de las propiedades reológicas, se concluye que éste es un fluido seudo plástico con un índice de comportamiento al flujo igual a 0,34 (tratamiento seleccionado); según este valor no se requerirían esfuerzos extremos y bombas de alta potencia para transportarlo por las tuberías de un pasteurizador, conllevando a una reducción del costo energético. El índice de consistencia (k = 0,51 Pa.s^n) muestra que el yogurt de chocho es de textura normal, con una viscosidad real promedio de 0,35 Pa.s, lo que implicaría una baja adherencia del producto en las tuberías de transporte y el envase de almacenamiento.

- La incorporación de proteína hidrolizada, en la formulación del producto base para la fermentación, elevó el contenido de este nutriente en el producto final, a un nivel del 6% y concomitantemente el contenido de aminoácidos, hasta niveles superiores al yogurt de leche de vaca. El contenido de grasa (2.2%) resultó inferior al producto de origen animal, mientras que los minerales, especialmente calcio, fósforo y potasio se elevaron a una concentración de 0.40 mg/100 ml para los dos primeros elementos y 0,48 mg/100 ml para el potasio.

AGRADECIMIENTO

Al Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, por las facilidades brindadas y a la Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología, SENACYT, por el financiamiento otorgado para el desarrollo de la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarado, Juan de Dios, 1996, "Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos", Ambato-Ecuador, pp. 180.
2. Brookfield Engineering Labs "More solutions to sticky Problems", 1996, Germany, pp. 13, 25, 56.
3. Cameron, Fox, 1999, "Introducción a la Ciencia de los Alimentos" editorial Kapeluz, Honduras, pp. 87-103.
4. Durán, L.; Fiszman, S. y Benedito, C. 1991, Propiedades Mecánicas Empíricas. En: Métodos para medir propiedades físicas industriales de alimentos. Alvarado, J., y Aguilera, JM. Eds. Ed Acribia. Zaragoza, España, 2001. pp 153 y 154.
5. G.C.P., R.L.A, 1993, "Manual correspondiente al Módulo I, Tecnología y control de Calidad de Productos Lácteos", Equipo regional de Fomento y Capacitación en Lechería de FAO para América Latina, pp. 3.3-4
6. González, M, 2003, "Desarrollo de un sustituto lácteo para la alimentación de terneros" Proyecto de grado previa a la obtención del título de Economista en Gestión Empresarial", Colombia, pp. 78-85.
7. Gross, Rainer, 1982 "El cultivo y la utilización del tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, pp. 152, 154-158.
8. Hohannsen, 1986. The influence of Food Protein Functionality. *J. Inst. Can. Sc. Technol. Alimen.* Pp. 169-193
9. Lara, K. 1999 Estudio de alternativas para el desamargado de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet). Tesis en Doctorado en Química, Riobamba-Ecuador, Escuela superior politécnica de Chimborazo, pp. 23.
10. Parnell - Clunies, E.M.; Kakuda, Y. and Deman, J. 1986. Influence of heat treatment of milk on the flow properties of yogurt. J. Food Sci., 51:1459- 1462.
11. Peralta, Eduardo, Mazón, Nelson, 1998, "Catálogo del Banco de Germoplasma de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) y otras especies de lupinus, INIAP, Ecuador, pp. 1,2.
12. Rivero, M y colab, 2003 "Nuevo Manual de Dietética y Nutrición" ediciones Mundi-Prensa Madrid, España, pp. 13-38.
13. Rodriguez, D, Ruiz, F, 1998 "Producto dietético tipo yogur a partir de clara de huevo, leche de vaca y soya (*Glycine max*)" Tesis previa a la obtención de Ingeniero en Alimentos otorgado por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Ambato-Ecuador, pp. 5.
14. Tamine, A. Y., 1991, "Yogur, Ciencia y Tecnología", editorial Acribia, S.A. Zaragoza, pp.22, 25, 44-52, 61
15. Villacrés, Elena, Ruales, Jenny, 2001 "Obtención y caracterización físico-química y funcional de un hidrolizado enzimático de chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet)", pp. 5, 6, 64-80.
16. Wilbey, R.A, 2002, "Fabricación de queso" editorial Acribia, S.A. Zaragoza, segunda edición pp. 55, 110-120.

USO DE ENZIMAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DE LA GELATINA

Serna-Cock, Liliana*; Pineda Cuervo, Darío; Ayala Aponte, Alfredo***.**
***UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA**
****PRODUCTORA DE GELATINA S.A., PROGEL**
*****UNIVERSIDAD DEL VALLE.**
E. mail. lsernac@palmira.unal.edu.co
VALLE DEL CAUCA-COLOMBIA

Palabras clave: reología, gelatina comestible, carnaza bovina.

RESUMEN

La viscosidad y el poder gelificante, son dos propiedades reológicas que determinan el precio de la gelatina en el mercado internacional, éstas propiedades dependen de la materia prima, de la forma de extracción del colágeno y de su método de concentración. En este estudio se evaluó el efecto de aplicar una proteasa alcalina en carnaza entera bovina sobre el poder viscosante y gelificante de la gelatina comestible obtenida de ésta materia prima. Los resultados se compararon con los resultados obtenidos con carnaza entera sin pretratamiento enzimático. Los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. La mayor viscosidad y el mejor poder gelificante se obtuvieron con el uso de proteasa alcalina: En trece horas de proceso el 51.3% de la producción presentó viscosidades mayores a 42 mP y el 65.5% de la gelatina presentó poder gelificante por encima de 300 g. Sin pretratamiento enzimático el 7.7% de la producción presentó viscosidades mayores a 42 mP y el 41% con alto poder gelificante. Estas diferencias inciden directa y favorablemente en el precio de la gelatina.

INTRODUCCIÓN

La gelatina se obtiene comercialmente por hidrólisis selectiva del colágeno (Saddler y Horsey, 1987, Budavari, 1996), y éste se extrae del tejido conectivo de pieles procedentes de bovinos (carnaza), cerdos, pescado y huesos de animales (Budavari, 1996). Los pretratamientos de las pieles ó los huesos son esenciales para eliminar el material no colagenoso de la materia prima y determinan en parte la calidad y los rendimientos en gelatina.

Las aplicaciones de la gelatina en alimentos, preparados farmacéuticos, aplicaciones biomédicas y productos fotográficos, se basan principalmente en su viscosidad, su capacidad para formar geles y en su eficacia como coloide protector (Cole, 2000; Ledward, 2000; Curme y James, 1977; Petersen y Yates., 1977; Hudson, 1994).

Las propiedades reológicas de viscosidad y gelificación dependen de la materia prima, del método de extracción, del número de enlaces rotos en las moléculas de colágeno original, del pH, la temperatura empleada en la extracción y del número de electrolitos en el material resultante (Asghar y Henrickson, 1982, citado por Olsen *et al*., 2003; Nicolas-Simonnot, *et al*., 1997; Cole y McGillt, 1988; Fennema, 2000).

La fijación de precios de la gelatina en el mercado internacional esta determinada por su viscosidad y por su poder gelificante denominado Bloom. La viscosidad de una gelatina al igual que el poder gelificante se clasifica en alto, medio y bajo. Las viscosidades altas se presentan en valores mayores a 42 milipoises (mP), las viscosidades medias se dan entre 37 – 41.9 mP y las viscosidades bajas se presentan con valores menores a 36.9 mP. El bloom alto se clasifica en A, si su poder gelificante es mayor a 300 gramos y en B, si su poder gelificante es de 276 a 299 gramos. El bloom medio se clasifica en tipo CA si su poder gelificante esta entre 251-275 g y en tipo C si su poder gelificante está entre 226 -250 g. El bloom bajo se clasifica en tipo D si su poder gelificante es menor a 250 g (Igoe, 1983, CCI, 1984).

En los procesos de producción de gelatina tipo B para reducir el tiempo de acondicionamiento de la materia prima, se ha propuesto el uso de enzimas (Novo industries, 1997, Cole y McGillt, 1988). Las endopeptidasas cumplen ésta función ya que son proteasas que hidrolizan las cadenas peptidicas en las regiones internas alejadas de los extremos carboxi y aminoterminal (Kenny,1999), y aunque hidrolizan selectivamente los constituyentes no colagenosos de la piel, eliminan las proteínas no fibrilares como albúminas y globulinas (Rao *et al*., 1998) y han sido utilizadas rutinariamente en la elaboración de quesos, hidrolizados de soya, elaboración de pan (Perea *et al*., 1993; Rao *et al*., 1998; Ward, 1977; Neklyudor *et al*., 2000; Grupta *et al*., 2002;), producción de dipeptidos (Barros *et al*., 1999, 480-488) y tripeptidos (So *et al*., 2000); existen escasos reportes en la literatura científica del efecto que tiene el uso de proteasa alcalina en el pretratamiento de carnazas bovinas sobre las propiedades reológicas de viscosidad y poder gelificante.

Por lo anterior, en este trabajo se evaluó el efecto de utilizar una endopeptidasa tipo serina en el pretratamiento de carnaza entera sobre las propiedades reológicas de viscosidad y poder gelificante de la gelatina en polvo, obtenida en trece horas de proceso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Se utilizó carnaza bovina entera proveniente de bovinos Cebú de la Costa Atlántica (Colombia) en edad promedio de 2.5 años, la materia prima se sometió a procesos de producción en discontinuo de gelatina tipo B.

Pretratamiento de materias primas

En la tabla 1. se describen las convenciones utilizadas en los experimentos. Para cada experimento se emplearon 7 toneladas de carnaza y temperatura de 20°C.

La carnaza se cortó en cuadros de 10x10 cm y se lavó durante dos horas con agua tratada mediante acción física de golpeo. La materia prima se cargó en tanques de concreto (redondos con agitación tipo paleta) y se sometió a proceso de tratamiento con cal (encalado) utilizando 250 kg de cal (60%CaO) durante 20 ó 30 días dependiendo de la aplicación o no de enzima respectivamente.

Transcurridos 10 días de encalado, a la mitad de los tanques de experimentación se les adicionó endopeptidasa del tipo serina, esperasa 8.0 L a una concentración de 250 ppm, el mismo tratamiento enzimático se repitió a los 15 días de encalado y la enzima se dejo actuar por 5 días más. Los tanques que no recibieron tratamiento enzimático se dejaron en encalado durante 30 días con un pH de 12.6 mediante adición de CaO en exceso.

Transcurrido el tiempo de encalado, se lavó la carnaza con agua hasta alcanzar un pH de 11.3 durante 12 horas, posteriormente se realizó el proceso de desencalado utilizando H_2SO_4 hasta obtener un pH de 1.85 ± 0.05; éste pH se mantuvo por 10 horas (acidulación). En el desencalado se adicionó además bisulfito de sodio en una proporción de 3 kg/ ton, como agente blanqueador. Finalmente la materia prima se lavó con agua durante 12 horas, hasta conseguir un pH de 3.0.

Tabla 1. Convenciones utilizadas en los experimentos y pretratamiento utilizado en las materias primas.

EXPERIMENTO	CONVENCION	MATERIA PRIMA	PRETRATAMIENTO DE MATERIA PRIMA
1	E-Enzima	carnaza entera húmeda	Encalado con adición de esperasa
2	E-No Enzima	carnaza entera húmeda	Encalado sin adición de enzima

Conversión de colágeno a gelatina

La gelatina se obtuvo por la solubilización del colágeno mediante la adición controlada de agua caliente. Para la extracción del colágeno, la materia prima pretratada se tranportó por gravedad a tanques de acero inoxidable, se dejó escurrir y se le adicionó agua a 80°C con recirculación durante 35 minutos haciéndola pasar por un precalentador de vapor. La materia prima se dejo en reposo hasta alcanzar 30°C. Posteriormente se realizó el proceso de extracción controlada del colágeno, utilizando agua a 80°C durante 16 horas). Se mantuvo un perfil térmico del extracto rico en colágeno que inició con 38°C y se aumento en un grado centígrado por hora durante las 12 primeras horas de proceso alcanzando una temperatura de 40°C , la cual se mantuvo constante hasta completar 20 horas de extracción de colágeno. Con este procedimiento se obtuvo un extracto acuoso rico en colágeno del 3% de sólidos totales.

Refinación

Para eliminar partículas indeseables, el extracto acuoso rico en colágeno se centrífugó a 5200g utilizando una centrifuga clarificadora – separadora de platos (Westfalia Samn 5036, Alemania), se filtró en un filtro de marcos y platos con lonas y tierras diatomáceas (Niro de 40 cm x 40 cm y de 20 m^2, Alemania) y se sometió a intercambio iónico para remover la dureza del extracto (columna catiónica Lewatit S-100 y una columna aniónica con resina tipo gel Lewatit M-500, Alemania).

Concentración

El extracto acuoso refinado se concentró a 18% de sólidos totales mediante un evaporador de triple efecto de placas al vacio (APV, USA),con un flujo de 2500 kg/h a una temperatura de entrada del producto de 80°C y de salida de 45°C, el pH se ajustó previamente a 4.7. El extracto concentrado se filtró y se concentró nuevamente hasta 30% de sólidos totales a un flujo de evaporación de 170 Kg/hr, con un flujo de alimentación de 424 Kg/h, temperatura de esterilización de 150°C a una presión de vacio de 630 mm de Hg (6 segundos) en el separador flash, para esto se uso un concentrador paraflash de placas al vacío (APV, USA).

Solidificación

El extracto concentrado se transportó mediante una bomba de pistones (modelo 28-35, USA) con un motor de 1Hp y 35 bares de presión a un intercambiador de calor de superficie raspada tipo horizontal concéntrico (modelo GL 031A, Inglaterra) con una temperatura de -10°C acondicionado con una placa con huecos para obtener un extracto sólido en tiras en forma de espagueti.

Secado, molienda y tamizado

Para obtener una distribución uniforme de lecho en el secador, el extracto en forma de espagueti se descargó sobre un conveyor oscilante provisto de una banda transportadora a una velocidad de 0.134 m/min. El secado se realizó en un secador de túnel con aire caliente cruzado (17000 m^3/hr, HR 25%) en seis zonas de secado a temperaturas ascendentes de 32, 36, 42, 48, 54 y 60°C.

La gelatina seca proveniente del secador se partió en pequeños trozos mediante un triturador de dientes helicoidales, y para disminuir el tamaño de partícula, los trozos de gelatina se transportaron mediante un tornillo sin fin a un molino de martillo rotatorio provisto de un tamiz malla 40 (425 micrones). De cada uno de los tratamientos se tomaron muestras de gelatina en polvo cada hora durante las primeras trece horas de proceso. Las muestras se sometieron a pruebas reológicas de viscosidad y poder gelificante.

Método analítico

Los sólidos totales se midieron directamente en un refractómetro para gelatina (K-Patents Process Instruments, USA)

Para medir la viscosidad se disolvieron 7.5 gramos de gelatina en 105 ml de agua destilada, se llevaron al baño María a 60°C por 15 minutos y la solución se llevó a un viscosímetro Viscosimetro tipo Ostwald (USA), provisto de dos pipetas volumétricas calentadas a 60°C y calibradas con glicerina bidestilada de densidad 1.23. La solución se depositó en las pipetas del viscosímetro y se midió el tiempo que demoró la solución de gelatina en llegar a un punto de referencia. Para obtener los resultados, se multiplicaron los tiempos obtenidos por la constante de cada pipeta volumétrica. Los resultados se expresaron como viscosidad en milipoises a una concentración de 6.66% y a una temperatura de 60°C

Para medir el poder gelificante, se disolvieron 7.5 g de gelatina en polvo en 105 ml de agua destilada utilizando jarras de vidrio bloom, las jarras se taparon con tapones de caucho y se dejaron en reposo por tres horas, posteriormente se llevaron a baño maría a 60°C durante 15 minutos y cada 5 minutos se agitaron. Las jarras se sacaron del baño y se dejaron a temperatura ambiente durante 15 minutos; posteriormente se pasaron a un baño termostático a 10°C durante 18 horas. Cumplido el tiempo a cada una de las jarras se les midió la dureza del gel, utilizando un gelómetro (Stevens-L.F.R.A, Inglaterra). La medida de la dureza del gel se determinó como el peso requerido para mover el émbolo del gelómetro una distancia de 4 mm.

Diseño estadístico

Para evaluar el efecto del pretratamiento enzimático de carnaza entera sobre las propiedades reológicas de viscosidad y poder gelificante, se utilizó un ANOVA de un solo factor (tipo de pretratamiento) con dos categorías, con adición de enzima y sin adición de enzima. Para todos los casos se realizaron tres replicas.

Las variables de respuesta fueron viscosidad y poder gelificante.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las figuras 1 y 2 se muestran respectivamente los promedios de los valores de viscosidad y poder gelificante en las 13 primeras horas de proceso para los dos tratamientos. En el ANOVA se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos para las dos variables respuesta con un nivel de confianza del 95%.

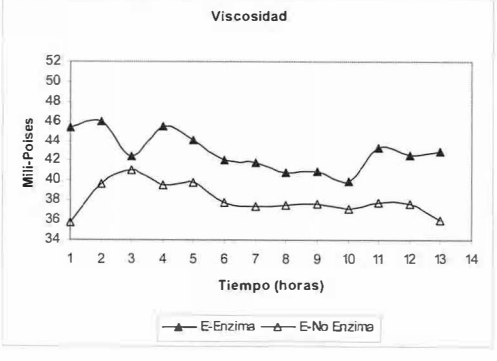


Figura 1. Variación de la viscosidad de la gelatina durante trece horas de procesamiento. E-Enzima: carnaza entera

húmeda tratada con esperasa, E-No Enzima: carnaza entera húmeda sin pretratamiento enzimático.

Con E-Enzima, se presentaron valores de viscosidad entre 45.4 y 39.9 durante 13 horas de proceso de las cuales el 51.3% se consideraron viscosidades altas (mayor a 42 mP) y el resto de la producción se clasificó como viscosidades medias; en contraste, con el tratamiento E-No Enzima los valores de viscosidad oscilaron entre 41 y 35.8, de las cuales solo el 7.7% se consideraron viscosidades altas y el 92.3% viscosidades medias (ver figura 1).

En la figura 2 se observa que al utilizar E-Enzima los valores del poder gelificante variaron entre 326 y 295 gramos durante trece horas; el 97.4% de la gelatina obtenida con este tratamiento presentó alto bloom, de los cuales el 61.5% se clasifico como tipo A (mayor a 300 g) y el 35.9% como tipo B (299-276 g); el 2.6% restante se clasificó como gelatina tipo CA (Bloom medio, entre 251-275 g). En contraposición para el tratamiento E-No Enzima, los valores del poder gelificante variaron entre 333 a 262 a gramos, el 87.2% de la gelatina obtenida por este proceso presentó alto bloom, (41% tipo A y 46.2% tipo B) y el 12.9% bloom medio (CA el 10.3% y C el 2.6%).

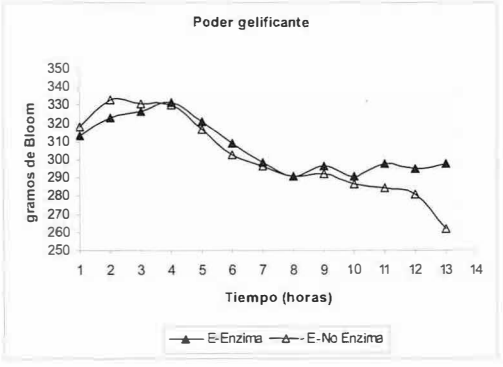


Figura 2. Variación del poder gelificante, Bloom durante trece horas de procesamiento de gelatina tipo B. E-Enzima: carnaza entera húmeda tratada con esperasa, E-No Enzima: carnaza entera húmeda sin pretratamiento enzimático.

Los mayores valores de viscosidad y de poder gelificante obtenidas con el uso de enzima, se explican por la baja actividad proteolítica de la enzima frente al colágeno nativo, por la alta actividad proteolítica de la enzima sobre el colágeno desnaturalizado y por la especificidad de la enzima para romper selectivamente los enlaces cruzados intermoleculares presentes en la fibras de colágeno; esto permite que en la conversión de colágeno a gelatina las fibras de colágeno sufran menor encogimiento y desorganización, y la estructura helicoidal triple sufra menor colapso en sus subunidades polipeptidas, ya que el rompimiento de enlaces covalentes, enlaces intra e intermoleculares y enlaces peptidicos es mas selectivo (McLain, 1997), comparados con el rompimiento de enlaces que experimenta la materia prima cuado solo se acondiciona en medio alcalino (Cole y Roberts, 1997) . La hidrólisis enzimática de éstos enlaces permite conservar en mayor medida el diámetro aparente de las moléculas y por ende conservar su masa, tamaño, volumen, estructura, asimetría molecular y cargas eléctricas, y permite aumentar las interacciones proteína-proteína y las interacciones proteína-agua; reflejándose esto un incremento en el coeficiente de viscosidad y en un aumento del poder gelificante. Estos resultados difieren parcialmente de los obtenidos por Cole and McGillt, (1988); quienes evaluando el efecto del acondicionamiento enzimático de pieles de animales de varias edades para la producción de gelatina encontraron que el pretratamiento enzimático no tenía ningún efecto sobre la viscosidad.

De otro lado, el rompimiento específico de los enlaces cruzados por acción enzimática permite, en el proceso de extracción del colágeno, que éste sea más soluble en agua.

Analizando los respectivos rangos, desviaciones estándar y coeficientes de variación, se encontró que utilizando esperasa 8.0L en el pretratamiento de carnaza entera, se obtienen menores desviaciones estándar, y menores coeficientes de variación, lo que significa que la producción en 13 horas de procesamiento es mas uniforme y puede ofertarse a un precio mejor en el mercado internacional.

CONCLUSIONES

Con este trabajo se confirma la importancia que tienen los procesos enzimáticos en la industria de alimentos y se concluye específicamente que en el proceso de producción de gelatina tipo B, el uso de esperasa 8.0L para el pretratamieto de carnaza entera mejora las propiedades reológicas de viscosidad y de poder gelificante, lo que mejora los precios en el mercado internacional.

BIBLIOGRAFÍA

- Asghar, A. y Henrickson, R. 1982. "Chemical, biochemical, functional, and nutritional characteristics of collagen in food systems". Adv. Food Res. 28:231– 372.
- Barros. R.; Wehtje, E. y Adlercreutz, P. 1999. "Enhancement of immobilized protease catalyzed dipeptide síntesis by the presence of insoluble protonated nucleophile". Enzyme Microbial. Technol. 24:480-488.
- Budavari, S. 1996. Merck Index, (12th ed.) Whitehouse Station, NJ: Merck.
CCI. 1984. La gelatina: Panorama del mercado mundial, con especial referencia a las posibilidades de los países en desarrollo. Centro de Comercio Internacional UNCTAD/GATT. Ginebra. CCI. 109p.
- Cole, B. 2000. Gelatin, in F.J. Francis (ed.). Encyclopedia of Food Science and Technology 2: 1183-1188. New York: Wiley. 1098
- Cole, C. y Roberts, J. 1997. "Further effects of animal age the alkali process gelatin manufactures from bovine hide". Proceedings of the Centinary Conference of the International Union of Leather Technologists and Chemists. London.
- Cole, C.; Megillt, A. 1988. "The properties of gelatines derived by alkali and enzymic conditioning of bovine hide from animals of various ages". Journal of the society of Leather Technologists and chemisty. 72. 159-164.
- Curme, H. y James, T. 1977 The theory of the photographic process, 4th edn. Macmillan, New York, p. 45.
- Fennema, Owen R. 2000. Química de los alimentos. Acribia, Zaragoza : Espana, 1256p.
- Grupta, R.; Beg, Q. y Lorenz, P. 2002. "Bacterial alcaline porteases: molecular approaches and industrial applications" Appl. Microbiol. Biotechnol. 59:15-32.
- Hudson, C.B. 1994. Gelatine – Relating structure and chemistry to functionality, in K. Nishihari and E. Doi, Food Hydrocolloids: Structures, Properties, and Functions. New York: Plenum.
- Igoe, R.S. 1983. Dictionary of Food Ingredients. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Kenny, A.J. 1999. Introduction: Nomenclature and classes of peptidases. E.E Sterchi y W.Stöcker (eds), Proteolytic enzymes. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin. Ppl-8.
- Ledward, D.A. 2000. Gelatin, in G.O. Phillips and P.A. Williams Food Hydrocolloids: 67-86. Boca Raton: CRC.
- Mclain. P.E. 1997. "Chemistry of collagen crosslinking: relationship to ageing and nutrition". Advances in Experimental Medical biology, 821: 603-618.
- Neklyudor, A.; Ivankin, A. y Berdutina, A. 2000. "Properties and uses of protein hydrolases", Appl. Biochem. Microbiol., 36:452-459.
- Nicolas-Simonnot, M.; Tréguer, V.; Leclere, J.; Sardin, M.; Brajoou, J.; Moy, J. y Takerkart, G. 1997. "Experimental study and modelling of gelatin production from bone powder: elaboration of an overall Kinetic écheme for the acid process", Chemical Engineering Journal, 67:55-64.
- NOVO INDUSTRIES.US Patent 4.064,008. 1997.
- Olsen, D.; Yang, CH.; Bodo, M.; Chang, R.; Leigh, S.; Baez, J.; Carmichael, D.; Perea, M.; Ha"Ma"La"Inen, E.; Jarvinen, M y polarek, J. 2003. "Recombinant collagen and gelatin for drug delivery". Advanced Drug Delivery Reviews. 55:1547–1567.
- Petersen, B.R. y J.R. Yates. J. 1977. Gelatin extraction. US Patent # 4,064,008. Assigned to Novo.
- Perea, A.; Ugalde, U.; Rodríguez, I. y Serra, J. 1993. "Preparation and characterization of whey protein hydrolysates: applications in industrial whey bioconversion processes". Enzyme Microbiol. Technol., 15:418-423.
- , Rao, B.; Tanksale, A.; Ghatge, M. y Deshpande, V. 1998. "Molecular and biotechnological aspecto f microbial porteases". Microbiol. Mol. Biol. Rev. 62:597-635.
- Saddler, J. y Horsey, P. 1987. "The new generation gelatins. A review of their history, manufacture and properties". Anesthesiology. 42:998– 1004.
- So, J.; Shin, J. y Kim, B. 2000. "Protease-catalyzed tripeptide (RGD) synthesis", Enzyme Microbio. Technol., 26:108-114.
- Ward, A.G. y Courts, A. 1977. The Science and Technology of Gelatin. London,UK:Academic.

EFECTO DE LA FIBRA EN LAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DE UNA MAYONESA.

Camacho, Francisco Javier; Tovar, Lucia; Ramírez, Karla Isabel y Gallardo, Yoja.
INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL, ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS.
DEPARTAMENTO DE GRADUADOS E INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS
Pról. De Carpio y Plan de Ayala S/N, Tel: 55320538, 57296000 ext. 62376, 62381, Fax: 57296300 ext. 62477, karfrance@hotmail.com
DISTRITO FEDERAL – MEXICO.

Palabras clave: : reología, mayonesa, fluido pseudoplástico, inulina.

RESUMEN

La reología permite describir el comportamiento de un alimento, aunque es complejo, puesto que reaccionan de diferente forma, requiriendo o no de un nivel de esfuerzo inicial para fluir. La mayonesa es un producto alimenticio emulsificado utilizado para aderezar los alimentos e impartirles sabor agradable. Fibras dietéticas como la inulina ofrecen interesantes propiedades nutricionales, además de beneficios tecnológicos como sustituto de grasa al favorecer la emulsión en las mayonesas. Las mayonesas tienen un comportamiento pseudoplástico y se puede ajustar su comportamiento reológico a diferentes modelos matemáticos; utilizando para este caso el de Ostwald-De Waale, también conocido como ley de la potencia. Los productos evaluados fueron elaborados con aceite de soya, especias y se le adiciono fibra (inulina), reduciendo así hasta un 50% de aceite de soya en su elaboración. Los ensayos fueron realizados a los productos después de 6 meses de su elaboración, manteniéndose en refrigeración a 4 °C. El índice de consistencia de flujo varia de 181.08 a 6145.38 (Pa s^n) y el índice de comportamiento al flujo de 0.16 a 0.67. Los resultados demuestran que la adición de fibra proporciona estabilidad a la emulsión formada.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la demanda de productos alimenticios con beneficios para la salud (bajos en grasa, bajos en calorías y con fibra) esta creciendo. Fibras dietéticas como la inulina ofrecen interesantes propiedades nutricionales, además de beneficios tecnológicos como sustituto de grasa al favorecer la emulsión en las mayonesas. La inulina es un fructano que actúa como prebiótico, es decir, el sustrato trófico del probiótico y son sustancias no digeribles por el hombre que forman parte de los alimentos. Las emulsiones son dispersiones de una fase líquida en otra también líquida e inmiscible con la primera. La mayonesa es una emulsión de aceite en agua que alcanza una elevada densidad gracias a la poderosa acción estabilizadora de fosfolipidos (lecitina) de la yema de huevo. Las emulsiones son las mas inestables de las dispersiones (junto con las espumas) debido a la elevada tensión superficial entre aceite y agua, y solo se dan en presencia de un estabilizador eficiente que aparece de forma natural o se pueden agregar, siendo compuestos particularmente eficientes los mono y diglicéridos, polisorbatos, algunas proteínas, fosfolípidos y esteres de sacarosa o de otros azúcares.

La reología de los alimentos ha sido definida como "el estudio de la deformación y flujo de las materias primas sin procesar, los productos intermedios o semielaborados, y los productos finales de la industria alimentaría". El conocimiento adecuado de las propiedades reológicas de los alimentos es muy importante por numerosas razones, entre las que destacan el diseño de procesos y equipos en ingeniería, evaluación sensorial, obtener información sobre la estructura del alimento y control de calidad. Los fluidos pseudoplásticos se caracterizan porque su viscosidad aparente decrece cuando aumenta el gradiente de velocidad de deformación. Este comportamiento indica una ruptura o reorganización continua de la estructura, dando como resultado una menor resistencia al flujo, y es debido a la presencia de sustancias de alto peso molecular. De los modelos utilizados para describir el comportamiento reológico de los fluidos pseudoplásticos, el más conocido y simple de aplicar es el de Ostwald-De Waale, también conocido como ley de la potencia:

$$\tau = K \gamma^n$$

Donde K es el índice de consistencia de flujo y n es el índice de comportamiento al flujo. K da una idea de la consistencia del producto y n de la desviación del comportamiento al flujo respecto al newtoniano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrollaron diferentes mayonesas con bajo contenido de aceite de soya y se les adiciono fibra. El desarrollo de las mayonesas se efectuó después de haber seleccionado una base con las características adecuadas para agregarle sabor y diferentes especias como son; espinacas, cilantro, perejil, acelgas, tallo de cebollina, ajo, cebollina, cebolla, chia, tapioca, pimienta gorda, anís, ajonjolí, chipotle, achiote, guacamole y salsa taquera; siendo un total de 19 mayonesas elaboradas, los productos ya terminados se almacenaron durante 6 meses y se efectuaron las pruebas de pH, acidez, actividad acuosa y se caracterizaron reológicamente mediante un viscosímetro HAAKE RV12, solo se tomaron en cuenta los valores de respuesta en el intervalo de 10-90 que mostró dicho equipo. Asimismo se realizaron las mismas determinaciones a una mayonesa comercial normal y a una mayonesa Light comercial.

RESULTADOS

En el Cuadro 1 se muestran los resultados de las pruebas fisicoquímicas realizadas a las diferentes mayonesas elaboradas con aceite de soya e inulina, así como diferentes especias utilizadas para diversificar su sabor.

Las mayonesas desarrolladas con inulina se redujo el aceite utilizado en su elaboración hasta en un 33%; el pH se mantuvo en un intervalo de 3.4 – 4.4, siendo la mayonesa sabor achiote (MAY 18) quien mostró el pH mas bajo; los ensayos de actividad acuosa se encuentran dentro de un intervalo de 0.977-0.984 a 24.6 °C, mientras que la muestra de mayonesa comercial entera reflejo un valor de 0.926 a 24.7 °C.

Los resultados de acidez muestran un intervalo de 0.16-0.53 g acido acético anhidro / 100g descartándose nuevamente los que no se encuentran dentro del intervalo que la norma mexicana manifiesta. MAY 21 (mayonesa comercial Light) expreso un valor de acidez de 0.54 g acido acético anhidro / 100g, siendo este el valor mas alto de los ensayos realizados.

La inulina favorece la emulsión de las mayonesas desarrolladas, reflejándose esta propiedad al utilizar menos aceite de soya. Siendo la inulina quien estabilice la emulsión y no la lecitina contenida en la yema de huevo, se reduce el

contenido de colesterol contenido en la mayonesa. Los productos desarrollados ostentan el nombre de mayonesas, aunque por normatividad son un aderezo tipo mayonesa, pero reflejan propiedades funcionales al reducir el contenido de grasa, ser bajos en colesterol y contener fibra.

Cuadro 1. Resultados de Pruebas Fisicoquímicas de mayonesas.

Producto.	Acidez. (g acido acético /100g)	pH	Actividad acuosa.	
			A_W	Temperatura (°C)
MAY 1	0.42	4.3	0.986	24.6
MAY 2	0.27	3.7	0.984	24.6
MAY 3	0.18	4.3	0.983	24.6
MAY 4	0.22	4.0	0.984	24.6
MAY 5	0.16	4.1	0.983	24.7
MAY 6	0.18	4.0	0.984	24.6
MAY 7	0.20	4.0	0.978	24.6
MAY 8	0.22	4.0	0.976	24.7
MAY 9	0.23	4.0	0.976	24.7
MAY 10	0.29	4.4	0.980	24.6
MAY 11	0.23	4.3	0.979	24.6
MAY 12	0.53	4.4	0.978	24.6
MAY 13	0.17	4.3	0.982	24.6
MAY 14	0.22	3.9	0.978	24.6
MAY 15	0.25	3.9	0.978	24.6
MAY 16	0.31	4.0	0.986	24.6
MAY 17	0.25	4.2	0.977	24.6
MAY 18	0.44	3.4	0.970	24.6
MAY 19	0.21	4.1	0.980	24.6
MAY 20	0.25	3.3	0.926	24.7
MAY 21	0.54	2.7	0.959	24.6
MAY 22	0.21	4.0	0.976	24.7

MAY 1. *Sabor Guacamole;* ***MAY 2.*** *Sabor Espinacas;* ***MAY 3.*** *Sabor Cilantro;* ***MAY 4.*** *Sabor Perejil;* ***MAY 5.*** *Sabor Acelgas;* ***MAY 6.*** *Sabor Tallo de cebollina;* ***MAY 7.*** *Sabor ajo;* ***MAY 8.*** *Sabor cebollina;* ***MAY 9.*** *Sabor cebolla;* ***MAY 10.*** *Sabor Chia;* ***MAY 11.*** *Sabor Chia tostada;* ***MAY 12.*** *Sabor Chia;* ***MAY 13.*** *Sabor Tapioca;* ***MAY 14.*** *Sabor Pimienta gorda;* ***MAY 15.*** *Sabor Anis estrella;* ***MAY 16.*** *Sabor Crema de ajonjolí;* ***MAY 17.*** *Sabor Chipotle;* ***MAY 18.*** *Sabor Achiote;* ***MAY 19.*** *Sabor Salsa taquera;* ***MAY 20. Mayonesa comercial entera;*** ***MAY 21. Mayonesa comercial Light;*** ***MAY 22.*** *SIN FIBRA.*

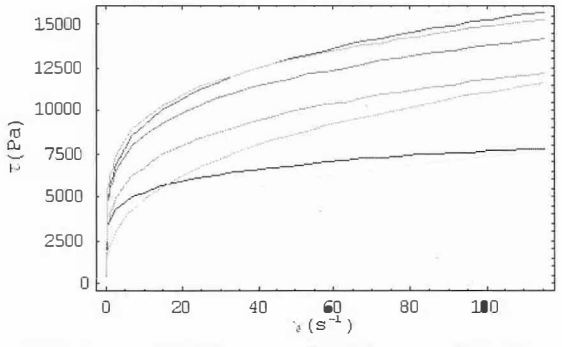
En el Cuadro 2 se muestran los resultados del análisis reológico a las mayonesas elaboradas, así como a las mayonesas comerciales. Se muestra el índice de consistencia de flujo (K) y el índice de comportamiento al flujo (n) a las temperaturas correspondientes.

El modelo utilizado para el análisis fue el de Ostwald-De Waale o ley de la potencia para fluidos pseudoplásticos. Los ensayos fueron realizados a las muestras que se mantuvieron en refrigeración después de 6 meses de su elaboración.

Cuadro 2. Análisis reológico de mayonesas con fibra y mayonesas comerciales.

Producto	K (Pa.s^n)	n	T (°C)
MAY 1	3680.93	0.16	21.6
MAY 2	6145.38	0.19	19.3
MAY 3	2731.32	0.27	21.0
MAY 4	3567.60	0.16	21.2
MAY 5	2185.36	0.35	21.2
MAY 6	2272.13	0.30	19.3
MAY 7	2496.77	0.29	21.3
MAY 8	1753.84	0.31	20.0
MAY 9	3626.79	0.20	21.0
MAY 10	943.51	0.37	21.3
MAY 11	3336.95	0.26	21.7
MAY 12	181.08	0.67	22.0
MAY 13	3591.56	0.24	19.9
MAY 14	4305.49	0.23	19.9
MAY 15	5328.43	0.21	19.9
MAY 16	2433.11	0.26	20.0
MAY 17	1313.51	0.34	22.0
MAY 18	3754.39	0.25	21.2
MAY 19	614.44	0.44	21.6
MAY 20.	5554.52	0.22	18.3
MAY 21.	3891.02	0.24	21.2
MAY 22	1699.07	0.32	23.7

El comportamiento de las mayonesas medido con el viscosímetro HAAKE RV12, muestra la estabilidad de las mayonesas, ya que los ensayos fueron realizados después de 6 meses desde su elaboración, mantenidas en refrigeración a 4 °C. En la Figura 1 se muestra el comportamiento de algunas de las mayonesas elaboradas y las mayonesas comerciales.

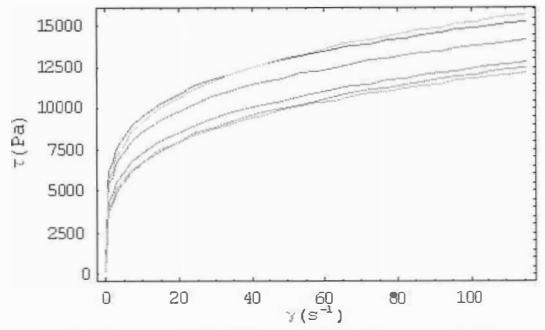


---MAY.1 ---MAY.2 —MAY.5 ---MAY.15
MAY.22 --MAY.20 —MAY.21

Figura 1. Comportamiento de mayonesas 1.

Los ensayos realizados a las mayonesas presentan el comportamiento de un fluido pseudoplástico; asimismo se evaluaron 2 mayonesas comerciales, MAY 20 y MAY 21; una mayonesa entera y una mayonesa Light respectivamente. Los resultados de los ensayos demuestran que solo 4 de las mayonesas elaboradas que fueron adicionadas de fibra presentan un comportamiento muy semejante al de una mayonesa comercial. En la Figura 2 se muestra el comportamiento de las mayonesas que tienen un comportamiento superior al de la mayonesa Light comercial. El índice de consistencia de flujo varía de 6145.38, 4305.49, 5328.43 y 3754.39; y el índice de comportamiento al flujo varia de 0.19, 0.23, 0.21 y 0.25, para MAY 2, MAY 14,

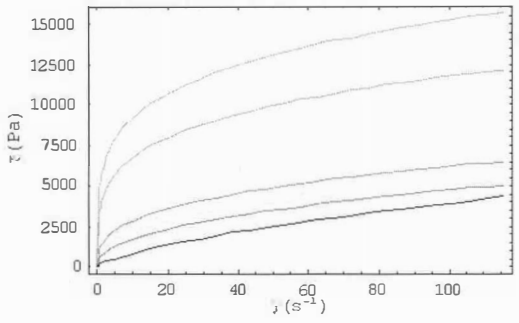
MAY15 y MAY 18, respectivamente. El comportamiento presentado por MAY 22 (no contiene fibra) refleja un índice de consistencia de flujo de 1699.07; en la Figura 1 se puede observar que su comportamiento reológico es inferior al de las muestras comerciales y a algunos productos.



---MAY.2 ---MAY.14 ---MAY.15 ---MAY.18 ---MAY.20 —MAY.21

Figura 2. Comportamiento de mayonesas 2a.

En la Figura 3 se muestran a los productos MAY 10, MAY 12, MAY 17, MAY 19, quienes reflejan un comportamiento inferior respecto a las muestras comerciales y al de los demás productos, esto debido a que en su composición poseen mucha mas agua que los demás productos, ya que las especias adicionadas para proporcionar sabor fueron hidratadas. Para el caso de MAY 12(chia hidratada), presento inestabilidad la emulsión formada propia de la mayonesa, causando una separación entre el agua contenida y la fase oleosa al término del ensayo en el HAAKE RV12.



MAY.10 ---MAY.12 ---MAY.17 ---MAY.19 ---MAY.20 —MAY.21

Figura 3. Comportamiento de mayonesas 2b.

Los ensayos efectuados indican que los productos elaborados así como las muestras comerciales tienden a disminuir su viscosidad aparente al aumentar la velocidad de deformación (γ), dando como resultado una menor resistencia al flujo, esto es debido a la presencia de sustancias de alto peso molecular características del producto.

Los productos que se muestran en la Figura 2, reflejan un comportamiento estable a diferentes velocidades de deformación, aunque la viscosidad aparente disminuye el aumentar la velocidad de deformación, el esfuerzo de corte (τ) es alto para estas velocidades, reflejando un comportamiento semejante al de las mayonesas comerciales.

Para el caso de los productos que se muestran en la Figura 3, la inestabilidad es causada a la alta tensión superficial causada entre el aceite de soya y el agua que los productos contenían, la presencia de la fibra (inulina) no fue suficiente para estabilizar la emulsión ni los fosfolipidos propios de la yema de huevo (lecitina).

La adición de fibra a los productos demuestra una mayor viscosidad así como mejor estabilidad, perdiéndose esta ultima a altas velocidades de deformación cuando hay una mayor cantidad de agua.

CONCLUSIONES

El comportamiento reológico de los productos elaborados con fibra, es característico de un fluido pseudoplástico propio de la emulsión formada, siendo algunos de los productos quienes muestran un comportamiento análogo al de las muestras comerciales. Demostrando que al utilizar inulina para sustituir al aceite vegetal se favorece a la estabilidad de la emulsión.

Si bien en algunos productos el comportamiento reológico es inferior al de las muestras comerciales, es debido, a la tensión superficial provocada por el agua en algunos productos, ya que en algunos casos las especias utilizadas para impartir sabor se tuvieron que hidratar, y en algunos casos talvez debido al tamaño de partícula de las especias.

Los productos desarrollados ostentan el nombre de mayonesas al no cumplir con el mínimo en el contenido de aceite vegetal en su formulación según la normatividad mexicana, pero los productos poseen las características físicas, fisicoquímicas y reológicas de una mayonesa, además de presentar propiedades del tipo funcional benéficas para el consumidor.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

-Barbosa-Cánovas, G. V.; Ibarz, A y Peleg, M. 1993. Propiedades reológicas de alimentos fluidos. Revisión. Alimentaria. 241, 39-89.

-Carbonell, E.; Costell, E y Duran, L. 1990. Comportamiento reológico de los productos derivados de fruta. Flujo, dependencia del tiempo y plasticidad. Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment. 2, 189-209.

-Composition of foods. 1985. Agriculture hand book N8. Bernice K. Watt & Annabel L. Merrill. U.S. Government Printing Office.

-Daily J.W, Harleman D.R; 1995. Dinámica de los fluidos con aplicaciones en ingeniería; Ed trillas; México.15-17.

-De Dios A. J, Aguilera J. M. 2001.; Métodos para mejorar propiedades físicas en la industria de los alimentos; Acribia S.A.; España.

-Geankoplis C. J .1998. Procesos de transporte y operaciones unitarias. Ed Compañía Editorial Continental. México.52-56.

-LevenspieL O. 1993. Flujo de fluidos e intercambio de calor. Ed Reverté. Barcelona. 89-93.

-Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. Dirección General de Normas. Norma Mexicana. NMX-F-021-S-1979.

-Sherman, P. 1970. Industrial rheology. Academic Press. New York.

PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LA MEZCLA LISTA PARA TORTA ELABORADA CON HARINA COMPUESTA TRIGO:YUCA

Cueto Bautista Davdmary Esmeralda y Pérez Sira Elevina Eduviges
Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA)
Facultad de Ciencia de la Universidad Central de Venezuela (UCV)
E-mail: davdmarycueto@yahoo.com; perezee@hotmail.com
Calle Suapure – Lomas de Bello Monte. Caracas, Venezuela

Palabras claves: Curva amilográfica, viscosidad aparente, curva farinográfica, reología.

RESUMEN.

En esta investigación se evaluaron algunas caracteristicas reológicas de la harina de yuca y de una mezcla lista para torta a base de harina 70% trigo y 30% yuca. Para ello, se determinó la viscosidad aparente y el perfil amilográfico en la harina elaborada de la parte comestible de las raíces de yucas de clones caracterizados como dulces y codificados con los números 2593 y 2306 provenientes del Banco de Germoplasma de la Facultad de Agronomia de la Universidad Central de Venezuela. Este trabajo se realizó con el objetivo de conocer los cambios que sufren éstas harinas al calentarse, tales como; temperatura a la cual comienzan a gelatinizar, viscosidad máxima alcanzada durante el calentamiento, estabilidad y comportamiento al enfriar las pastas gelatinizadas. Asimismo, se realizó en la mezcla para torta el perfil farinográfico, para evaluar la respuesta de la mezcla al amasado, capacidad de absorción de agua, tiempo que tarda en alcanzar la consistencia óptima y la estabilidad al amasado. El análisis del perfil reológico de las harinas de yuca, indica que las dos harinas se comportan como fluidos pseudoplásticos no newtonnianos, característicos de estas harinas y ambas presentaron tendencias similares en el perfil amilográfico por lo que, indistintamente pueden emplearse en la formulación de una mezcla para tortas. La mezcla para torta mostró una curva farinográfica tipo I, con pico corto y baja estabilidad, lo cual coincide con la curva caracteristica usada en productos como tortas y galletas.

INTRODUCCIÓN.

La reología es la rama de la física que estudia la deformación y el flujo de la materia, y su estudio contribuye al conocimiento de las estructuras así como el comportamiento de los fluidos y/o sólidos y éstas caracteristicas influyen en la aceptación de los productos (Badui, 1997; Rao y Rizvi, 1995).

A nivel de manufactura, en la elaboración de panes, galletas y tortas, los ensayos reológicos son considerados como las pruebas críticas para determinar importantes parámetros de procesamiento, absorción de agua, tiempo de amasado, estabilidad de la masa y hasta para predecir la calidad del producto terminado (Roudot, 2004).

Así las curvas amilográficas constituyen representaciones gráficas que proporcionan un registro continuo de los cambios en la viscosidad de una suspensión de harina o almidón, cuando las mismas ejercen resistencia al efecto cortante a medida que la temperatura de la suspensión aumenta o disminuye (Requena, 2003). En otras palabras, permiten conocer las características reológicas, durante el calentamiento y/o enfriamiento, de aquellos productos amiláceos transformados en harinas o almidones, siendo ésto de fundamental importancia, desde el punto de vista tecnológico para el procesador de alimentos.

Por otro lado, la viscosidad esta basada en la medición de la resistencia que ofrece un fluido, cuando se le aplica una fuerza interna que lo induce al movimiento, bajo condiciones establecidas, siendo interesante su consideración ya que es un parámetro relacionado con la textura y calidad de conservación del producto terminado.

Los farinogramas son representaciones gráficas donde se registra, las propiedades de las masas, cuando las harinas son sometidas a un proceso de hidratación y mezclado continuo. El perfil farinográfico expresa básicamente dos principales caracteristicas fisicas de la harina: la cantidad de agua absorbida para que la masa alcance una consistencia definida y un perfil general de cómo se comporta la masa en el mezclado (Locken et al, 1991).

El objetivo de esta investigación fue evaluar las propiedades reológicas de las harinas y de la mezcla para torta a base de harinas compuestas trigo:yuca para sugerir su escalamiento a nivel industrial

MATERIALES Y METODOS.

El perfil amilográfico se obtuvo mediante el uso del microviscoamológrafo Brabender. Modelo: ohg. La determinación se realizó, en un tiempo de corrida de 20min, se prepararon suspensiones de harina de 3,7g (en base a 14% de humedad) en 96,3ml de agua destilada, la cual se calentó desde 30°C hasta 95°C a una tasa de 7,5°C/min, se mantuvo por 5minutos a 95°C, una velocidad de 125rpm, luego se enfrió hasta 50°C a la misma tasa (7,5°C/min) y finalmente permaneció 1min a esta temperatura. Los resultados obtenidos fueron registros computarizados donde se graficaron las variaciones de viscosidad de las suspensiones de harinas de yuca, en unidades Brabender (AACC, 2003 N° 76-10)

Se determinó la viscosidad aparente mediante el empleo del viscosímetro de torsión de Brookfield, para lo cual, se cuantificó el porcentaje de humedad de las harinas de yuca, a fin de corregir el valor de humedad de la muestra. Se preparó la muestra en un beaker de 600ml a una concentración de 3,7%, para lo cual se pesó 17g de harina y se le agregó 483ml de agua destilada para preparar la suspensión, se sometió a calentamiento en una manta eléctrica con agitación constante, mediante un agitador magnético y se fijó la velocidad de agitación. Se encendió el viscosímetro y se dejo funcionar libremente por unos segundos. Se seleccionó la aguja N° 2 de acuerdo a la consistencia de la muestra y se introdujo de forma inclinada para evitar la formación de burbujas. Se tomó la lectura de la viscosidad en centipoises a 30, 50, 90 y 95°C a velocidad de 6, 12, 30 y 60RPM .

Para corregir el valor de la muestra a pesar se empleó la siguiente ecuación:

$$P_2 = \frac{P_1 (100 - H_1)}{(100 - H_2)}$$

$$P_2 = \frac{P_1 (100 - H_1)}{P_1 (100 - H_2)}$$

donde:

P_1= Peso de la muestra teórico para el análisis (este peso va a depender de la concentración a la que se trabaje, en este caso 3,7%).
H_1= Humedad de la muestra teórico para el análisis (esta será siempre 14 %).
P_2= Peso de la muestra corregido en base a su humedad. El resultado es la cantidad de muestra que se pesará para el análisis.
H_2= Humedad de la muestra calculado por cualquier método.

El perfil farinográfico se obtuvo siguiendo el método de la AACC, N° 54-21 (2003) mediante el uso del farinógrafo Brabender. Modelo: ohg, Duisburg. Se realizó en la mezcla lista para torta y en la harina compuesta.

A partir de los farinogramas se determinaron los siguientes parámetros que son índice del comportamiento reológico de las masas influenciadas principalmente por las proteínas y el almidón.

a.- Tiempo de llegada: Es el tiempo requerido para que el tope de la curva alcance la línea de 500UB después de añadida el agua y comenzando el mezclado y es una medida de la velocidad como la harina absorbe el agua añadida.
b.- Tiempo de desarrollo de la masa: Es el tiempo entre los 30segundos después de la adición del agua para que la masa desarrolle su máxima consistencia (500 UB) hasta el primer indicio de debilitamiento de esta. Y se ha referido como "peak.
c.- Tiempo de salida: Es el tiempo desde la adición del agua hasta que la curva deja la línea de los 500UB y es igual a la suma de la estabilidad y el tiempo de llegada, a mayor tiempo de salida mayor fuerza tiene la harina.
d.- Índice de tolerancia: Es la diferencia en unidades Brabender entre el mayor valor de la curva (500UB) y el valor de la misma después de 5 minutos de corrido. A mayor índice de tolerancia mayor debilitamiento de la harina. Una buena tolerancia al mezclado implica un bajo índice de tolerancia.
e.- Estabilidad: Define la diferencia de tiempo entre el punto donde el tope de la curva intercepta la línea de 500UB (tiempo de llegada) y el punto donde el tope de la curva deja la línea de 500UB (tiempo de salida) y es un índice de la tolerancia al mezclado.
f.- Tiempo de ruptura: Es el tiempo que tarda la curva en disminuir 30UB desde el punto pico de la línea de 500UB.
g.- Porcentaje de absorción: Cantidad de agua necesaria para centrar la curva del farinograma en la línea de 500UB.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Perfil Amilográfico.

En las Figuras 1 y 2 y Tabla 1, se muestran las características reológicas de la suspensión de la harina de yuca a la concentración de 3,7%, apreciándose que se necesitó una temperatura inicial de gelatinización para desestabilizar sus moléculas de 68,8°C y 70,1°C para el clon 2306 y 2593 respectivamente, valores similares fueron reportados en harina de yuca por Pérez (1984) 67,5°C; Castro (1982) 68°C; Devera (1985) 62°C; Vale (1982) 62 – 70 °C y Abraham et al, (1983) 73,5°C. Además, los clones estudiados presentaron una viscosidad inicial de 11UB (2306) y 14UB (2593).

El aumento de viscosidad que se observa en los amilogramas desde que comienza la gelatinización, hasta alcanzar el pico máximo es consecuencia de la absorción de agua por los gránulos de almidón (hinchamiento) y de la expansión o solubilización del material intragranular. Este aumento de la viscosidad ocurre hasta un valor máximo que corresponde al máximo volumen de hinchamiento del gránulo sin que éste se rompa (Requena 2003). La viscosidad en el pico máximo ocurrió a una temperatura de 94,3°C y una viscosidad de 285UB para la harina del clon 2306, y a una temperatura de 94,3°C y 252UB para la harina del clon 2593. Al alcanzar la temperatura de 95°C el gránulo de almidón recién se ha desintegrado, lixiviando amilosa de bajo peso molecular, por lo que se presentó un ligero descenso en la viscosidad, obteniéndose un valor de 282UB para el clon de yuca 2306 y de 250UB para el clon 2593.

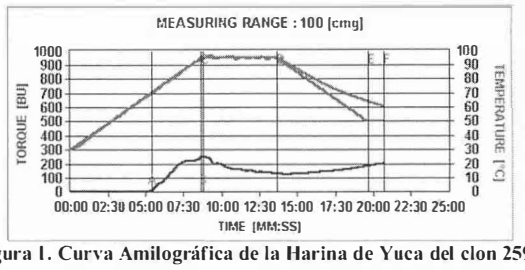


Figura 1. Curva Amilográfica de la Harina de Yuca del clon 2593.

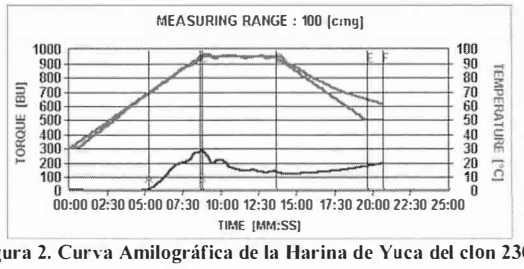


Figura 2. Curva Amilográfica de la Harina de Yuca del clon 2306.

En las dos harinas analizadas 141UB (clon 2306) y 130UB (clon2593) se puede evidenciar una disminución de la viscosidad, al mantener las suspensiones de éstas por 5 minutos a 95°C, indicando que ocurrió un debilitamiento de las fuerzas de enlace, en el interior del gránulo, por lo cual, pueden ser considerados frágiles, ya que no resistieron las fuerzas de corte durante la cocción. Sin embargo, la harina preparada con el clon 2306 ofreció mayor resistencia que la preparada con el clon 2593.

El índice de estabilidad o fragilidad, correspondió a 144UB para la harina del clon 2306 y 122UB para la harina del clon 2593. En donde la harina preparada con el clon 2593 fue más estable a la cocción ya que presentó la menor diferencia entre la viscosidad máxima alcanzada y la viscosidad al final del calentamiento a 95°C.

Las dos harinas de yuca analizadas experimentaron un incremento de la viscosidad al enfriarse a 50°C, por lo que es evidente la tendencia a la retrogradación de éstas. Con respecto al asentamiento o setback, es de resaltar que la harina del clon 2593 fue la que presentó la mayor tendencia a retrogradar (55UB) frente a una viscosidad de 38UB desarrollada por el clon 2306, ya que mientras mayor sea el valor del asentamiento o retrogradación, mayor será la tendencia a retrogradar (Rasper 1982, Ruiz 2005, Ortiz 2006).

De los resultados obtenidos para la consistencia desarrollada en las harinas de yuca analizadas, podemos inferir que el clon 2593 (73UB) fue el que presentó el gel más consistente.

Tabla 1. Perfil Amilográfico de las Harinas de Yuca.

PARÁMETROS	CLON 2306	CLON 2593
Intervalo de la Temperatura de Gelatinización (°C)		
Temperatura de inicio de gelatinización	68,8	70,1
Viscosidad (UB)		
Viscosidad inicial (A)	11	14
Viscosidad máxima (B)	285	252
Viscosidad a 95°C (C)	282	250
Viscosidad a 95°C x 5 min (D)	141	130
Viscosidad a 50°C (E)	179	185
Viscosidad a 50°C x 1min (F)	195	203
Breakdown o estabilidad (B-D)	144	122
Setback o asentamiento (E-D)	38	55
Consistencia (F-D)	54	73

Viscosidad Aparente

En la Figura 3, se aprecia una disminución de todos los valores de viscosidad aparente al aumentar la fuerza de corte, para las dos harinas, a las temperaturas consideradas, lo cual denota el carácter pseudoplástico de estas suspensiones. Como consecuencia de la disminución de la temperatura, de 95°C a 30°C, se produjo una disminución de la viscosidad aparente. Además se puede apreciar, que no existe diferencia marcada en la viscosidad aparente entre las dos harinas analizadas.

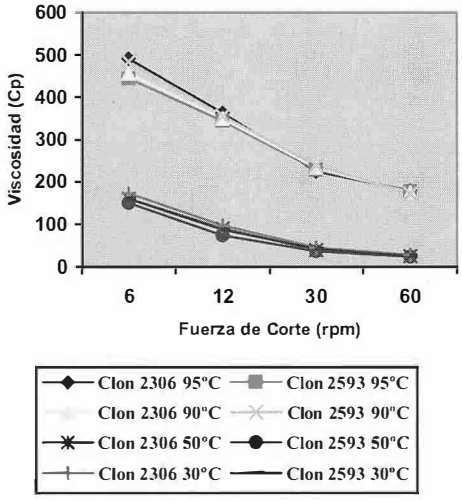


Figura 3. Viscosidad Aparente de la Harina de Yuca . Comportamiento Farinográfico

La Figura 4, presenta la curva farinográfica de la mezcla para tortas a base de harina de trigo y yuca, así como los demás ingredientes (azúcar, la leche en polvo, emulsificantes, etc.,) se puede apreciar que la misma presenta un pico muy corto y una estabilidad prácticamente nula, por lo cual pudiéramos ubicar ésta curva en la tipo I, que es una curva característica en la preparación de productos como tortas y galletas. Este corto pico y cero estabilidad se debe a los distintos ingredientes que constituyen la formulación, ya que los farinogramas reportan las propiedades de la proteína presente en la harina específicamente el gluten y en este caso se encuentra en muy baja proporción como para poder soportar el amasado al cual fue sometido. En este tipo de mezclas lista, son los emulsificantes lo que permiten formar la estructura en la torta.

Adicionalmente se determinó el comportamiento farinográfico de la harina compuesta (70% trigo: 30% yuca), sin ningún otro ingrediente, la cual se observa en la Figura 5, obteniéndose un porcentaje de absorción de agua de 60%. Pomeranz y Schellenberger (1971) señalaron que una harina panadera debe presentar una absorción de agua (farinográfica) comprendida entre 60 y 64%. Lo que quiere decir, que esa combinación es apta para panificación, ya que se encuentra dentro del rango. Esto también es ratificado al observar la estabilidad de la masa (26,2min), que indica que la misma puede someterse al amasado por largo tiempo sin que pierda la estructura.

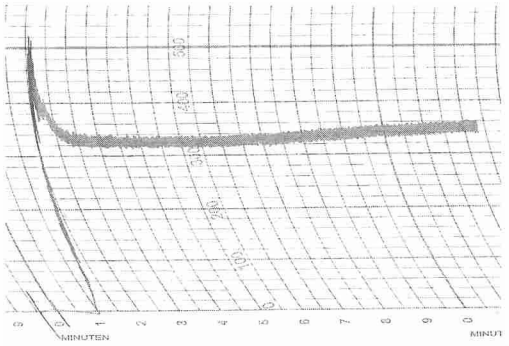


Figura 4. Curva Farinográfica de la Mezcla para Torta de Harina de Trigo y Yuca.

El tiempo de llegada, es la medida (min) de la tasa de hidratación de la harina, cuando hace contacto con la línea de los 500UB. Según Locken y col (1991) mientras menor es el tiempo de llegada, mayor es la velocidad de absorción. El tiempo de llegada de la harina compuesta fue de 1,5min, siendo este valor similar al reportado por Fermín (1994) en harinas compuestas de trigo-amaranto (1,2-1,5min) y por Ortiz (2006) donde obtuvo valores de tiempo de llegada de la harina compuesta trigo: arroz variedad Cimarrón de 1,1min.

El tiempo de desarrollo de la masa, indica el tiempo de batido necesario para un mejor desarrollo de la masa final. El tiempo necesario para alcanzar la máxima consistencia a los 500UB fue de 7,8min. Este índice es importante en panificación, ya que si se mezcla la masa por un tiempo inferior al estipulado por éste índice, no se producirá una completa absorción de agua y la consistencia de la masa no será idónea. Por el contrario, si el amasado se prolonga por un tiempo superior a estos, la masa puede fatigarse y perder cohesión (Locken y col, 1991).

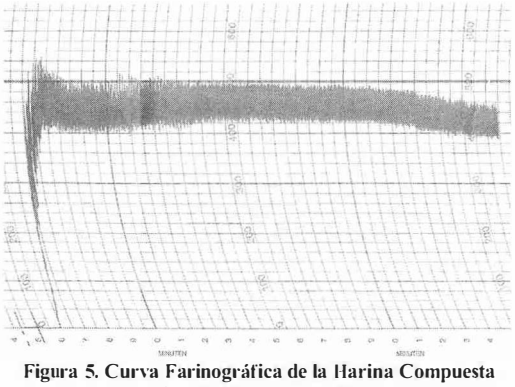


Figura 5. Curva Farinográfica de la Harina Compuesta 70% Trigo : 30% Yuca.

El indice de tolerancia de la harina compuesta 70% trigo: 30% yuca fue de 5UB por lo que indica una buena tolerancia al mezclado, ratificando la factibilidad de la misma en panificación.

CONCLUSIONES.

Las dos harinas de yuca analizadas mostraron valores de temperatura de gelatinización similares a lo reportado en la literatura, sus gránulos de almidón fueron frágiles y se evidenció la tendencia a la retrogradación, presentando mayor tendencia a retrogradar la harina elaborada a partir del clon 2593. Ambas harinas manifestaron un comportamiento pseudoplástico, característico de algunos almidones.

En la mezcla para tortas se obtuvo una curva farinográfica tipo I, con un pico corto y de baja estabilidad, curva característica usada en productos como tortas y galletas.

El perfil farinográfico de la harina compuestas (70% trigo:30% yuca) resultó ser una combinación apta para ser empleada en productos de panificación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

AACC. (American Association of Cereal Chemists). 2003. Laboratory Method 10th edn. St. Paul, MN, USA: AACC.

Abraham T, Raja K, Manoharan E, Mathew A. 1979. Some quality aspects of few varieties of cassava. Journal of Food Science and Technology 16 (6): 237-239.

Badui S. 1997. Diccionario de Tecnología de los Alimentos. 2da reimpresión. Longman de México Editores, S.A. de C.V. Alhambra Mexicana. 299p.

Castro R. 1982. Evaluación del almidón de harina de yuca en la preparación de jarabes glucosados. Tesis de grado. Facultad de Ciencia. Escuela de Biología. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 90p.

Devera T. 1985. Elaboración y evaluación de pastas alimenticias a partir de la combinación de sémola de trigo (durum-granular) y harina de yuca. Tesis de grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela, Maracay. 95p.

Fermín G. 1993. Usos de las harinas compuestas en productos de cereales. I. Productos horneados a base de trigo. Seminario 1. Instituto de Ciencia y Tecnología de alimentos de la facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Locken L, Loska S, Shuey W, 1991. The farinograph handbook. Physical testing methods committe. American Association of Cereal Chemists. St. Paul. Minn. USA. 105p.

Ortiz M. 2006. Influencia de las diferentes variedades de arroz (*oryza sativa L.*) en la Calidad del Pan Dulce Trigo-Arroz. Enriquecimiento con hierro y vitamina A para niños en edad escolar. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencia y Tecnología de alimentos de la facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Pérez E. 1984. Evaluación del comportamiento reológico de harinas de arroz, maíz, y yuca sometidas a diferentes tratamientos térmicos. Trabajo de Ascenso. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencia, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 168p.

Pomeranz Y, y Shellenberger J. 1971. Bread science and tecnology. The AVI Publication Co. Wesport, Connecticut. 262p.

Rao M, y Rizvi S. 1995. Engineering properties of foods. 2da edition. Marcel Dekker, Inc. New York. 531p.

Rasper V. 1982. Theorical aspects of amilographology. En: In the Amylograph Hanbook. Shuey W and Tipples K, Editor, AACC. Sto. Paul. MN. p1-6.

Requena F. 2003. Efecto del grado de acetilación sobre las propiedades fisicoquímicas y reológicas del almidón de arroz (*Oryza sativa* L.), Tesis de grado. Facultad de Ciencia. Escuela de Biología. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 123p.

Roudot, A. 2004. Reología y análisis de la textura de los alimentos. Editorial Acribia. 224p.

Ruiz C. 2005. Modificación de almidón de arroz (Oryza sativa) por pirodextrinización, entrecruzamiento e irradiación con microondas. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencia, Universidad Central de Venezuela, Caracas. 167p.

Vale J. 1982. Caracterización de algunas propiedades reológicas en almidones y harinas de diferentes variedades de yuca. Tesis de grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela, Maracay. 63p.

PROPIEDADES VISCOELÁSTICAS DE MASAS DE YUCA RECONSTITUIDAS

Eduardo Rodríguez-Sandoval[1]*, Alejandro Fernández-Quintero[2], Gerard Cuvelier[3]
[1] Departamento de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano (UJTL). Cra. 4 No. 22 – 61, Bogota D. C. Colombia. E-mail: eduardo.rodriguez@utadeo.edu.co
[2] Escuela de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingeniería. Universidad del Valle. Edif. 338, Ciudad Universitaria Meléndez, Cali, Valle, Colombia
[3] UMR SCALE Food Biophysics Laboratory. Ecole Nationale Supérieure des Industries Alimentaires ENSIA, 1 Avenue des Olympiades 91744 Massy, France.

Palabras claves: Reología, masa de yuca, propiedades viscoelásticas, harina,

RESUMEN

El efecto del contenido de agua (60 – 70%) y sal (NaCl) (1-2%) en las propiedades viscoelásticas de la masa de yuca, reconstituida de harina cocida, se estudió utilizando un reómetro de deformación controlada. La masa reconstituida se comportó como un material con tendencias sólidas. El módulo de almacenamiento (G') fue predominante sobre el módulo de perdida (G''). Cuando se incrementó el contenido de agua, G' decreció y G'' aumentó, pero la tangente de perdida (tan δ) fue independiente del contenido de agua. Este comportamiento indica que el agua tiene efectos plastificantes, pero probablemente no cambia la estructura de la masa. El efecto del contenido de sal en las propiedades reológicas dinámicas de la masa de yuca no fue significativa, excepto para los valores de G'' con contenidos de agua cercanos a 60%.

INTRODUCCION

Las pruebas oscilatorias son uno de los métodos dinámicos más comunes para estudiar el comportamiento viscoelástico de los alimentos debido a que los resultados son sensibles a la composición química y estructura física (Steffe, 1996). Los sistemas de almidón gelatinizados son productos viscoelásticos, los cuales exhiben al mismo tiempo resistencia viscosa a la deformación y elasticidad (Evans y Haisman, 1979; Svegmark y Hermansson, 1991).

Las medidas reológicas se utilizan para determinar la estabilidad de los productos amiláceos sometidos a diferentes condiciones de proceso o para verificar formulaciones. Los ensayos efectuados dentro del rango lineal son no destructivos, mientras que los materiales viscoelásticos evaluados fuera de este rango pueden sufrir cambios estructurales irreversibles. Además, las propiedades viscoelásticas en la región lineal son muy útiles en términos de establecer las características estructurales de un sistema, pero no son viables para predecir fenómenos que puedan ocurrir con grandes deformaciones, como es el caso de la mayoría de las operaciones en el procesamiento de alimentos. Las propiedades reológicas medidas dentro del rango lineal de viscoelasticidad son independientes de la magnitud del esfuerzo aplicado (Navarro et al., 1997).

Las medidas reológicas dinámicas de pastas de almidón y masas suaves de tubérculos y raíces se han aplicado para investigar el efecto de los ingredientes adicionados. Muhrbeck y Eliasson (1987) estudiaron la influencia del pH y los electrolitos en las propiedades viscoelásticas de geles de almidón de papa y yuca, y reportaron que las propiedades reológicas de los geles de almidón de papa dependen del pH y la fuerza iónica, mientras que los geles de almidón de yuca no fueron sensibles al pH y los electrolitos. Las propiedades viscoelásticas de pastas de almidón de yuca (6%, contenido de almidón) indicaron que dichas pastas se comportaron con un gel con el módulo de almacenamiento (G') mayor que el módulo de perdida (G'') (Fernández-Quintero, 1996). Las propiedades reológicas dinámicas de masas de papa se afectaron por las concentraciones de hojuelas de papa y margarina (Álvarez y Canet, 1999). Fasina et al. (2003) reportaron que el puré de batata tiene un comportamiento como un gel y la adición de un complejo de calcio/alginato aumenta su firmeza. El efecto del xiloglucano en las propiedades térmicas y reológicas de pastas de almidón de tapioca (3.5%, contenido de almidón de yuca) fue evaluado por Temsiripong et al. (2005). Los resultados de este trabajo sugirieron que el G' aumenta con el incremento en la concentración de xiloglucano, debido posiblemente a los entrecruzamientos pronunciados entre las moléculas de xiloglucano presentes en el sistema.

Las masas de raíces y tubérculos se podrían ver como una dispersión de almidón gelatinizado que contiene gránulos hinchados y fragmentos granulares dispersos en una matriz biopolimérica continua (Eliasson, 1986). Algunos estudios han considerado la masa de tubérculos como un gel de almidón, aplicando las teorías reológicas para este tipo de sistemas Alvarez y Canet, 1999; Fasina et al., 2003). Los geles de almidón se pueden ver como compuestos poliméricos hidratados, en los cuales los gránulos de almidón (partículas de relleno) están embebidos en una matriz continua de cadenas de amilosa físicamente entrecruzadas. Generalmente se acepta que tanto la fase continua (amilosa) como la fase dispersa (células o gránulos de almidón hinchados) contribuyen con las propiedades mecánicas de los geles (Biliaderis y Juliano, 1993; Biliaderis, 1992). El tamaño y la uniformidad del gránulo, el contenido de amilosa, la organización macromolecular de los gránulos, los constituyentes menores del almidón, la presencia de solutos, el pH, la concentración de almidón, y los regímenes de esfuerzo-temperatura-tiempo empleados durante la preparación del gel son importantes en las propiedades reológicas de las dispersiones de almidón (Biliaderis, 1998).

A pesar de los estudios mostrados sobre los efectos de los ingredientes en las características reológicas dinámicas de pastas de yuca, no hay reportes de la influencia de los componentes en el comportamiento viscoelástico de masas de yuca. El objetivo de este estudio fue investigar el efecto de los contenidos de agua y sal (NaCl) en las propiedades reológicas dinámicas de masas de yuca reconstituidas elaboradas a partir de harina de yuca cocida.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Raíces de yuca, cultivar HMC-1 cosechadas a 10 meses, provenientes de Jamundi, Valle del Cauca, Colombia, se utilizaron en todos los ensayos de este estudio. El análisis proximal de las raíces frescas se realizó utilizando harina de yuca nativa de acuerdo a métodos estándar de la AOAC para la determinación de cenizas, proteína cruda, fibra cruda y

grasa (AOAC, 1995). El contenido de almidón se determinó por un método enzimático empleando α-amilasa termoestable como planteó Holm et al. (1986). Todos los análisis fueron realizados por duplicado.

Preparación de la muestra

Las raíces de yuca se pelaron manualmente, se cortaron en trozos cilíndricos (10 cm longitud aprox.). Muestras de los trozos (3 kg) se cocinaron utilizando cocción en agua a ebullición en una marmita (Essen Ltda, Cali, Colombia) por 12 min. Los trozos cocinados fueron almacenados a -5°C por 24 h y posteriormente macerados en un molino de carnes (P.12N, Mobba, Baladona, España) con un plato de orificios de 1.25 cm. Las muestras maceradas se secaron con aire a 60°C en un secador de bandejas hasta un contenido de humedad final de 7-10 % por 24 h. El material seco se trituró en un molino de martillos y se clasificó en un Ro Tap (Model B, W. S. Tyler Inc., Gastonia, N.C., USA) en harina fina (<300 μm) y harina gruesa (300 – 850 μm). La harina de yuca precocida se preparó mezclando la harina gruesa y fina en una proporción de 30:70 (p/p), respectivamente. La proporción de esta mezcla se estableció de acuerdo a estudios realizados en Brasil para la obtención de croquetas de yuca a partir de harina precocida (Berbari, 2000).

El contenido de humedad de la harina cocida se determinó para formular su rehidratación en la reconstitución de la masa. El contenido de humedad se realizó secando una muestra de 1 g en un horno (M. Chopin & Ciq, Boulogne, France) a 130°C por 4 h. El contenido de humedad de la masa de yuca se midió secando una muestra de 2.5 g en el mismo horno con las condiciones previamente descritas. Las determinaciones se efectuaron por duplicado.

Muestras de harina de yuca cocida (5 g) se transformaron en masa de la siguiente forma: El agua, que contenía NaCl para producir una masa reconstituida con una concentración de 1 a 2% (p/p), se agregó a la mezcla de harina cocida. Las masas se prepararon con contenidos de agua entre 60-70%. Después de dejar 60 s en remojo, la mezcla se agitó con un mixógrafo (micromixer, National division of TMCO Inc., Lincoln, Nebraska, USA) por 60 s y se transformó en masa. Las muestras de masa se situaron inmediatamente en un contenedor de plástico sellado para evitar su deshidratación.

Medidas reologicas dinámicas

Las medidas reológicas dinámicas se realizaron utilizando un reómetro de deformación controlada (CP20, TA Instruments, Surrey, UK) equipado con platos paralelos de 2 mm de diámetro. Una muestra de masa de 1.5 g se situó sobre el plato inferior. El plato superior comprimió la muestra hasta tener un espacio de 2 mm y el material sobrante se retiro con una espátula. La muestra se dejó en reposo entre los platos por 5 min. antes del ensayo para minimizar el efecto de los esfuerzos residuales (Pedersen et al., 2004; Sivaramakrishnan et al., 2004). La temperatura se mantuvo a 25°C. Durante la prueba se evitó la deshidratación de la muestra utilizando un accesorio donde se adicionaba agua y posteriormente se cubría la muestra con una cubierta metálica para crear una cámara saturada con vapor de agua (Berland and Launay, 1995).

La región lineal de la muestra se determinó realizando un barrido de deformación a una frecuencia de 1 rad/s. Se encontró que dicha región se ubicaba por encima de 0.3% y se utilizó para todos los ensayos una deformación de referencia de 1%. Las medidas dinámicas se realizaron en un intervalo de frecuencia de 0.1-100 rad/s. Sin embargo, la comparación de datos se llevo a cabo empleando los valores obtenidos a una frecuencia específica (1 rad/s). Los parámetros reológicos dinámicos utilizados para evaluar las propiedades de las masas de yuca reconstituidas fueron el módulo de almacenamiento (G'), el módulo de perdida (G''), la viscosidad dinámica (η*) y la tangente de perdida (tan δ). Todas las medidas se realizaron por triplicado.

Análisis estadístico

La metodología de superficie de respuesta (RSM) se aplicó en el análisis de los datos experimentales. La selección de los intervalos de las concentraciones de los ingredientes se basó en los resultados de ensayos preliminares. Se efectuaron 5 replicas en el punto central y una sola corrida para las otras combinaciones. En total se llevaron a cabo 13 corridas experimentales (Boyaci et al., 2004). Los valores reales y los codificados de las dos variables independientes se muestran en la **Tabla 1**. Los parámetros reológicos G', G'', η* y tan δ se consideraron como variables dependientes para evaluar el efecto de la concentración de los ingredientes (sal y agua) en el comportamiento reológico de masas de yuca reconstituidas. El análisis de varianza (ANOVA) se empleo para determinar la diferencia entre tratamientos a un nivel de significancia del 5%. En todos los experimentos el análisis estadístico se realizó por medio del programa Design Expert 6.0 (Stat-Ease Inc., Minneapolis, USA). Un modelo cuadrático completo incluyendo los términos de las interacciones se empleó para describir la relación entre las variables de respuesta y los factores experimentales (Ec. 1)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_3 X_1 X_2 \qquad (1)$$

Donde, Y es la variable de respuesta reológica, X_1 es el contenido de agua, X_2 es el contenido de sal, β_0 es el intercepto, β_1 y β_2 son los coeficientes lineales, β_{11} y β_{22} son los coeficientes cuadráticos y β_3 es el coeficiente de interacción.

Tabla 1. Diseño experimental para el estudio de viscoelasticidad de masas de yuca en valores codificados y reales

Corrida	Valores codificados		Valores reales	
	Agua (X1)	Sal (X2)	Contenido de agua (%)	Contenido de sal (%)
1	-1	-1	60.00	1.00
2	0	0	65.00	1.50
3	-1.414	0	57.93	1.50
4	0	-1.414	65.00	0.79
5	0	0	65.00	1.50
6	0	0	65.00	1.50
7	1.414	0	72.07	1.50
8	-1	1	60.00	2.00
9	1	-1	70.00	1.00
10	1	1	70.00	2.00
11	0	0	65.00	1.50
12	0	1.414	65.00	2.21
13	0	0	65.00	1.50

La capacidad predictiva de un modelo se explica generalmente por la determinación del coeficiente de regresión (R^2); sin embargo R^2 no es una medida de la exactitud del modelo. Por lo tanto, varias técnicas se han empleado para la verificación del ajuste del modelo tales como el análisis residual, escalamientos residuales y la prueba de falta de ajuste. El análisis de la desviación promedio absoluta (AAD) es un método directo para describir las desviaciones del modelo. La AAD se calcula por la Ecuación (2)

$$AAD = \left\{ \left[\sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\left| y_{i,\exp} - y_{i,cal} \right|}{y_{i,\exp}} \right) \right] / n \right\} * 100 \qquad (2)$$

Donde $y_{i,\exp}$ y $y_{i,cal}$ son las respuestas experimental y calculada, respectivamente, y n es el número experimental de corridas. La evaluación con los valores de R^2 y AAD al mismo tiempo mejora la verificación de la precisión de un modelo (Bas y Boyaci, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis proximal de la harina de yuca nativa se muestra en la **Tabla 2**. Los contenidos de proteína, de grasa, de fibra cruda y cenizas estuvieron en el rango esperado para harina de yuca (Fernandez-Quintero, 1996; Moorthy et al., 1996). El contenido de almidón de harina estuvo de acuerdo con los niveles reportados por Fernandez-Quintero (1996).

Tabla 2. Análisis proximal de harina de yuca nativa cultivar HMC-1.

Composición	Contenido
Proteína cruda (%)	2.9 ± 0.2
Grasa (%)	0.4 ± 0.04
Fibra cruda (%)	2.6 ± 0.04
Cenizas (%)	1.9 ± 0.02
Contenido de almidón (%)	86.5 ± 2.1

* Los valores son expresados en base seca. Promedio ± desviación estándar.

El espectro mecánico de la masa de harina de yuca con 65% de contenido de humedad y 1.5% de sal (punto central) se presenta en la **Figura 1.** Los valores del módulo de almacenamiento (G') fueron mayores que los del módulo de perdida (G''), lo cual implica que predominan las propiedades de un sólido en la masa de yuca reconstituida. Además, ambos módulos mostraron una leve variación con respecto a la frecuencia. Esto significa que las propiedades viscoelásticas de estos materiales son dominadas por la estructura de la matriz en la fase continua (Alvarez and Canet, 1999; Vaikousi and Biliaderis, 2005). Por otro lado, la viscosidad compleja (η*) disminuyó a medida que aumentaba la frecuencia de 0.1 a 100 rad/s, corroborando que el componente elástico predomina sobre el carácter viscoso.

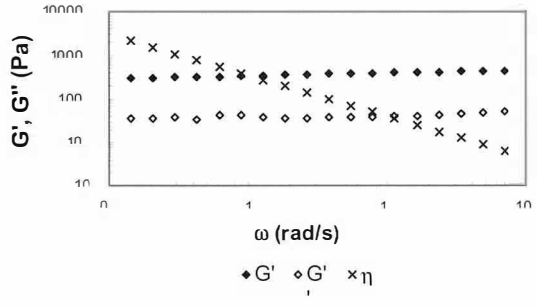


Figura 1. Módulos dinámicos (G' y G'') y la viscosidad compleja (η*) de masa de yuca reconstituida con 1.5% de sal y 65% de contenido de agua en la región lineal (amplitud 1%) como una función de la frecuencia angular (ω rad/s).

Los coeficientes de regresión del modelo de segundo orden para las variables de respuesta viscoelásticas se resumen en la **Tabla 3**. Coeficientes de regresión altos (R^2 mayor a 90%) y desviaciones promedio absolutas bajas (AAD menor a 2.6%) indicaron una buena correlación entre los datos experimentales y los modelos. El análisis de regresión muestra que el módulo de almacenamiento (G') y la viscosidad compleja (η*) fueron afectados significativamente en forma negativa por el efecto lineal y cuadrático del contenido de agua. El módulo de perdida (G'') fue afectado linealmente por las variaciones en los contenidos de agua y de sal, y en forma cuadrática solo por el contenido de agua. No se presentó ningún efecto de interacción significativa entre el contenido de agua y el de sal.

Tabla 3. Coeficientes de la ecuación de regresión para las propiedades viscoelásticas*

Variables	G' (Pa)	G'' (Pa)	η* (Pa.s)
Intercepto	37.97	4.14	29.98
Agua	-10.70†	0.77†	-8.06†
Sal	-0.40	-0.21†	-0.35
Agua^2	-3.83†	1.08†	-2.71†
Sal^2	0.76	0.04	0.55
Agua * Sal	-0.43	0.18	-0.28
R^2	0.911	0.95	0.93
AAD (%)	2.58	1.76	2.02

†Significante a P<0.05
*Análisis por medio de unidades codificadas

La superficie de respuesta para el módulo de almacenamiento (G') a 1 rad/s y su correspondiente dependencia de los contenidos de sal y de agua se muestra en la **Figura 2.** Cuando se incrementó el contenido de agua de la masa, los valores de G' disminuyeron significativamente; sin embargo, la interacción entre el contenido de agua y de sal no fue estadísticamente significativo. Las propiedades reológicas de las dispersiones de almidón se basan en el número y la distribución de tamaño de los gránulos de almidón (Rao, 1999). En términos de la concentración de harina de yuca, incrementando el contenido de harina produce un aumento en los valores de G'.

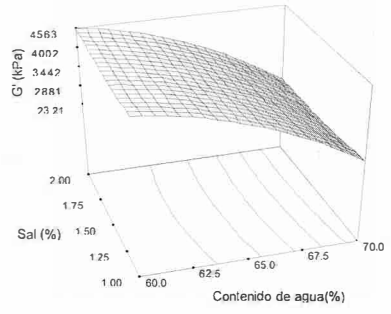


Figura 2. Superficie de respuesta del módulo de almacenamiento (G') de la masa de yuca reconstituida como función de los contenidos de sal y de agua.

Aunque las masas son sistemas multicomponentes complejos que contienen proteínas, fibra, azúcar, y otros compuestos no amiláceos, la fracción másica de almidón en la harina de yuca se ubica por encima del 85% (**Tabla 1**). Por consiguiente, la reología de la masa de yuca puede estar dominada por el número y las características estructurales de los gránulos de almidón, los cuales juegan un papel importante en el comportamiento viscoelástico. Los parámetros estructurales y funcionales de los componentes de la masa tales como la distribución del tamaño y la forma de la partícula, su firmeza y deformabilidad pueden influir en las propiedades reológicas del producto. Asimismo, las interacciones partícula-partícula y las propiedades de retención de agua de estas partículas se deben tener en cuenta para explicar las diferencias que se presentan en las masas (Rao, 1999).

Cuando se presenta una mayor concentración de almidón en los geles, los gránulos hinchados llenan completamente los espacios vacíos disponibles, lo cual puede considerarse como una concentración de empaque cerrado (Eerlingen et al., 1997). En el sistema de empaque cerrado, el contacto entre gránulos puede ocurrir directamente, sin embargo este contacto también puede involucrar la amilosa, que ha sido liberada del gránulo, y formar una red debido a su asociación lateral y su arreglo en paralelo (Morris, 1990). Este sistema permite que haya interacción entre los mismos gránulos de almidón, así como entre la matriz continua y dichos gránulos. El aumento de la elasticidad puede ser el resultado del

incremento del contacto gránulo-gránulo. Por consiguiente, en este tipo de geles la fase continua (amilosa) contribuye en menor grado con el resultado de las propiedades reológicas si se compara con el aporte de la fase dispersa (Eliasson, 1986). Es posible que las características viscoelásticas de las masas de yuca dependan de la concentración de almidón y las interacciones entre esta fase dispersa y la matriz continua.

El contenido de sal no presentó ningún efecto significativo en los valores de G', como se ilustra en la **Figura 2.** En los estudios realizados sobre almidón de papa (12.5% concentración de almidón), el valor de G' de la pasta de almidón se incrementó con el aumento de la concentración de NaCl (Mita, 1992). Muhrbeck and Eliasson (1987) reportaron que la adición de NaCl a las suspensiones de almidón de papa (2-4% contenido de almidón) también tuvo un efecto considerable en las propiedades físicas de los geles. Mientras que las propiedades viscoelásticas de los geles de almidón de yuca, con la misma concentración de almidón, no fueron alteradas por la adición de sal. Los iones influyen en el desarrollo del gel de papa debido a que los cationes forman una capa con los grupos fosfato sobre la superficie del gránulo de almidón de papa. Estos resultados sustentan la teoría que los grupos fosfatos del almidón de papa influyen activamente en la reología del gel, mientras que en el caso del almidón de yuca no tienen mayor importancia, principalmente por los bajos niveles de fosfato que presenta esta raíz (Hoover, 2001).

Las gráficas de superficie de respuesta para el módulo de perdida (G'') en función del contenido de sal y de agua se presentan en la **Figura 3.** La superficie de respuesta indica que los valores más altos de G'' corresponden a los niveles más altos de contenido de agua. Al aumentar el contenido de sal se observa una disminución de los valores de G'' únicamente en los niveles más bajos de contenido de agua. A mayores niveles de agua, por encima de 63%, no se presentó una influencia apreciable de la concentración de sal en las propiedades viscosas. El G'' de las masas de yuca depende principalmente de los efectos lineales del contenido de agua (positivamente) y el contenido de sal (negativamente). Como se mencionó anteriormente, los valores de G' fueron más altos que los de G'' en el rango de las concentraciones de los ingredientes estudiados. El G' fue siete veces mayor que el G''. Esto sugiere que las propiedades elásticas exceden ampliamente las propiedades viscosas (Alvarez y Canet, 1999).

El efecto de los contenidos de agua y sal en la viscosidad compleja (η^*) de las masas se presenta en la **Figura 4**. La superficie de respuesta exhibe un comportamiento similar al presentado en las gráficas de G'. Este resultado también confirma que las características reológicas están determinadas por la contribución elástica del producto. El contenido de agua de la masa se identificó como el factor más importante que dominó las variaciones de la viscosidad compleja. La tangente de perdida (tan δ) es un parámetro más sensible para verificar los cambios en la naturaleza viscoelástica de los materiales que los módulos dinámicos. Los valores de tan δ para las masas de yuca reconstituidas estuvieron dentro del rango de 0.1-0.2 (resultados no mostrados) y fueron casi independientes de los contenidos de agua y sal. Valores bajos de la tan δ (menores a 0.2) también demuestran que las masas fueron materiales con más características sólidas que viscosas (Biliaderis y Juliano, 1993; Chaisawang y Suphantharika, 2006).

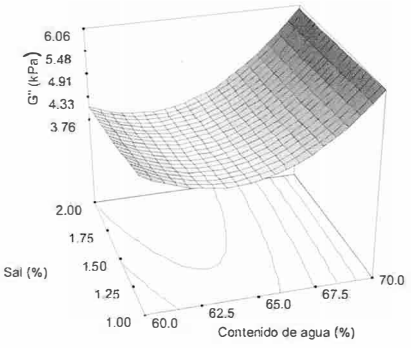


Figura 3. Superficie de respuesta del módulo de pérdida (G'') de la masa de yuca reconstituida como función de los contenidos de sal y de agua.

En el caso de las masas de yuca (60-70% contenido de agua), conforme el contenido de agua se incrementaba los valores de G' disminuían y de G'' aumentaban, sin embargo la tan δ no se afectó significativamente. Este comportamiento sugiere que el contenido de agua influye en los módulos dinámicos, pero sin cambiar la estructura de la masa. En masas de harina de trigo normales (44-50% contenido de agua), el agua tiene principalmente efectos plastificantes, cambiando sus parámetros reológicos pero sin modificar su estructura. Un incremento del contenido de agua en las masas de trigo conlleva a bajar los valores de G' y G'', pero sin afectar los valores de la tan δ, (Berland and Launay, 1995; Létang et al., 1999).

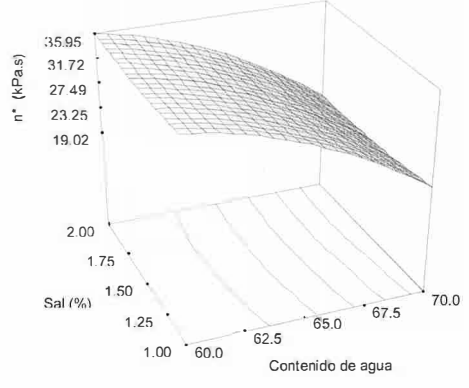


Figura 4. Superficie de respuesta de la viscosidad compleja (η^*) de la masa de yuca reconstituida como función de los contenidos de sal y de agua.

Comparando las propiedades viscoelásticas de las pastas de almidón de yuca y de trigo (44% almidón b.s.), las pastas de yuca tuvieron un carácter elástico mayor que las pastas de trigo (Asaoka et al., 1992). Esta diferencia puede deberse a la composición química de cada harina. El principal constituyente de la harina de trigo es el almidón, pero la fracción proteica (gluten) es el componente que define y controla las propiedades viscoelásticas de las masas de harina de trigo (Faubion and Hoseney, 1990). Por otro lado, la harina de yuca tiene un contenido bajo de proteína y sus propiedades viscoelásticas dependen ampliamente del almidón gelatinizado. Aunque las masas de trigo y yuca son materiales diferentes, sus propiedades reológicas dependen de las características de la fase dispersa, la fase continua, y la interacción entre estas fases (Eliasson, 1986).

CONCLUSION

La masa de yuca reconstituida con la harina precocida puede considerarse como un material donde predominan las características sólidas. El contenido de agua de la masa (60-70%) fue el ingrediente que presentó mayor influencia sobre los módulos reológicos dinámicos. Cuando se incrementó el contenido de agua, los valores de G' disminuyeron y los de G'' aumentaron; sin embargo, la tan δ permaneció prácticamente constante. Por consiguiente, el agua tiene efectos plastificantes, modificando los valores de los parámetros reológicos pero sin cambiar la estructura de la masa. Las características viscoelásticas de la masa de yuca reconstituida dependen del número y distribución del tamaño de los gránulos de almidón y las interacciones entre esta fase dispersa y la matriz continua. El efecto del contenido de sal (1-2%) en las propiedades viscoelásticas de las masas de yuca no fue significativo, excepto para valores de G'' donde el contenidos de agua estuvo cercano a 60%.

AGRADECIMIENTOS

E. Rodríguez-Sandoval agradece la beca otorgada por COLCIENCIAS. CLAYUCA es también reconocida por el suministro de las raíces de yuca.

REFERENCIAS

Alvarez, M.D. & Canet, W. 1999. Rheological properties of mashed potatoes made form dehydrated flakes: effect of ingredients and freezing. European Food Research and Technology, 209, 335-342.

AOAC. 1995. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists, Washington.

Asaoka, M., Blanshard, J.M.V. & Rickard, J.E. 1992. Effects of cultivar and growth season on the gelatinization properties of cassava (*Manihot esculenta*) starch. Journal of the Science of Food and Agriculture, 59, 53-58.

Bas, D. & Boyaci, I.H. 2007. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. Journal of Food Engineering, 78 (3), 836-845.

Berbari, S. 2001. Desenvolvimento de tecnologia para obtençao de produto cromatado e congelado de mandioca (Manihot esculenta Crantz). Ph. D. Thesis Tecnologia de Alimentos, Universidad de Campinas, Campinas.

Berland, S.& Launay, B. 1995. Rheological properties of wheat flour doughs in steady and dynamic shear: effect of water content and some additives. Cereal Chemistry, 72, 48-52.

Biliaderis, C.G. 1998. Structures and phase transitions of starch polymers. In: Polysaccharide association structures in food. (edited by R. H. Walter). Pp. 57-168. New York: Marcel Dekker, Inc.,

Biliaderis, C.G. & Juliano, B.O. 1993. Thermal and mechanical properties of concentrated rice starch gels of varying composition. Food Chemistry, 48, 243-250.

Biliaderis, C.G. 1992. Characterization of starch networks by small strain dynamic rheometry. In Developments in Carbohydrate Chemistry, eds. J. Alexander and H.F. Zobel. American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN, pp. 87-135.

Boyaci, I.H., Williams, P.C. & Köksel, H. 2004. A rapid method for the estimation of damaged starch in wheat flours. Journal of Cereal Science, 39, 139-145.

Chaisawang, M.& Suphantharika, M. 2006. Pasting and rheological properties of native and anionic tapioca starches as modified by guar gum and xanthan gum. Food Hydrocolloids, 20, 641-649.

Eerlingen, R., Jacobs, H. Block, K. & Delcour, J.A. 1997. Effects of hydrothermal treatments on the rheological properties of potato starch. Carbohydrate Research, 297, 347-356.

Eliasson, A.C. 1986. Viscoelastic behavior during the gelatinization of starch I. Comparison of wheat, maize, potato and waxy-barley starches. Journal of Texture Studies, 17, 253-265.

Evans, I.D.& Haisman, D.R. 1979. Rheology of gelatinzed starch suspensions. Journal of Texture Studies, 10, 347-370.

Fasina, O.O., Walter, W.M.J., Fleming, H.P. & Simunovic, N. 2003. Viscoelastic properties of restructured sweet potato puree. International Journal of Food Science and Technology, 38, 421-425.

Faubion, J.M. & Hoseney, R.C. 1990. The viscoelastic properties of wheat flour doughs, p. 29-66. In: Dough rheology and baked product texture. (edited by H. Faridi and J.M. Faubion). New York: AVI Book.

Fernandez-Quintero, A. 1996. Effects of processing procedures and cultivar on the properties of cassava flour and starch. Ph. D. Thesis. Sutton Bonington: University of Nottingham,

Holm, J., Björck, I., Drews, A. & Asp, N.G. 1986. A rapid method for the analysis of starch. Starch/Stärke, 38, 224-226.

Hoover, R. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. Carbohydrate Polymers, 45, 253-567.

Létang, C., Piau, M. & Verdier, C. 1999. Characterization of wheat flour-water doughs. Part I. Rheometry and microstructure. Journal of Food Engineering, 41, 121-132.

Mita, T. 1992. Structure of potato starch pastes in the ageing process by the measurement of their dynamic moduli. Carbohydrate Polymers, 17, 269-276.

Moorthy, S.N., Wenham, J.E. & Blanshard, J.M.V. 1996. Effect of solvent extraction on the gelatinization properties of flour and starch of five cassava varieties. Journal of the Science of Food and Agriculture. 72, 329-336.

Morris, V.J. 1990. Starch gelation and retrogradation. Trends in Food Science & Technology, 1, 2-6.

Muhrbeck, P. & Eliasson, A.C. 1987. Influence of pH and Ionic strength on the viscoelastic properties of starch gels - a comparison of potato and cassava starches. Carbohydrate Polymers, 7, 291-300.

Navarro, A.S., Martino, M.N. & Zaritzky, N.E. 1997. Viscoelastic properties of frozen starch-triglycerides systems. Journal of Food Engineering, 34, 411-427.

Pedersen, L., Kaack, K., Bergsoe, M.N. & Adler-Nissen, J. 2004. Rheological properties of biscuit dough from different cultivars, and relationship to baking characteristics. Journal of Cereal Science, 39, 37-46.

Rao, M.A. 1999. Rheology of fluid and semisolid foods: Principles and applications. Pp. 175-218. Gaithersburg, Maryland, USA: Aspen Publishers.

Sivaramakrishnan, H.P., Senge, B. & Chattopadhyay, P.K. 2004. Rheological properties of rice dough for making rice bread. Journal of Food Engineering, 62, 37-45.

Steffe, J.F. 1996. Rheological methods in food process engineering. Pp. 294-348. East Lansing, MI., USA: Freeman Press

Svegmark, K. & Hermansson, A.M. 1991. Changes induced by shear and gel formation in the viscoelastic behaviour of potato, wheat and maize starch dispersions. Carbohydrate Polymers, 15, 151-169.

Temsiriponga, T., Pongsawatmanit, R., Ikeda, S. & Nishinari, K. 2005. Influence of xyloglucan on gelatinization and retrogradation of tapioca starch. Food Hydrocolloids, 19, 1054-1063.

Vaikousi, H. & Biliaderis, C.G. 2005. Processing and formulation effects on rheological behavior of barley b-glucan aqueous dispersions. Food Chemistry, 91, 505-516.

COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LA PULPA DE ZAPOTE (*Calocarpum sapota Merr*)

Andrade, Ricardo David[1], Bustamante, Cindy Elena[2], Mora, Bettina Beatriz [2] y Torres, Ramiro[1]
1- Universidad de Cordoba, Grupo de Investigaciones en procesos agroindustriales, Facultad de Ciencias Agrícolas, Programa de Ingeniería de alimentos. Email: randrade@sinu.unicordoba.edu.co
2- Universidad de Cordoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Programa de Ingeniería de alimentos.

Palabras clave: Ley de Potencia, parámetros reológico, pseudoplástico.

RESUMEN

En este trabajo se determinó el comportamiento reológico de la pulpa de zapote (*Calocarpum sapota Merr*) cultivado en el departamento de Córdoba. Para la obtención de la pulpa, los frutos de zapote se procesaron en la planta piloto sección Fruver de la Universidad de Córdoba. A las muestras de pulpa de zapote a 20°C, se les efectúo el análisis reológico por medio del viscosímetro Brookfield modelo Dv-II + Pro, utilizando el spindle N° 6, los datos obtenidos se ajustaron al modelo de Ostwald de Waele o Ley de Potencia (R^2 = 0,9985) presentando un comportamiento pseudoplástico (n= 0,039 y K = 2770 Pa. s^n).

INTRODUCCIÓN

El fruto del zapote es una baya cuya forma puede ser fusiformes, elongadas y asimétricas, elipsoidales, o casi esféricas de 10 a 25 cm de largo por 8 a 12 cm de ancho (Guía técnica: Cultivo del Zapote). La cubierta es gruesa y leñosa y de un color anaranjado-rojizo, la pulpa de los frutos maduros puede ser de color salmón, naranja, roja o roja-carmelita y tiene una textura que varía entre suave y uniforme a finamente granulada, su peso oscila entre 0.3-2.7 Kg (Balerdi *et al*., 2005).

El zapote es una fruta nativa de Centro América donde se cultiva abundantemente y también crece en estado silvestre (Guía técnica: Cultivo del Zapote); se ha identificado más de cuatrocientas especies agrupadas en la familia de las Sapotáceas, entre estas se encuentran el caimito, níspero, zapote, mamey zapote, mamey colorado entre otras (Olaya, 1991).

La composición química y las características físico-químicas de la parte comestible de la pulpa del Zapote (*Calocarpum sapota Merr*) se presentan en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1. Composición química porcentual de la parte comestible de la pulpa de zapote *(Calocarpum sapota Merr.)*

Parámetros	Valor
Agua	65,40
Proteínas	1,25
Extracto etéreo	0,11
Fibra	0,59
Cenizas	0,73
Carbohidratos	31,88

Fuente: Negrete y Simanca, 2002.

Tabla 2. Características fisicoquímicas de la pulpa de zapote *(Calocarpum sapota Merr.)*

Parámetros	Valor
Acidez (ácido cítrico anhidro %)	0,069
pH	6,098
°Brix	27,48
Azucares reductores (%)	17,62
Azucares totales (%)	25,64

Fuente: Negrete y Simanca, 2002.

La pulpa de zapote *(Calocarpum sapota Merr)* posee un alto porcentaje de carbohidratos y sólidos solubles, lo cual es un punto muy favorable para logra un mejor aprovechamiento de esta fruta a nivel industrial, así como también su alto contenido en pectina convierte al zapote en fruto que puede ser muy apetecido para la elaboración de productos tales como mermeladas y jaleas (Negrete y Simanca, 2002).

Para el año 2003 la producción aproximada de zapote en Colombia fue de 142 hectáreas, con una producción de 1703 toneladas del fruto (Frutas y hortalizas de Colombia para el mundo).

El zapote se consume usualmente en forma natural o en preparaciones donde la pulpa fresca o congelada se mezcla con otros ingredientes para hacer batidos o helados. Esta fruta también es excelente para hacer jaleas, pastas y conservas (Balerdi *et al*, 2005). La pulpa usualmente cocinada puede constituir un sustituto aceptable de la salsa de manzana o usarse en pastelería y dulcería. De la semilla se puede industrializar los aceites, los cuales tienen múltiples usos medicinales, también se ha comprobado que el polvo hecho con la semilla o el látex del fruto verde, pueden ser insecticidas eficaces. (Guía técnica: Cultivo del Zapote).

La reología es el estudio físico del comportamiento mecánico de los materiales y hace parte de una rama de la física que estudia la deformación de la materia. Se ocupa preferentemente de la deformación de los cuerpos aparentemente continuos y coherentes, pero con frecuencia trata tan bien de la fricción entre sólidos, del flujo de polvos e incluso de la reducción a partículas o molturación (Muller, 1977). La reología de los alimentos ha sido definida como el estudio de la deformación y flujo de las materias primas sin procesar, los productos intermedios o semielaborados y los productos finales de la industria alimentaria (White, 1970 citado por Garza, 2004).

El comportamiento reológico de fluidos alimenticios, como pulpas y jugos de frutas, es un factor muy importante en el dimensionamiento de equipos de procesamiento industrial, además de constituir un factor en la evaluación de la calidad del producto (Queiroz, 1998).

Silva *et al*.. (2005) evaluó el efecto de la temperatura y la concentración sobre el comportamiento reológico del jugo de acerola, determinando que este jugo presenta un fuerte comportamiento no newtoniano con características pseudoplásticas.

Investigaciones realizadas por Vidal (2004) y Pelegrine *et al*. (2000), sobre el comportamiento reológico de la pulpa de mango, se concluyó que este producto presenta un comportamiento no newtoniano característico de un fluido pseudoplástico.

Sanchez *et al*. (2002) evaluaron el efecto de la temperatura sobre el comportamiento reológico de la pulpa de guayaba utilizando un rango de temperaturas de 10°C a 40°C, concluyeron que este comportamiento puede ser representado por la ley de potencia. Además el índice de comportamiento de flujo (n) de la pulpa de

guayaba arrojó un valor menor que la unidad, lo que caracteriza a un comportamiento pseudoplástico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Elaboración de la pulpa de zapote

Los zapotes utilizados provenían de la región de Los Córdobas y Valencia, en el departamento de Córdoba, Colombia; para la selección de los frutos se tuvo en cuenta el tamaño y que no presentaran daños aparentes en la cáscara ni sobremaduración. Los frutos seleccionados fueron lavados en agua clorada a 50 ppm, se escaldaron a una temperatura de 75°C por 5 minutos, procediendo a despulpar y homogenizar, posteriormente se pasteurizó la pulpa de zapote a 65°C por 30 minutos y se empacó en bolsas de polipropileno con cierre hermético y se almacenaron en refrigeración.

Caracterización de la pulpa de zapote.
A la pulpa de zapote se le realizaron análisis fisicoquímicos: sólidos solubles (°Brix), medidos con un refractómetro marca MISCO modelo 10431vp, pH, por medio de lectura directa en un potenciómetro marca Mettler Toledo, modelo GmbH y acidez total por el método A.O.A.C. 942.15/90 Adaptado (Bernal, 1993).

Determinación de parámetros reológicos
Se tomaron 400 mL de pulpa de zapote y se colocaron en un Beaker de 600mL, sé seleccionó el spindle adecuado del viscosímetro Brookfield modelo Dv-II + Pro, realizándose dos corridas, una en forma ascendente y otra en forma descendente. Se realizaron medidas de viscosidad aparente variando la velocidad en forma ascendente (0.5, 10, 20, 50, 60, 100 rpm), se dejó 5 minutos a la velocidad máxima, y luego se realizaron las medidas en forma descendente (100, 60, 50, 20, 10, 0.5 rpm), para determinar si existía dependencia del tiempo. Las medidas se realizaron a temperatura controlada de 20 ± 0.5 y por triplicado.

Análisis estadístico
El procesamiento y análisis estadístico de datos se llevó a cabo por medio del software SAS versión 8.2, y se seleccionó el modelo que presentó mejor correlación y que se ajustara mejor a los datos experimentales (viscosidad aparente contra velocidad).

Se utilizó la ecuación de Mitschka (Ec. 1) para obtener los valores de gradiente de velocidad a partir de los datos de velocidad de rotación (Briggs y Steffe, 1997) y realizar el reograma de cada variedad.

$$\gamma = 0.263 n^{-0.771} N \qquad \text{Ec. 1}$$

Donde γ es la tasa de Deformación (s^{-1}), n es el índice de flujo y N es la velocidad de rotación (rpm).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores de pH, sólidos solubles y acidez titulable realizados a la pulpa de zapote (Tabla 3), concuerdan con los datos reportados por Negrete y Simanca, 2002; presentando una menor acidez.

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas de pulpa de zapote

Parámetro	Valor	Desviación
Acidez Total	0,00225	$3,69 \times 10^{-4}$
pH	6,263	$5,77 \times 10^{-3}$
Sólidos solubles (° Brix)	29,26	0,2516

El comportamiento reológico de la pulpa de zapote se ajusta adecuadamente (R^2 = 0,9985) al modelo de Ostwald de Waele o Ley de potencia ($\tau = K \gamma^n$), comportándose como un fluido seudoplástico (n= 0,039 y K = 2770 Pa. s^n), coincidiendo con el comportamiento de diferentes pulpas de frutas, como guayaba, mango, y melocotón.

En la figura 1 se presentan el reograma para la pulpa de zapote, en el cual se observa que la viscosidad aparente disminuye al aumentar el gradiente de velocidad, característico de fluidos seudoplásticos.

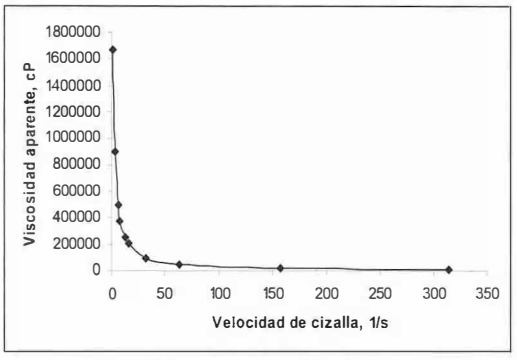


Figura 1. Reograma para la pulpa de zapote

Las curvas de ascenso y descenso de la viscosidad aparente vs velocidad de cizalla, no presentaron diferencias significativas, lo que indica que la pulpa de zapote no tiene un comportamiento tixotrópico.

CONCLUSIONES

La pulpa de zapote a 20°C se ajusta adecuadamente a la ley de potencia y se comporta como un fluido que seudoplástico.

La pulpa de zapote a 20°C presenta un comportamiento independiente con el tiempo

BIBLIOGRAFIA

Balerdi, C.; Crane, J. y Campbell, C. El mamey sapote en Florida. University of Florida. IFAS extensión. 2005

Bernal, I. Análisis de los Alimentos. Santa Fe de Bogotá: Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Julio Carrizosa Valenzuela. N° 2, 1 – 14, 1993

Briggs, J. y Steffe, J. Using Brookfield data and the Mitschka method to evaluate power law foods. Journal of Texture Studies.28:517-522, 1997.

Frutas y hortalizas de Colombia para el mundo. http://www.frutasyhortalizas.com.co/portal/Business/product_view.php. [Accedido: 12- 06- 2007]

Garza, S. 2004. Caracterización reológica y microbiológica, y cinética de deterioro en cremogenado de melocotón. En: biblioteca virtual Miguel de Cervantes. http:// Cervantes Virtual. Com/servlet/sirveobras/poo.pdf. [Accedido: 03- 05- 2006]

Guía técnica: Cultivo del Zapote. Centro nacional de tecnología agropecuaria y forestal.
http://www.centa.gob.sv/documentos/guias/zapote.pdf. [Accedido: 03-06- 2007]

Muller, H. Introducción a la reología de alimentos. Acribia, Zaragoza, 1977.

Negrete, E. y Simanca, M. Evaluación fisicoquimica y microbiológica de pulpa de zapote (Callocarpum sapota Merr) conservada por métodos físicos y quimicos. Revista Temas Agrarios. 7 (13): 102-122. 2002.

Olaya, C. Frutas de América Tropical y Subtropical. Historia y Usos. Editorial Normal, 1991.

Pelegrine, D.; Vidal, J. y Gasparetto, C. Study of aparent viscosity of mango (Keitt) and pineapple (Pérola) pulps. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, 20 (1) : 128-131, 2000.

Queiroz, A. Estudo do comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Tese Doutorado, 1998.

Sánchez, C.; Oria, R. y Sánchez-Gimeno, A.. Efecto de la temperatura en las propiedades reológicas de purés de guayaba (Spidium guajava L). Grupo de investigación en alimentos de origen vegetal Universidad de Zaragoza, España. 2006

Silva, F.; Guimarães, D. y Gasparetto, C. Rheology of acerola juice: effects of concentration and temperature. Ciência Tecnologia Alimentos, Campinas, 25 (1) : 121-126, 2005.

Vidal, J. Comportamento da polpa de manga (Mangifera indica L. cv. Keitt) integral. Revista Ciências Exatas e Naturais, 6 (2) : 217-222, 2004.

ESTUDIO REOLÓGICO EN ALMIDONES AISLADOS DE DIFERENTES FUENTES.

Casarrubias-Castillo, María Guadalupe; Sánchez-Rivera, Mirna Ma.; Méndez-Montealvo, Guadalupe y Bello-Pérez, Luis A.

CENTRO DE DESARROLLO DE PRODUCTOS BIÓTICOS. Carr. Yautepec-Jojutla Km. 8.5, Col. San Isidro, C.P.62731, Yautepec, Morelos, México. Tel. (52)-(735)-3941896; Fax: (52)-(735)-3942020. labellop@ipn.mx,

Palabras clave: Cereales, frutos, viscoelasticidad, microfotografías.

RESUMEN

En este trabajo de investigación se desarrollo una caracterización parcial de los almidones nativos de diferentes fuentes, provenientes de cereales (maíz y cebada) y frutos (mango y plátano), realizando un estudio morfológico y molecular empleando microscopia electrónica de barrido y difracción de rayos X, así como un estudio reológico, llevando acabo las mediciones oscilatorias de baja deformación. Para determinar el comportamiento viscoelástico, se evaluó la región lineal a través de los barridos de amplitud de la deformación, obteniendo el valor óptimo de porcentaje de amplitud de 0.5 % para realizar los barridos de frecuencia en un intervalo de 0.1 a 10 Hz y así obtener los módulos de almacenamiento (G') y de pérdida (G").

Se muestra que la fuente de almidón es un factor importante en las características tanto morfológicas como reológicas de los materiales evaluados. Los gránulos observados a través de microscopia electrónica de barrido fueron de diferentes tamaños y formas (elíptica, poliédrica); sin embargo en los resultados de difracción de rayos X, todas las muestras presentaron un patrón tipo A. En cuanto a los resultados reológicos, en todos las muestras predomino el módulo de almacenamiento, siendo mayor el comportamiento elástico y los geles formados con el almidón de cebada fueron similares a los obtenidos con los almidones provenientes de frutos. A pesar de presentar un tamaño de gránulo menor, la cantidad de material lixiviado permite conformar geles estables.

INTRODUCCIÓN.

El almidón es la principal fuente de carbohidratos en la dieta humana. Además, de ser un ingrediente versátil en los alimentos, es ampliamente usado en la elaboración de ellos y en otras aplicaciones industriales, representando un insumo vital para estas. Las propiedades fisicoquímicas como son: tamaño del gránulo, proporción de amilosa/amilopectina, grado de ramificación de la amilopectina y características funcionales que son impartidas por los almidones en sistemas acuosos, varía con el origen biológico y tienen una importancia fundamental en la funcionalidad del almidón y sus derivados en aplicaciones de alimentos.

Los almidones nativos tienen características muy específicas y se comportan de maneras variables en cuanto a sus propiedades funcionales, lo que depende de su fuente natural. Por tal motivo, el estudio de fuentes convencionales y no convencionales de almidones daría alternativas de aplicaciones para las diferentes industrias (alimentos, cosméticos, papel, textil, entre otras) en la utilización de los mismos.

El almidón esta organizado en partículas discretas conocidas como gránulos, cuya morfología, composición química y estructura supermolecular (arreglo relativo de las macromoléculas en el estado sólido), son características en cada especie. Los gránulos de almidón pueden reconocerse por su forma, posición del hilio (punto a partir del cual ocurre el crecimiento del gránulo) y tamaño, el cual varía en un 0.5 y 100 µm, dependiendo de la fuente botánica.

Químicamente el almidón consiste de dos polímeros de diferente estructura, amilosa y amilopectina. La amilosa es esencialmente lineal, formado por unidades de D-glucosa unidos por enlaces α(1-4). Mientras que la amilopectina es el componente ramificado del almidón, esta formado por cadenas de residuos α-D-glucopiranósidos (entre 17 y 23 unidades) unidos por enlaces α(1-4), y presenta enlaces α(1-6) en los puntos de ramificación; este material se encuentra en una proporción del 70-80%; en ciertos casos, alcanza niveles de hasta un 98-99% en los almidones tipo ceroso o "waxy", todo va a depender de la fuente botánica de almidón (Zobel, 1988); es así que su composición, estructura y proporción en el almidón, contribuyen en las propiedades funcionales del almidón.

Estas propiedades están en función de los cambios que muestran los almidones al estar en presencia de agua y por efecto de temperatura, ya que se producen procesos hidrotérmicos como son la gelatinización y retrogradación. La gelatinización es la pérdida del orden molecular dentro de los gránulos de almidón seguida por cambios irreversibles en sus propiedades tales como hinchamiento granular, desorden de los cristales, pérdida de birrefringencia y disolución del almidón (Atwell y col., 1988). La retrogradación se define como la reorganización de las moléculas del almidón, debido a que las cadenas lineales se orientan paralelamente e interaccionan con ellas por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples grupos hidroxilo. Cada almidón tiene una diferente tendencia a la retrogradación, lo cual esta directamente relacionado con su contenido de la fracción de amilosa y de amilopectina. El resultado de estos procesos es la formación de una pasta o gel en las que se tiene a las moléculas de amilosa formando una red tridimensional que rodean a los gránulos del almidón hinchados.

Un método para poder caracterizar a estos sistemas (pastas y geles) es la reología. La reología en almidones es particular en cada caso, pues depende de las condiciones experimentales, es decir, incluye la preparación de las muestras, el perfil térmico, la presencia y/o ausencia de iones, etc. El aspecto más importante evaluado es el comportamiento de flujo y su comportamiento viscoelástico.

Se ha descrito que las mediciones viscoelásticas dinámicas han provisto un excelente medio para estudiar los cambios reológicos ocurridos durante los procesos de gelatinización y retrogradación de dispersiones acuosas de almidón. Las pruebas oscilatorias de baja deformación permiten medir sin interrumpir o destruir la estructura del gel, son muy útiles en la descripción de los cambios dependientes de tiempo y temperatura. Las pastas de almidón o los geles tienen propiedades viscosas (como fluidos) y elásticas (como sólidos), mostrando así un comportamiento viscoelástico. Los materiales que presentan esta propiedad, se caracterizan por la presencia de una estructura tridimensional incompleta, que se afecta por la aplicación de un esfuerzo y sólo se recupera cuando el esfuerzo es parcialmente removido. Mientras más completa y resistente a la ruptura sea la estructura, más pronunciada es su elasticidad, y mientras más fácil se rompa, mayor es su comportamiento viscoso (Borwankar, 1992).

Estas pruebas consisten en obtener un barrido de deformación (o esfuerzo, según sea el caso), para determinar los límites del comportamiento viscoelástico lineal de la muestra, dado que en la región lineal, las propiedades reológicas no son dependientes de la deformación ni del esfuerzo. Se procede a obtener un barrido de frecuencia, el cual señala los cambios en el

comportamiento elástico y viscoso del material, con el tiempo de aplicación de la deformación o del esfuerzo. Los resultados de los experimentos dinámicos son representados por los módulos de almacenamiento (G') y el módulo de pérdida (G'').

MATERIALES Y MÉTODOS.

Aislamiento del almidón.
Los almidones se aislaron de acuerdo a los siguientes procedimiento: para el almidón de cebada, el método propuesto por Sánchez-Hernández et al., (2002); para los almidones de plátano y mango, el método reportado por Millán-Testa et al., (2005), la muestra de maíz fue proporcionada por Arancia Productos de Maíz, México.

Microscopía electrónica de barrido.
Las muestras de almidón se espolvorearon sobre una cinta conductora de cobre de doble adhesión, la cual se fijó previamente en un soporte de aluminio del microscopio electrónico de barrido JEOL (modelo JSEM 35CX; Japan Electronic Optical Limited, Japón). Las muestras se cubrieron con una capa de carbón de 30 nm de espesor depositada al vacío (10-5 Torr) en una evaporadora JEOL. La evaporadora estaba dotada de un adaptador rotatorio de ángulo variable con objeto de asegurar una capa uniforme en toda la superficie de la muestra. Las muestras recubiertas con carbón se colocaron en el ionizador de metales JEOL, y se recubrieron con una capa de oro de 60 nm. Las muestras fueron observadas en el microscopio electrónico de barrido a un voltaje de 8 KV y se tomaron las fotografías.

Difracción de rayos-X.
Las muestras se colocaron sobre el portamuestras del difractómetro de rayos X (Bruker D5005) de ángulo ancho, equipado con una fuente de cobre operado a 40 KV y 30 mA, produciendo una radiación de CuKα con una longitud de onda de 1.54 Å. Los datos se colectaron en un intervalo de 4 a 38° cada 0.1°, con una velocidad de barrido de 60 s/°. La línea base del difractograma se corrigió en el intervalo de barrido y el vector se normalizó utilizando el programa OPUS 3.0 (Bruker, UK) (Ottenhof, 2003).

Método dinámico.
Las dispersiones de almidón al 5% (p/v) S.T. en base seca, se prepararon empleando agua destilada. Sus propiedades viscoelásticas se midieron realizando pruebas oscilatorias de baja amplitud en un reómetro TA Instruments modelo AR 1000-N (New Castle, E.U.A.) empleando un sistema de placas paralelas, de 60 mm de diámetro (siendo la placa superior de acrílico y estriada) con un espesor de muestra de 1000 µm, las placas paralelas se cubrieron con un aceite mineral para evitar la evaporación del agua durante la prueba. Se realizaron los barridos de amplitud de la deformación en un intervalo de 0.03 a 5%, a una frecuencia constante de 1Hz, y una velocidad de calentamiento-enfriamiento de 2.5°C/min, en un ciclo de calentamiento de 25 a 90°C – cocimiento por 10 min a 90°C (Etapa 1), - enfriamiento de 90°C a 25°C y mediciones a la temperatura final (Etapa 2), para determinar la región viscoelástica lineal (RVL). Los barridos de frecuencia se realizaron en un intervalo de 0.1 a 10 Hz, con una amplitud de la deformación constante de 0.5%, aplicando el mismo procedimiento de calentamiento-en ambas etapas. Se evaluaron en cada etapa los parámetros: módulo de almacenamiento (G') y módulo de pérdida (G").

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

Microscopia electrónica de barrido.
La forma del gránulo así como el tamaño de éste, puede ser observado mediante un microscopio electrónico de barrido, en la Figura 1, se muestran las fotomicrografías de los almidones de maíz, cebada, mango y plátano. El almidón de cebada presentó una distribución bimodal, exhibió gránulos ovoides largos y esféricos pequeños, el almidón de mango presentó forma esférica, mientras que el almidón de plátano presentó forma ovoide. Se realizo una clasificación de los almidones en base al tamaño del gránulo: gránulo grande como es el almidón de plátano que presentó un tamaño entre 10-40 µm, gránulo pequeño como el almidón de mango de 5-10 µm y gránulo muy pequeño, como el almidón de okenia entre 1-3 µm. Se ha reportado que los gránulos muy pequeños pueden absorber una mayor cantidad de agua que los gránulos grandes, debido a la mayor área de contacto que presentan.

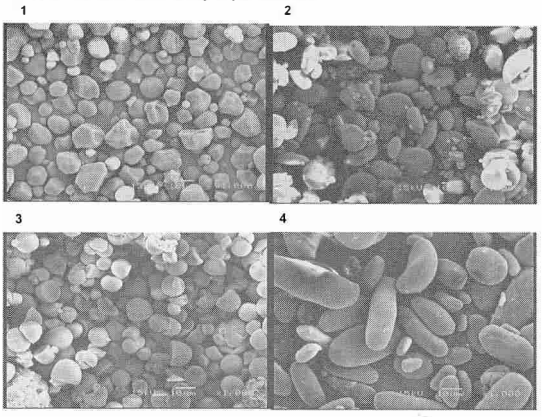


Figura 1. Microscopía electrónica de barrido de los almidones de las diferentes fuentes: 1) maíz; 2) cebada, 3) mango, 4) plátano.

Difracción de rayos-X
Los resultados que se obtuvieron de la técnica de difracción de rayos-X (Figura 2), muestran que los almidones estudiados presentaron un patrón de difracción similar, descrito como patrón tipo A, característico para los cereales; sin embargo en el pico obtenido a 2θ = 27, se aprecia que son un poco más anchos en los de almidón de frutos que en los de cereales, sugiriendo una estructura ligeramente diferente entre ellos.

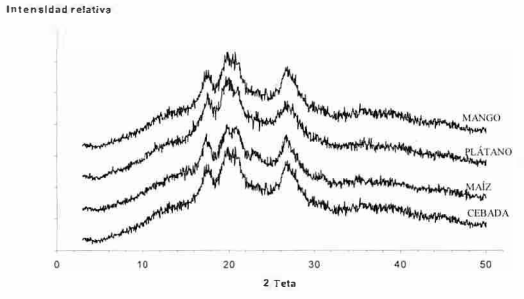


Figura 2. Difractogramas de las muestras de almidón de mango, plátano, maíz y cebada.

Evaluación de viscoelasticidad
Los polisacáridos son materiales viscoelásticos, esto quiere decir que exhiben características sólidas y líquidas simultáneamente, por lo que para poder cuantificar el predominio del carácter elástico (sólido) o viscoso (fluido) de los almidones estudiados en este trabajo, se realizaron las mediciones dinámicas, obteniendo parámetros como el módulo de almacenamiento (G'), y el módulo de pérdida (G") que permite caracterizar el tipo de comportamiento que presenta cada uno de estos almidones.

ya que en esta región, las propiedades reológicas no dependen de la deformación ni del esfuerzo. Para ello se realizaron barridos de deformación con dispersiones al 5% (p/v) de los almidones estudiados, en dos diferentes etapas; a 90°C (Figura 3 mostrando como ejemplo un almidón obtenido de un fruto y uno de cereal), en esta etapa es donde se obtiene el mayor hinchamiento de los gránulos de almidón, y en la etapa 2, las mediciones se realizaron a 25°C (Figura 4), asimismo mostrando un almidón proveniente de un fruto y uno de cereal), es en la etapa en la cual se conforma un gel, lo cual se atribuye al reordenamiento que presenta la amilosa. En las dos etapas se presento un comportamiento similar, el módulo de almacenamiento (G') predomino en todo el barrido al módulo de pérdida (G") en el intervalo de deformación estudiado.

En los almidones estudiados se encontró que con 0.5% de deformación se pudieron realizar los barridos de frecuencia en ambas etapas de medición.

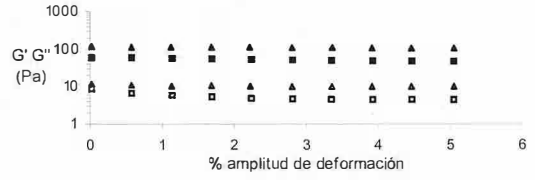


Figura 3. Barrido de amplitud de la deformación del almidón de maíz (■) y almidón de plátano (▲) al 5 % (p/p) durante la primera etapa (90° C) empleando 1 Hz. Símbolos llenos G´; símbolos vacíos G".

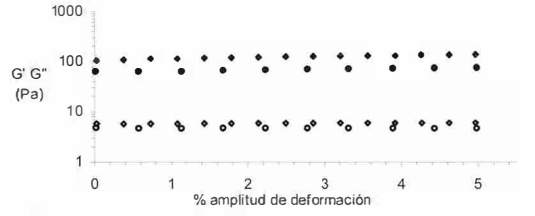


Figura 4. Barrido de amplitud de la deformación del almidón de mango (●) y almidón de cebada (◆), al 5 % (p/p) durante la segunda etapa (25 °C) empleando 1 Hz. Símbolos llenos G´; símbolos vacíos G".

En los almidones estudiados se mostró que predomino el comportamiento elástico, debido a que el módulo de almacenamiento (G') fue mayor que el módulo de pérdida (G"), un factor importante son los componentes del almidón, debido a que se ha reportado que la amilopectina influye en las características de flujo mientras que la amilosa, es el polímero encargado de formar la malla tridimensional; además que la desorganización que sufren los gránulos durante el ciclo de calentamiento-enfriamiento, permite que la pasta muestre un comportamiento predominantemente elástico.

En la Figura 5 se comparan los resultados obtenidos a 90° C, en donde se aprecia que el almidón de plátano presentó el módulo de almacenamiento mayor, no encontrándose diferencias entre los otros almidones analizados. En esta epata, se presenta el mayor hinchamiento de los gránulos, sugiriendo que el almidón del plátano es el que mostró la mayor desorganización.

En la Figura 6 se muestran los resultados dinámicos de los almidones en la conformación de geles (25° C), en la cual se observa que el nivel de reorganización fue ligeramente diferente para cada almidón, debido que el almidón de plátano presentó el valor mayor seguido de los almidones de cebada, mango y el de menor carácter elástico fue el almidón de maíz; con ello indicando que la fuente proporciona diferentes características reológicas, dando con ello diversas propiedades funcionales.

Además se observo que los valores de G´ fueron constantes mientras G" mostró una ligera dependencia en el intervalo de frecuencia estudiado. Confirmando el patrón característico de un gel.

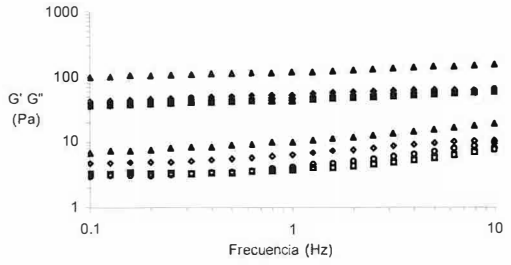


Figura 5. Barrido de frecuencia de los módulos dinámicos del almidón de mango (●), plátano (▲), maíz (■) y cebada (◆) al 5 % (p/p) con 0.5 % de amplitud de la deformación durante la primera etapa (90° C). Símbolos llenos G´; símbolos vacíos G".

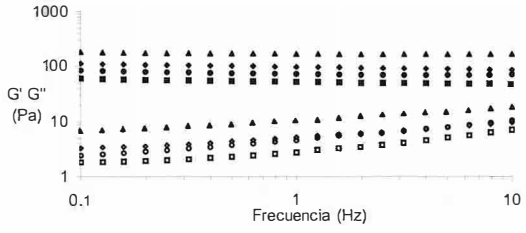


Figura 6. Barrido de frecuencia de los módulos dinámicos del almidón de mango (●), plátano (▲), maíz (■) y cebada (◆) al 5 % (p/p) con 0.5 % de amplitud de la deformación durante la segunda etapa (25° C). Símbolos llenos G´; símbolos vacíos G".

CONCLUSIONES.

La estructura del gránulo del almidón y el arreglo de sus componentes en los diferentes niveles de organización, permiten explicar las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los diferentes almidones. Las diferencias en el comportamiento de los almidones de frutos y cereales se deben a las características que presenta cada uno de ellos; como son el tamaño, la forma y la composición del gránulo que los constituye, sugiriendo así diversas aplicaciones para estas muestras. Asimismo la cantidad de material lixiviado y su naturaleza pueden influir en las propiedades reológicas de los geles de almidón.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la SIP-IPN, COFAA-IPN y EDI-IPN por los apoyos económicos otorgados para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS.

1) Zobel, H.F. (1988). Molecules to granule: a comprehensive starch review. Starch/Stärke. 40:44-50.

2) Atwell, W.A., Hood, L.F., Lineback, B.R., Varriano-Marston, E., Zobel, H.F. (1988). The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. Cereal Foods World. 33:306-311.

3) Borwankar, P.R. (1992). Food Texture and Rheology: A tutorial review. Journal of Food Engineering. 16:1-16.

4) Millán-Testa, C.E., Méndez-Montealvo, M.G., Otthenhof, M.A., Farhat, I.A., Bello-Pérez, L.A. (2005). Determination of the molecular and structural characteristics of okenia, mango and banana starches. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 53:495-501.

5) Sánchez-Hernández, L., Solorza-Feria, J., Méndez-Montealvo, G., Paredes-López, O., Bello-Pérez, L. A. (2002). Isolation and partial characterization of okenia (*Okenia hypogaea*). Starch/Stärke. 54:193-197.

6) Ottenhof, M.A. (2003). A multi-technique study of the retrogradation of concentrated starch systems. PhD Thesis. Division of Food Science. University of Nottingham, UK.

EFECTO DE LA TEMPERATURA Y CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES EN LOS PARÁMETROS REOLÓGICOS DE SOLUCIONES DE CARBOXILMETILCELULOSA CON FRUCTOSA

Corona, Kathia; Godínez, Delfino y Delgado, Virginia.
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
Avenida 1 de Mayo s/n Campo 1, C. P 54740. Cuautitlán Izcalli, Edo de México.
Tel y Fax (5) 6-23-20-26 e-Mail. ydr1881@yahoo.com.mx

Palabras clave: Parámetros reológico, fructosa, carboxilmetilcelulosa, grados Brix, energía de activación.

RESUMEN

En el presente estudio se evalúa la influencia de la temperatura (5, 15, 25, 35, 45, 55 y 65 °C) y la concentración de sólidos solubles, en los parámetros reológicos de soluciones de carboxilmetilcelulosa (0.5, 1.0 %), por separado y en mezcla con fructuosa (40, 60, 80 y 100 %). Los resultados obtenidos mostraron que todas las muestras son independientes del tiempo y el comportamiento al flujo a distintas temperaturas puede describirse mediante los modelos reológicos de Herschel-Bulkley y de la Ley de la potencia. El índice de consistencia y el esfuerzo inicial decrecen con el aumento de la temperatura mientras que el índice de comportamiento al flujo aumenta.
El efecto de la temperatura sobre la viscosidad aparente (evaluada a 100 s^{-1}) esta relacionada con una ecuación tipo Arrhenius. Donde la energía de activación presentó una relación exponencial para las mezclas con 1.0 % de carboxilmetilcelulosa, encontrándose en un intervalo de 9.30 kJ/g mol a 11.79 kJ/g mol. Para las mezclas de 0.5 % de carboxilmetilcelulosa no muestran una clara relación con el contenido de sólidos solubles, encontrándose en un intervalo de 17.51 kJ/g mol a 15.05 kJ/g mol.

INTRODUCCIÓN

En muchas operaciones unitarias de la industria alimentaria, es esencial conocer las propiedades físicas y fisicoquímicas del material bajo tratamiento, de modo que se pueda diseñar y seleccionar el equipo más apropiado para el proceso (Lewis, 1993). En algunas operaciones, se requieren de un conocimiento previo de las propiedades físicas del material inicial y/o durante el proceso para formular modelos matemáticos que representen las condiciones críticas de operación, ya que estas propiedades cambian considerablemente en operaciones que implican transferencia de calor o masa (Crane, 1992; Geankoplis, 1998; Zainal *y col.*, 2000). Asimismo son consideradas para evaluar la calidad del producto final o de las etapas intermedias del proceso (Guerrero y Alzamora, 1992; Zainal, *y col* 2000).
De los diversos alimentos, existen especial interés en determinar las características y propiedades de los productos derivados de frutas. Los alimentos líquidos y semisólidos como zumos, néctares, purés, pulpas y concentrados de frutas, son sistemas bifásicos donde la fase continua es una solución acuosa de ácidos orgánicos, azucares, sales y pectinas solubles y la fase dispersa está compuesta de partículas de diferente forma y volumen procedentes de los tejidos de la fruta (Rao, 1987). Las diferencias químicas y estructurales de estos productos depende de numerosos factores, entre ellos el estado de maduración (Cheftel, 1999). Por lo que la cantidad de los carbohidratos mayoritarios sacarosas, glucosa y fructosa no es la misma de una fruta a otra (Charley, 2000). Debido a estas diferencias, se ha reportado relaciones directas entre la energía de activación y la concentración de sólidos solubles para jugo de manzana clarificado (Constenla *y col.* 1989), jugo de manzana (Cepeda y Villarán, 1999) suspensiones vegetales (Rao, 1987), jugo de uva (Zurtíz, *y col.* 2005), jugo de mango (Dak *y col.* 2007), jugo de zarzamora y mora azul (Nindo, *y col.* 2005). Sin embargo estudios realizados por Zainal, *y col.* (2001) en jugo de guayaba demuestran una relación inversa. Por ello el objetivo de este estudio es establecer la relación existente entre la energía de activación y la concentración de sólidos solubles de soluciones de fructosa y carboxilmetilcelulosa y mezclas de carboxilmetilcelulosa con fructosa como un modelo para productos derivados de frutas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Fructosa 55 (CPIngrediente, S. A. de C. V)
Carboxilmetincelulosa de sodio (Lemerck, S.A de C.V)

Métodos

Se realizaron soluciones porcentaje (peso/peso) de carboxilmetilcelulosa 0.5 y 1.0 % solas y mezclas con fructosa a 40, 60 y 80 %, a las cuales se midieron los grados Brix. Para fructosa 100 % se tomó directamente del envase. Se analizaron a las temperaturas de 5, 15, 25, 35, 45, 55 y 65 °C.
La medición de los grados Brix se realizó en refractómetro ABBE de Erma Tokio No. 16571 marca Milton Roy Company, utilizando la técnica descrita por Lees (1985)

Estudio de flujo bajo cizalla rotacional.

Se realizó en un reómetro de cilindros concéntricos marca Haake modelo RT 20, utilizando la geometría Z20 DIN (53019). Se determinó una curva de flujo de ascenso-descenso (1 a 500 s^{-1}), cada ensayo se efectuó por triplicado con una variación de temperatura de ± 0.5 °C.
El efecto de la temperatura en la viscosidad aparente se determinó utilizando la siguiente relación de Arrhenius:

$$\ln \eta_{ap} = \left(\frac{Ea}{RT}\right) + \ln \eta_{\infty}$$

Al ajustar los valores del ln η_{ap} en función del inverso de la temperatura 1/T se obtienen una línea recta a partir de cuya pendiente es posible obtener el valor de la energía de activación, mientras que de la ordenada al origen se obtiene la constante η_{∞} que es la viscosidad aparente a una temperatura infinita (Chang y Hartel, 1997).

Tabla 1. Grados Brix para las mezclas de CMC y fructosa.

CMC (%)	Fructosa (%)	Grados Brix.
0.5	40	33
0.5	60	42.4
0.5	80	61.3
1.0	40	32
1.0	60	51
1.0	80	64
0	100	75

Todas las muestras presentaron un comportamiento independiente del tiempo la curva de ascenso y descenso coinciden. La fructosa obtenida directamente del envase es un fluido newtoniano (Tabla 2) donde la viscosidad disminuye con el incremento de la temperatura, debido a que el aumento de la temperatura provoca una disminución del grado de interacción entre moléculas, incrementando los espacios entre ellas (Constenla *y col.* 1989).

Para las mezclas de 1.0 % de CMC con fructosa a 64 °Bx y temperaturas de 5, 15 y 25 °C (Tabla 4) el modelo reológico que mejor define a los datos experimentales es Herschel-Bulkley, para el resto de las muestras es de la Ley de la potencia tipo fluidificante (Tabla 3 y 4).

Tabla 2. Parámetros reológicos del modelo de la Ley de la potencia para las soluciones de CMC 0.5, 1.0 % y fructosa 75 °Bx

T (°C)	CMC 0.5 %		CMC 1.0 %		Fructosa 75 °Bx
	k (Pas^n)	n	k (Pas^n)	n	η (Pas)
5	3.94	0.37	26.58	0.23	5.65
15	3.16	0.39	19.94	0.26	1.75
25	2.49	0.41	15.34	0.29	1.18
35	2.01	0.43	11.38	0.32	0.46
45	1.58	0.45	8.65	0.36	0.20
55	1.14	0.49	7.22	0.38	0.11
65	0.85	0.52	5.35	0.41	0.06

La Tabla 2 muestra los parámetros reológicos de CMC a 0.5 y 1.0 % sin la presencia de sacarosa. Observamos que el índice de consistencia (k) decrece con el aumento de la temperatura y aumenta con el incremento de concentración de CMC, mientras que el índice de comportamiento al flujo (n) aumenta con el incremento de la temperatura y disminuye con el aumento de la concentración de CMC. El valor menor a 1 del índice de comportamiento al flujo indica la pseudoplasticidad de la muestra, la cual se cree que es causada por la orientación de las macromoléculas de CMC, las cuales se alinean en la dirección de la fuerza de cizalla (Khalid, *y col.* 1994).

Tabla 3. Parámetros reológicos del modelo de la potencia para las mezclas de CMC 0.5 % y fructosa a 33, 42.4 y 61.3 °Bx.

T (°C)	33 (°Bx)		42.4 (°Bx)		61.3 (°Bx)	
	k (Pas^n)	n	k (Pas^n)	n	k (Pas^n)	n
5	9.07	0.34	15.73	0.33	16.42	0.49
15	7.44	0.35	12.74	0.35	14.25	0.45
25	5.96	0.36	9.83	0.35	12.16	0.43
35	3.17	0.44	7.83	0.37	11.45	0.41
45	2.78	0.44	5.50	0.40	9.01	0.41
55	1.10	0.56	3.83	0.44	7.63	0.42
65	0.61	063	2.40	0.49	5.79	0.44

Los parámetros reológicos de CMC 0.5 % con sacarosa a 33, 42.2 y 61.3 °Bx se presentan en las Tabla 3 y CMC 1.0 % con sacarosa a 32, 51 y 64 °Bx en la Tabla 4. Los valores de los parámetros reológicos dependen de la concentración de sólidos solubles. El índice de consistencia para las mezclas presenta el mismo comportamiento que para las soluciones de CMC solas. Sin embargo el índice de comportamiento al flujo en mezclas con 0.5 % CMC con fructosa a 61.3 °Bx y 1.0 % CMC con fructosa a 51 y 64 °Bx, a temperaturas arriba de 35 °C el efecto es menos importante, mientras que disminuye ligeramente a temperaturas entre 5 y 25 °C. Esto se puede atribuir a que al aumentar la concentración del soluto hay mayor interacción soluto-agua provocando restricción en el movimiento de las moléculas de CMC (Constenla *y col.* 1989).

Tabla 4. Parámetros reológicos del modelo de la Ley de la potencia y Herschel-Bulkley para las mezclas de CMC 1.0 % y fructosa a 32, 51 y 64 °Bx.

T (°C)	32 (°Bx)		51 (°Bx)		64 (°Bx)		
	k (Pas^n)	n	k (Pas^n)	n	k (Pas^n)	n	σ_o (Pa)
5	51.86	0.19	88.86	0.21	19.00	0.56	80
15	49.84	0.19	69.55	0.22	24.30	0.46	73
25	39.30	0.22	61.80	0.21	25.01	0.40	39
35	31.32	0.24	54.16	0.23	51.57	0.28	
45	21.34	0.29	41.09	0.26	36.26	0.32	
55	16.76	0.32	33.66	0.28	33.61	0.32	
65	10.95	0.38	26.43	0.30	29.92	0.32	

La viscosidad aparente para cada muestra se calculo a una velocidad de cizalla de 100 s^{-1} (Figura 1). Observamos que la viscosidad aparente disminuye con el incremento de la temperatura. Para las mezclas de 0.5 % de CMC con fructosa 33, 42.2 y 61.3 °Bx a partir de 25 °C hay una mayor disminución de la viscosidad con la temperatura. Esta tendencia no la presenta las mezclas con 1.0 CMC

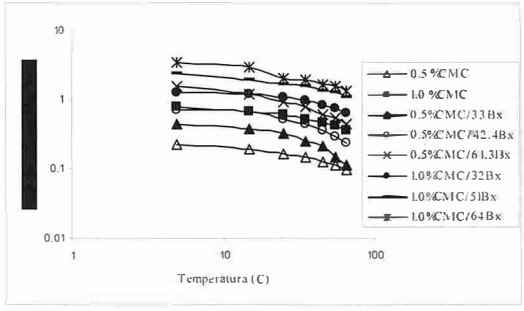


Figura 1. Viscosidad aparente en función de la temperatura para todas las muestras.

Los parámetros del modelo de Arrhenius, energía de activación (Ea), factor de frecuencia (η_∞) y el coeficiente de determinación (r^2) se presenta en la Tabla 5. Los valores del coeficiente de determinación obtenidos demuestran que hay una relación lineal entre el ln η_{ap} (Pas) y 1/T (K).

Tabla 5. Parámetros del modelo de Arrhenius de las mezcla de CMC con fructosa a las diferentes concentraciones de sólidos solubles.

CMC (%)	Fructosa (%)	°Bx	Ea (kJ/g mol)	η_∞ (Pas)	R^2
0.5			10.68	2.16×10^{-3}	0.9951
0.5	40	33	17.51	2.46×10^{-4}	0.9596
	60	42.4	15.05	1.14×10^{-3}	0.9867
	80	61.3	16.05	1.43×10^{-3}	0.9966
1.0			9.66	1.12×10^{-2}	0.9949
1.0	40	32	9.30	2.39×10^{-2}	0.9675
	60	51	9.78	3.28×10^{-2}	0.9865
	80	64	11.79	1.90×10^{-2}	0.9544
0	100	75	58.44	5.57×10^{-11}	0.993

Los valores de la energía de activación son más grandes para las mezclas de 0.5 % CMC con fructosa, por lo que se puede inferir que en estas muestras presentan fuerzas intermoleculares donde las interacciones soluto-agua permiten un movimiento mayor (Constenla *y col.* 1989) que las muestras con 1.0 % CMC con fructosa, originando muchos espacios intermoleculares. Considerando la teoría de viscosidad de la velocidad de reacción de Eyring (Rao, 1984) la cual postula que en sistemas donde hay mayores espacios intermoleculares la

energía de activación tiene valores altos que corresponden a fluidos de baja viscosidad y por lo tanto son mas sensibles a la temperatura.

Las mezclas de fructosa con 0.5 % CMC con fructosa no muestran una clara relación entre la energía de activación con el contenido de sólidos solubles. Asimismo para las mezclas de 1.0 % de CMC con fructosa, la energía de activación aumentan de forma exponencial con la concentración de sólidos solubles (Figura 2). Los valores de la energía de activación obtenidos en este trabajo son más bajos a los obtenidos en jugos de frutas (Rao, 1984; Constenla *y col*. 1989; Cepeda y Villarán, 1999; Nindo, *y col*. 2005). Por lo anterior, la magnitud de la energía de activación es determinada por el intervalo de temperatura y la concentración de sólidos solubles.

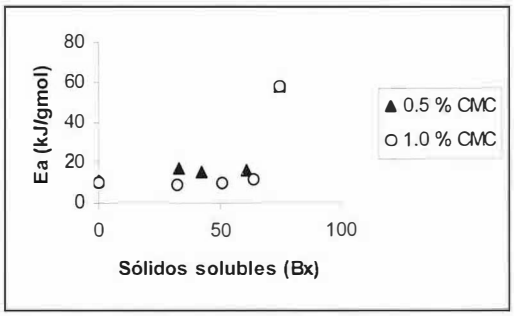


Figura 2. Energía de activación en función de la concentración de sólidos solubles a las concentración de 0.5 y 1.0 % de CMC.

CONCLUSIONES

Todas las muestras presentaron un comportamiento independiente del tiempo. Para las mezclas de CMC con fructosa el comportamiento del índice de consistencia y del índice de comportamiento al flujo depende de la concentración de sólidos solubles.

Para el intervalo de temperaturas estudiado (5, 15, 25, 35, 45, 55 y 65 °C), la energía de activación presentó una relación exponencial para las mezclas con 1.0 % carboxilmetilcelulosa, encontrándose en un intervalo de 9.30 kJ/gmol a 11.79 kJ/gmol. Para las mezclas de 0.5 % carboxilmetilcelulosa no muestran una clara relación con el contenido de sólidos solubles, encontrándose en un intervalo de 17.51 kJ/gmol a 15.05 kJ/gmol.

BIBLIOGRAFÍA

-Cepeda, E., Villarán, M. C. 1999, Density and viscosity of *Malus floribunda* juice as a function of concentration and temperature. J. Food Eng. 41, 103-107.

-Crane Co. 1992. "Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías". Reporte técnico No. 410. Mc Graw Hill /Interamericana. México.

-Dak, M. D.; Verma, R. C., Jaaffrey, S.N.A. (2007). Effect of temperature and concentration on rheological properties of "Kesar" mango juice. J. Food Eng. 80, 1011-1015.

-Geankoplis, C. J. 1998. "Proceso de transporte y operaciones unitarias". 3 ed. Cecsa. México.

-Guerrero, S. N., Alzamora, S. M. 1998. Effect of pH, temperature and glucose addition on flow behaviour of fruit purees: II. Peach, papaya and mango purees. J. Food Eng. 37, 77-101.

-Chang, Yi-H., Hartel, R. W. 1997, Flow properties of freeze-concentrated skim milk. J. Food Eng., 31, 375-386.

-Charley, H. 2000. "Tecnología de alimentos". Limusa. México.767p

-Cheftel, J., Cheftel, H. 1999. "Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos". Acribia. Zaragoza. España. pp: 135-213.

-Constenla, D. T. , Lozano, J. E., Crapiste, G. H. 1989, Thermophysical properties of clarified apple juice as a function of concentration and temperature, J. Food Sci. 4, 663-668.

-Lees, R. 1985, "Análisis de los alimento: métodos analíticos y de contro de calidad". Acribia, España.

-Lewis, M. J. 1993. "Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de proceso". Acribia. España.

-Khalid, A. A., Hosahalli. S. R., Gilles, D., Toupin, C. 1994. Effects of concentration and temperature on carboxymethylcellulose rheology. Int J. of Food Sci and Technol. 29, 243-253.

-Nindo, C. I., Tang, J., Power, J. R., Singh, P. 2005. Viscosity of blueberry and raspberry juice for processing applications. J. Food Eng. 69, 343-350.

-Rao, M. A., Cooley, H. J. and Vitali, A. A. 1984. Flow properties of concentrated juice at low temperatures. Food Technol. 113-119.

-Rao, M. A., 1987. Predicting the flow properties of food suspensions of plant origin. Food Technol. 41, 85-88.

-Zainal, B. S., Abdul Rahman, R. Ariff, A. B. y Saari, B. N., 2000, Effects of temperature on the physical properties of pink guava juice at two different concentation, J. Food Eng., 43, 55-59.

-Zainal, B. S., Abdul Rahman, R. Ariff, A. B. y Saari, B. N., 2001. Thermophysical properties of pink guava juice at 9 and 11 °Brix. J. Food Proc Eng. 24, 87-100.

-Zuritz, C. A. , Muñoz, P. E., Mathey, H. H. Peréz, E. H., Gascón, J. A., Carullo, C.A., Chemikoff, R. E., Cabeza, M. S. 2005. Density, viscosity and coefficient of thermal expansion of clear grape juice at different soluble solid concentration and temperatures. J. Food Eng. 71, 143-149.

COMPORTAMIENTO AL FLUJO DE ZUMO CLARIFICADO DE NARANJA A BAJAS TEMPERATURAS

Ibarz, Raquel ; Falguera, Víctor; Garza, Salvador; Pagán, Jordi y Ibarz, Albert
UNIVERSITAT DE LLEIDA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
Avda. Rovira Roure, 191. E.mail: aibarz@tecal.udl.cat
LLEIDA- ESPAÑA

Palabras clave : reología, zumo naranaja, viscosidad, flujo, congelación

RESUMEN

Se ha estudiado el comportamiento al flujo de zumos clarificados de naranja, a temperaturas de congelación, utilizando un viscosímetro de cilindros concéntricos. Los resultados han indicado que este zumo clarificado y despectinizado se comporta como un fluido newtoniano. A una temperatura de 0ºC se ha estudiado el comportamiento de zumos clarificados de naranja con distinto contenido en sólidos solubles (10 a 50,3 ºBrix), presentando todos ellos comportamiento newtoniano. La variación de la viscosidad con el contenido en sólidos solubles puede describirse mediante una ecuación exponencial.

INTRODUCCIÓN

Los zumos de naranja son de los que mayor demanda tienen por parte del consumidor. Generalmente, estos zumos se comercializan con pulpa en suspensión y con un contenido en sólidos solubles se alrededor de 10-12ºBrix. Sin embargo, para facilitar el transporte y conservación durante el almacenamiento, se obtienen concentrados en forma industrial, y luego se diluyen con agua hasta la concentración requerida.

Las industrias procesadoras de zumos también obtienen zumos clarificados y concentrados, que sirven para preparar mezclas de ellos. Estos zumos clarificados y concentrados pueden ser de diferentes frutas, como manzana, pera, melocotón, naranja, mandarina, entre otros.

Los zumos concentrados se obtienen por extracción o prensado del zumo y posterior clarificación y concentración mediante una etapa de evaporación. Se parte de un zumo de aproximadamente 12ºBrix y se obtiene un producto final de alrededor de 65ºBrix.

En el proceso de elaboración el zumo cambia continuamente de contenido en sólidos solubles y es sometido a diferentes temperaturas, tanto en el procesado como en el almacenamiento. El zumo que se está procesando cambia continuamente sus propiedades, ya que éstas dependen de la concentración y la temperatura, que sufren cambios continuos.

Es necesario conocer la relación de la viscosidad y de la densidad con la temperatura y la concentración, ya que el conocimiento de estos parámetros va a ser de esencial importancia en la manipulación, cálculo y diseño de todas aquellas operaciones unitarias en las que interviene durante su procesado, sobre todo en las que se basan en la transmisión de calor y transporte de cantidad de movimiento. Por otra parte, la viscosidad influye también en la aceptación del producto por parte de los consumidores.

La concentración de estos zumos clarificados suele hacerse de forma convencional en una etapa de eliminación de agua por evaporación. Sin embargo, este proceso afecta negativamente a la calidad sensorial y nutritiva del zumo. Existen pérdidas de nutrientes y aparecen reacciones de pardeamiento no enzimático, que deterioran el producto final. Por ello, se están buscando alternativas a esta etapa de concentración, de tal forma que no sean tan agresivas con el producto. De esta forma, se han estudiado operaciones de ósmosis inversa y crioconcentración. La primera de ellas tiene una limitación importante debido a las altas presiones que deben aplicarse, y por ello sólo se logran concentraciones de hasta unos 25ºBrix.

La crioconcentración es otra de las operaciones que pueden utilizarse en la concentración de este tipo de alimentos fluidos. Es una tecnología que está en fase de estudio, y tiene perspectivas muy prometedoras. Uno de los crioconcentradores utilizados es el de láminas planas, en el que el alimento fluido desciende en forma de capa sobre una lámina fría, a temperaturas de congelación. Esto hace que se forme una capa de hielo sobre la superficie de la lámina, y se obtenga una corriente de fluido más concentrada. Este concentrado se recircula y se hace descender de nuevo sobre la lámina, repitiendo el proceso de recirculación, hasta alcanzar concentraciones que hasta el momento están alrededor de 30ºBrix. Una de las limitaciones de esta tecnología es que los zumos, a medida que se concentran aumenta su viscosidad, y la impulsión a través de la lámina es cada vez más dificultosa. Para un buen diseño del equipo es necesario conocer la viscosidad de las muestras que se deslizan sobre las láminas. En el caso de zumos de frutas este conocimiento es limitado, ya que la mayoría de información existente en la bibliografía se refiere a zumos a temperaturas que suelen estar comprendidas entre 5 y 80ºC.

El comportamiento reológico de los zumos y derivados de frutas depende del tipo de zumo. Los zumos clarificados y despectinizados se comportan como fluidos newtonianos, mientras que los clarificados, pero con pectinas presentan un comportamiento pseudoplástico. Los cremogenados y purés son derivados de frutas que han sido triturados y homogeneizados en su tamaño de partículas, pero que conservan su fibra y pectinas, y ello hace que su comportamiento difiera de los otros tipos de zumos. En general, este último tipo de derivados se comportan como fluidos de Herschel-Bulkley, en los que la presencia de fibra les da el carácter plástico y las pectinas el carácter de fluido de la potencia.

El comportamiento de zumos de naranja ha sido estudiado ampliamente (Mizrahi y Berk, 1970, 1972; Mizrahi y Firstenberg, 1975; Crandall et al., 1982; Vitali y Rao, 1984a,b; Ibarz et al 1994). Dependiendo del contenido en pulpa y pectinas, se han aplicado diversos modelos para describir el comportamiento al flujo de estos zumos.

El objetivo del presente trabajo es determinar el comportamiento reológico de zumos clarificados y despectinizados de naranja, con diferente contenido en sólidos solubles, a temperaturas justo antes de su punto de congelación. Asimismo, a 0ºC se estudia el comportamiento al flujo de zumos con diferente contenido en sólidos solubles, con el fin de obtener una expresión que permita describir el efecto de dicho contenido.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

El estudio fue realizado sobre muestras de zumo de naranja clarificado y concentrado a 65,8ºBrix, que fueron proporcionadas por una industria procesadora de zumos de la provincia de Lleida (España). Este zumo concentrado

comercial ha sido obtenido en un proceso industrial que consta de diferentes etapas: despectinización, eliminación de pulpa en suspensión, y finalmente concentrado mediante evaporación. A partir de este zumo concentrado se han obtenido, mediante dilución con agua destilada, muestras de 50,5; 40,1; 29,8; 20 y 10 ºBrix. Estas muestras son las que han servido para realizar el posterior estudio de comportamiento al flujo.

Métodos

Contenido en sólidos solubles

Se ha utilizado un refractómetro Atago RX-1000. La concentración se expresa en ºBrix.

pH

Se utiliza un pH-metro Crisol 2000. El zumo de naranja presenta un valor del pH de 3,88.

Acidez

La acidez se determinó por titulación con solución NaOH 0,1 N, utilizando fenolftaleína como indicador. La acidez del concentrado fue de 0,67 equivalentes de ácido/g de zumo concentrado.

Medidas reológicas

Las medidas reológicas se llevaron a cabo utilizando un reómetro Haake RS-80 RheoStress, equipado con un equipo de medición de cilindros concéntricos, de radio del rotor 200m, radio de la copa 21,7 mm, altura 60mm, relación de radios 1,0847. Para el control de temperatura se utilizó un baño Thermo Haake C25 P, utilizando agua glicolada al 50% como fluido refrigerante, que permite fijar la temperatura con un intervalo de variación de ± 0,2ºC.

Con el fin de evaluar el posible comportamiento tixorópico de las muestras, fueron cizalladas a una velocidad constante del rotor (100 s-1), y se observó la variación del esfuerzo cortante acoplado con el tiempo de cizalla.

Para la obtención del comportamiento al flujo, las muestras se cizallaban previamente a una velocidad de 200 s-1, durante 3 minutos. Posteriormente se realizaba una rampa de crecimiento y otra de descenso de la velocidad de deformación. Con los datos obtenidos con el reómetro permiten construir el pertinente reograma, a partir del cual es posible obtener el comportamiento al flujo de las muestras.

Análisis de datos

Los datos experimentales obtenidos fueron tratados mediante el software StatGraphics Plus v. 5.1 (Statistical Graphics Corp.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento al flujo

Como se ha indicado, las muestras fueron cizalladas a la temperatura más baja que admitían sin congelación, a una velocidad constante de rotación, y se observó que el valor del esfuerzo cortante no variaba con el tiempo de cizallamiento. Por tanto, esto indica que las muestras no presentaban tixotropía.

A continuación se construyeron los reogramas para las diferentes muestras, con distinto contenido en sólidos solubles (en el intervalo de 10 a 50,3ºBrix) a distintas temperaturas, lo más bajas posible antes de que congelaran. En la Figura 1 se muestran los reogramas obtenidos para las diferentes muestras ensayadas. La evolución del esfuerzo cortante con la velocidad de deformación se describe mediante la ecuación de Newton de la viscosidad:

$$\sigma = \eta \cdot \gamma \qquad (1)$$

en la que σ es el esfuerzo cortante, γ la velocidad de deformación y η la viscosidad.

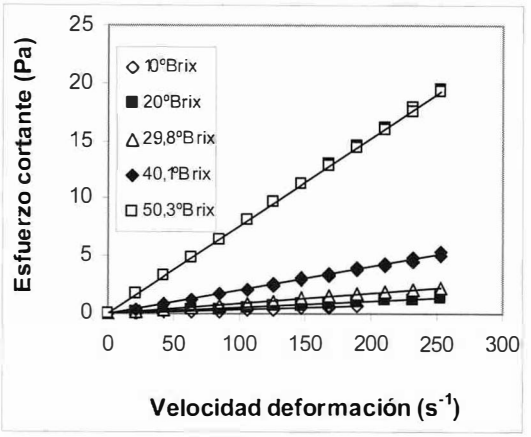


Figura 1. Reogramas de zumos clarificados de naranja, para diferentes contenidos en .sólidos y bajas temperaturas

Los datos experimentales se han ajustado a esta ecuación, obteniendo que tanto el ajuste como los estimados de las parámetros han resultado significativos a un nivel de probabilidad del 95%. En la Tabla 1 se muestran los valores de la viscosidad de las muestras para las diferentes temperaturas ensayadas.

Tabla 1. Viscosidad de zumos clarificados de naranja a bajas temperaturas y distintos contenidos en sólidos solubles

C (ºBrix)	*T* (ºC)	Viscosidad (mPa·s)	R^2
10	0	3,7	0,9826
20	-3	5,7	0,9958
29,8	-3	9,1	0,9991
40,1	-6	20,5	0,9980
50,3	-9	76,3	0,9990

Se observa que a medida que aumenta el contenido en sólidos solubles se ha podido realizar la medición a una temperatura más baja sin que se congelase la muestra. Cabe destacar que el aumento de viscosidad es mucho más pronunciado para las muestras con mayor contenido en sólidos solubles, y además, debido a que la temperatura de medición es mucho menor.

Como las temperaturas de trabajo son diferentes para cada muestra no se puede realizar una comparación entre ellas. Por ello, se ha fijado una temperatura de 0ºC, y se han obtenido los reogramas de los zumos clarificados de naranja con los mismos contenidos en sólidos soluble. En la Figura 2 se muestran los reogramas que se han obtenido en la serie experimental realizada. Al igual que en el caso anterior, los datos experimentales se han ajustado a la ecuación de Newton de la viscosidad mediante regresión lineal, obteniendo que tanto el ajuste como los estimados de los parámetros han resultado significativos a un nivel de probabilidad del 95%. En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos en el ajuste.

En esta tabla se observa que, tal como era de esperar la viscosidad aumenta con el contenido en sólidos solubles. Además, para las muestras más concentradas este incremento es mucho más pronunciado. Si se comparan los valores de esta tabla con los dados en la Tabla 1, se observa que para concentraciones bajas (de 20 y 29,8 ºBrix) los valores de la viscosidad aumentan ligeramente con la temperatura. Sin embargo, en el caso de la muestra de 50,3ºBrix el rebajar la temperatura de 0ºC a -9ºC supone un incremento de la viscosidad de más del 90%, es decir, prácticamente se duplica el valor de la viscosidad de las muestras.

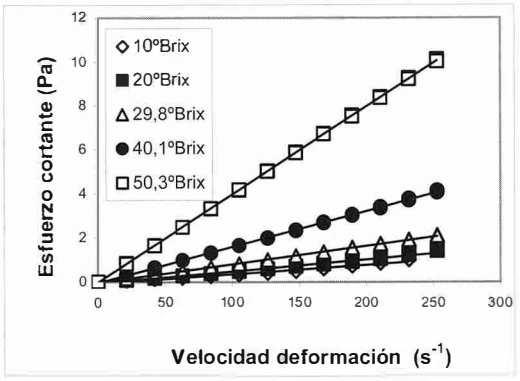


Figura 2. Reogramas de zumos clarificados de naranja, a 0°C, para diferentes contenidos en sólidos.

Tabla 2. Viscosidad de zumos clarificados de naranja con diferente contenido en sólidos solubles, a 0°C.

C (°Brix)	*T* (°C)	Viscosidad (mPa·s)	R^2
10	0	3,7	0,9826
20	0	5,4	0,9903
29,8	0	8,4	0,9990
40,1	0	16,3	0,9993
50,3	0	39,9	0,9999

Se observa claramente que la viscosidad presenta un aumento pronunciado para concentraciones más elevadas en sólidos solubles. Con el fin de cuantificar el efecto de la concentración, sobre la viscosidad se han ensayado diferentes ecuaciones. En la Figura 3 se muestra esta variación, y se observa que existe una variación más pronunciada a medida que se incrementa la concentración.

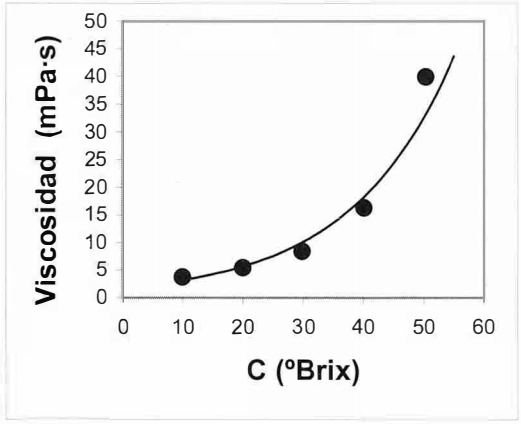


Figura 3. Efecto de la concentración sobre la viscosidad de zumos clarificados de naranja a 0°C.

De la variación observada en la Figura 3 se desprende que la viscosidad depende del contenido en sólidos solubles según un modelo exponencial. De hecho, se ha encontrado que la ecuación que mejor describe esta variación es de tipo exponencial. Por ello, los datos de la Tabla 2 se han ajustado a este tipo de ecuación obteniendo:

$$\eta = 1{,}77 \exp(0{,}0583 \cdot C) \qquad (2)$$

con un coeficiente $R^2 = 0{,}9701$, en la que la viscosidad (η) se expresa en mPa·s y la concentración C en °Brix.

Tanto el ajuste como los estimados de los parámetros han resultado significativos a un nivel de probabilidad del 95%.

Cabe destacar que si en la ecuación 2 se sustituye la concentración por cero, en el que la muestra sería agua, se obtiene un valor de 1,77 mPa·s. En la bibliografía (Ibarz y Barbosa-Cánovas, 2005) se encuentra que para agua a 0°C, el valor de la viscosidad es de 1,79 mPa·s. Por tanto, el valor obtenido en la ecuación anterior es concordante con el real para el agua a esta temperatura.

CONCLUSIONES

La viscosidad de las muestras de zumos clarificados de naranja a temperaturas cercanas al punto de congelación muestra un gran incremento con el contenido en sólidos solubles.

Para una misma muestra, la disminución de temperatura hace que el incremento de viscosidad sea más pronunciado para las muestras con un mayor contenido en sólidos solubles.

A 0°C se observa que la variación de viscosidad con el contenido en sólidos solubles puede describirse mediante un modelo exponenical.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

-Crandall,P.G., Chen, C.S. y Carter, R.D. (1982). Models for predicting viscosity of orange juice. Food Technology, 36: 245-252.

-Ibarz, A. González, C. y Esplugas, S. (1994). Rheology of clarified fruit juices. III: Orange juices. Journal of Food Engineering, 21: 485-494

-Ibarz, A. y Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). "Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos". Ed, Mundiprensa, Madrid, España. p: 861

-Mizrahi, S. y Berk, Z. (1970). Flow behaviour of concentrated orange juice. Journal of Texture Studies, 1: 342-355

-Mizrahi, S. y Berk, Z. (1972). Flow behaviour of concentrated orange juice: Mathematical treatment. Journal of Texture Studies, 3: 69-79

-Mizrahi, S. y Firstenberg, R. (1975). Effect of orange juice composition on flow behaviour of six-fold concentrate. Journal of Texture Studies, 6: 523-532

-Vitali, A.A. y Rao, M.A. (1984a). Flow properties of low-pulp concentrated orange juice: Serum viscositi and effect of pulp content. Journal of Food Science, 49: 876-881

-Vitali, A.A. y Rao, M.A. (1984a). Flow properties of low-pulp concentrated orange juice: Effect on temperature and concentration. Journal of Food Science, 49: 882-888

COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DEL PURÉ CONCENTRADO DE MELOCOTÓN DE 21°BRIX

Massa, Alberto[1]; González, Carmen[1]; Maestro, Alicia[1]; Labanda, Jordi[1] y Ibarz, Albert[2]
[1]Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Barcelona, Martí i Franquès 1, 08028. BARCELONA - ESPAÑA
[2]Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad de Lleida, Avd. Rovira Roure, 25198. E.mail: aibarz@tecal.udl.cat LLEIDA - ESPAÑA

Palabras clave: reología, puré concentrado, tixotropía, viscoelasticidad, Herschel-Bulkley.

RESUMEN

Se han determinado las propiedades reológicas del concentrado de melocotón de 21° Brix mediante un reómetro Haake RS 150. El comportamiento tixotrópico se ha cuantificado a 5°C ajustando los parámetros experimentales a la ecuación de Figoni-Shoemaker. La variación del esfuerzo de cizalla con el tiempo a diferentes velocidades de cizalla se ha ajustado mediante una cinética de primer orden. El comportamiento pseudoplástico se ha representado significativamente por el modelo de Herschel- Bulkley en el intervalo entre 5 y 55°C. El esfuerzo umbral apenas varía con la temperatura así como el índice de comportamiento al flujo excepto a 55°C. Se ha observado que el índice de consistencia y la viscosidad aparente disminuyen con el aumento de temperatura. Ajustando dichos datos a la ecuación de Arrhenius se obtiene un valor de E_A:8,7 kJ.mol^{-1}.
El concentrado de melocotón estudiado presenta comportamiento viscoelástico en el intervalo de temperaturas de 5 a 65°C, predominando el carácter elástico sobre el viscoso, aunque el carácter viscoso aumenta con el incremento de temperatura.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las propiedades reológicas de los alimentos es muy útil tanto en el diseño de procesos como en la predicción de la estabilidad de los mismos. El comportamiento reológico de los zumos y derivados de frutas depende del tipo de zumo. Los zumos clarificados y despectinizados se comportan como fluidos newtonianos, mientras que los clarificados, pero con pectinas, presentan un comportamiento pseudoplástico (Saravacos, 1970). Los cremogenados y purés son derivados de frutas que han sido triturados y homogeneizados en su tamaño de partículas, pero que conservan su fibra y pectinas, y ello hace que su comportamiento difiera de los otros tipos de zumos. En general, los concentrados se comportan como fluidos de Herschel-Bulkley (Maceiras et al, 2007), en los que la presencia de fibra les da el carácter plástico y las pectinas el carácter de fluido de la potencia.

El objetivo de este trabajo ha sido el estudio del comportamiento reológico del puré concentrado de melocotón de 21°Brix, tanto en reposo como en movimiento. Para ello, se han realizado experimentos de viscoeslasticidad lineal y de tixotropía.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Las muestras fueron suministradas por una industria ubicada en la provincia de Lleida (España). En la elaboración de estas muestras, las frutas se lavaron y seleccionaron previamente a su etapa de trituración. Posteriormente se homogeneizó el triturado hasta un tamaño de partícula de 4,5 µm, se concentró en un evaporador de dos efectos hasta un contenido final en sólidos solubles de 21 °Brix, y finalmente se envasó en aséptico, almacenando las muestras bajo congelación a -18°C hasta su utilización.

Métodos

Contenido en sólidos solubles

Se determinaron utilizando un refractómetro digital Atago RX-1000. Los resultados se expresan en grados Brix, que es el contenido en sólidos solubles en 100 gramos de zumo. El contenido en sólidos solubles de la muestra de puré concentrado de melocotón es de 21 °Brix.

pH

El pH se mide a 20°C utilizando un pH-metro Crison MicropH 2001. El valor del pH para la muestra de puré concentrado de melocotón fue de 3,81.

Acidez

La acidez total se determina mediante una valoración potenciométrica con hidróxido sódico 1N hasta alcanzar un pH de 8,1, utilizando fenolftaleína como indicador. La acidez de la muestra del puré concentrado de melocotón se expresa en 1,01 equivalentes de ácido/100 mL de muestra.

Pulpa

El contenido en pulpa se ha determinado según el método de la IFFJP (1984), mediante centrifugación a 6000 rpm, utilizando una centrífuga Selecta. El resultado se expresa en porcentaje de pulpa. La muestra del derivado de melocotón rediluido a 11,6 °Brix posee un contenido en pulpa del 44 %

Índice de formol

La determinación del índice de formol se realiza siguiendo las normas de la International Federation of Fruit Juice Producers (IFFJP, 1984). Este índice es una medida del contenido en aminoácidos del zumo.
El procedimiento oficial consiste en tomar una muestra de aproximadamente 25 mL del zumo, neutralizarlos con NaOH 1N hasta un pH de 8.1. A la muestra neutralizada se le añaden 10 mL de una solución de formaldehído, alcalinizada previamente hasta un pH de 8.1 y con una concentración del 35%. Después de aproximadamente un minuto se valora potenciométricamente con NaOH 1N hasta pH de 8,1. El valor del índice de formol del puré concentrado de melocotón es de 22,38 mL de NaOH 0,1N/100 mL de muestra.

Índice Bostwick

La muestra de concentrado se rediluía a 11,6°Brix, y se media la distancia en cm que alcanzaba al cabo de 1 hora, con un dispositivo Bostwick (Labo Scientifica. Italia). Para la muestra rediluida a 11,6°Brix el valor del índice de Bostwick fue de 14 cm/h.

Medidas reológicas

Las mediciones reológicas de las diferentes muestras se llevaron a cabo con un reómetro Haake RS 150 de esfuerzo controlado. Este reómetro permite realizar ensayos oscilatorios y ensayos de flujo a diferentes gradientes de velocidad, $\dot{\gamma}$. Tixotropía y comportamiento al flujo se realizaron utilizando un sensor placa-placa rugoso (para evitar problemas de deslizamiento) de 35 mm de diámetro con una separación de 1 mm. En este caso el control de temperatura se realizó con controlador TC 501 con una desviación menor de ± 0,2°C.

Las medidas de tixotropía se realizaron mediante el ensayo de saltos, aplicando a cada muestra un gradiente de velocidad constante entre 5 y 250 s^{-1} durante un periodo de tiempo. En cambio, los ensayos de comportamiento al flujo se realizaron en el intervalo de gradientes de 0,01 a 200 s^{-1}.
Un sensor de doble cilindro Z40 DIN con un radio interior cilindro de 20,0 mm y un radio exterior del cilindro de 21,70 mm se utilizó en las mediciones de viscoelasticidad.
La temperatura se controló mediante un baño Haake TC 81 a una desviación menor de ± 1°C. Previamente se comprobó para cada temperatura el esfuerzo en el tramo lineal del intervalo viscoelástico determinando un esfuerzo de 1Pa. Mediante ensayos preliminares se comprobó que un tiempo de relajación de 300 s era suficiente para obtener resultados reproducibles en todos los ensayos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos para los estudios de tixotropía, comportamiento al flujo y viscoelasticidad del puré concentrado de melocotón

Tixotropía

La Figura 1 muestra el esfuerzo de cizalla en función del gradiente de velocidad. Se observa existencia de tixotropía del puré concentrado a 25°C ya que las dos curvas no se superponen (Lozano e Ibarz, 1994). Así, los valores de esfuerzo en la rampa de subida durante un tiempo de 600 s son mayores que los de bajada en el mismo tiempo.

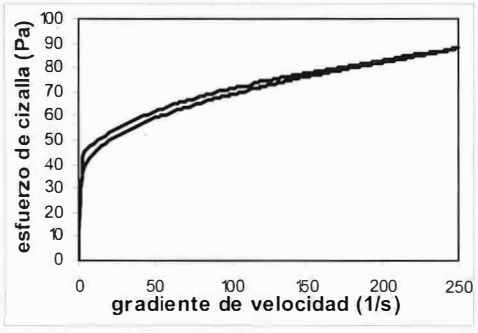


Figura 1. Tixotropía de puré concentrado de melocotón

Debido a que la muestra presentaba tixotropía se pasó a cuantificarla (Shoemaker y Figoni, 1984), para ello se estudió la variación del esfuerzo de cizalla para diferentes gradientes de velocidad (5, 30, 120 y 250 s^{-1}). En la Figura 2, se muestran los resultados obtenidos al representar el esfuerzo de cizalla en función del tiempo a 5°C.

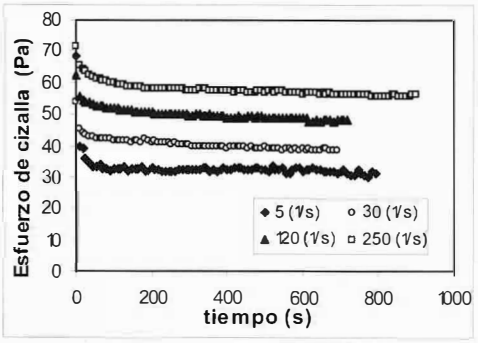


Figura 2. Esfuerzo de cizalla en función del tiempo a diferentes gradientes de velocidad del puré concentrado de melocotón de 21°Brix a 5°C

Con el fin de cuantificar el carácter tixotrópico de las muestras, los resultados experimentales mostrados en la Figura 2 se han ajustado a la ecuación de Figoni-Shoemaker (Ibarz y Lozano,1992), mediante el programa "Statgraphics". La Tabla 1 muestra los valores de los parámetros de esta ecuación que mejor describen la tendencia de los valores experimentales con un nivel de probabilidad del 95%.
Se observa un incremento en el esfuerzo de equilibrio al aumentar el gradiente de velocidad. La diferencia entre el esfuerzo a tiempo cero (σ_i) y el esfuerzo a tiempos elevados cuando se alcanza el equilibrio (σ_e), es una medida de la estructura destruida, observándose que aumenta con el gradiente de velocidad aplicado. En cuanto a la constante cinética de destrucción de estructura su tendencia es a disminuir con el aumento del gradiente de velocidad, lo que indica que a gradientes bajos se alcanzaría antes el equilibrio, lo que puede ser debido a que a los gradientes de velocidad más elevados se destruye mayor estructura y por ello se tarda más tiempo en destruirla.

Tabla 1.- Parámetros de la ecuación de Figoni-Shoemaker $\sigma=\sigma_e+(\sigma_i-\sigma_e)\exp(-kt)$ para el puré concentrado de melocotón de 21°Brix a 5°C.

$\dot{\gamma}$ (s^{-1})	σ_e (Pa)	$\sigma_i - \sigma_e$ (Pa)	k (s^{-1})	R^2
5	47,67	10,0	0,104	0,970
30	63,04	7,9	0,072	0,937
120	94,3	15,6	0,049	0,957
250	104,8	20,7	0,045	0,956

Comportamiento al flujo

Se ha analizado el comportamiento al flujo del puré concentrado de melocotón a diferentes temperaturas (de 5°C a 55°C). En la Figura 3 se muestran los reogramas correspondientes a las diferentes temperaturas ensayadas.

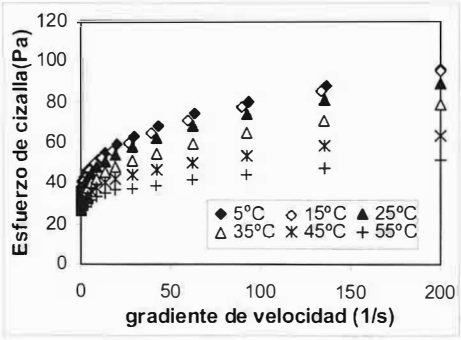


Figura 3. Comportamiento al flujo de puré concentrado de melocotón

Los datos experimentales mostrados en la Figura 3 se ajustan a la ecuación de Herschel-Bulkley mediante una regresión no lineal. En la Tabla 2 se recogen los resultados de este ajuste con un nivel de probabilidad del 95%.
Se observa que el esfuerzo umbral (σ_0) apenas se ve afectado por la temperatura, a excepción de la temperatura más elevada. La tendencia general es que el índice de consistencia disminuye con el aumento de temperatura, y por el contrario el índice de comportamiento al flujo presenta poca variación (Toralles et al, 2006). Al igual que ocurre con el esfuerzo umbral e índice de consistencia, el índice de comportamiento al flujo varía más a 55°C. Con el fin de obtener una mejor tendencia en el efecto de la temperatura sobre las características al flujo de este tipo de producto, se ha calculado la viscosidad aparente a una velocidad de deformación de 100 s^{-1}, observándose que existe una tendencia clara a disminuir con el aumento de temperatura.

Tabla 2.- Parámetros del comportamiento al flujo para el puré concentrado de melocotón de 21°Brix a 5°C Modelo Herschel-Bulkley $\sigma=\sigma_0+K\cdot\gamma^n$.

T (°C)	σ_0 (Pa)	K (Pa·s^n)	n	η_{ap} (Pa·s)	R^2
5	25,0	14,0	0,307	0,826	0,997
15	26,6	10,7	0,351	0,805	0,999
25	24,0	8,1	0,359	0,663	0,999
35	24,0	8,2	0,359	0,668	0,999
45	25,4	5,39	0,380	0,559	0,997
55	20,0	7,0	0,280	0,454	0,997

Con el fin de evaluar el efecto de la temperatura sobre el comportamiento al flujo de este tipo de fluido, se han ajustado los datos de viscosidad aparente con la temperatura, dados en la Tabla 2, a la ecuación de Arrhenius. Esto permite obtener una energía de activación de 8,7 kJ·mol^{-1}.

Viscoelasticidad

Debido a que el puré concentrado de melocotón en su proceso de obtención no ha sido clarificado, es de suponer que pueda presentar comportamiento viscoelástico. Por ello, se ha realizado un barrido de frecuencia ("Frequency sweep"), a diferentes temperaturas, con el fin de obtener los correspondientes valores de los módulos de almacenamiento (*G'*) y de pérdidas (*G''*) (Ma y Barbosa-Cánovas, 1995). En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos. Se puede apreciar que para todas las temperaturas de 5 y 65°C el valor del módulo de almacenamiento es superior al de pérdidas, lo que indica que en este producto predomina su carácter elástico sobre el viscoso.

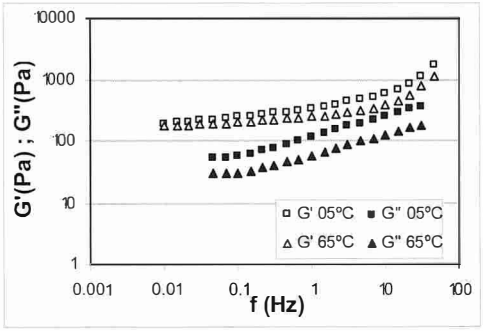


Figura 4. Comportamiento viscoelástico del puré concentrado de melocotón

Con el fin de poder correlacionar los resultados a las diferentes temperaturas, en la Tabla 3 se muestran los valores de los dos módulos y de tg δ, para un valor de la frecuencia de 1 Hz.

Tabla 3.- Efecto de la temperatura sobre las propiedades viscoelásticas de un concentrado de melocotón de 21°Brix a frecuencia 1 Hz

T (°C)	G' (Pa)	G" (Pa)	tg δ
5	338,5	111,8	0,33
15	328,2	110,8	0,34
25	297,4	91,91	0,31
35	262,2	78,55	0,3
45	220,6	60,3	0,28
55	247	63,37	0,26
65	246	58,24	0,24

Se constata que el módulo de almacenamiento es superior al de pérdidas, lo que indica que en este concentrado melocotón predomina su carácter elástico sobre el viscoso. La tendencia de los tres parámetros estudiados (*G'*, *G''* y tg δ) es de disminuir a medida que aumenta la temperatura. La disminución en el valor de tg δ confirma que el carácter viscoso va aumentando con el aumento de de temperatura, y por ello, su carácter elástico tendrá menos importancia.

En la Fig. 5 se representan las propiedades viscoelásticas en función de la rampa de temperaturas para el concentrado a un esfuerzo de 1 Pa y una frecuencia de 1 Hz. Se observa que el módulo de almacenamiento presenta una ligera disminución con el aumento de temperatura, mientras que para el de pérdidas esta disminución es más pronunciada. Ello indica que a altas temperaturas el carácter viscoso aumenta, corroborando lo que se había observado en los datos recogidos en la Tabla 3.

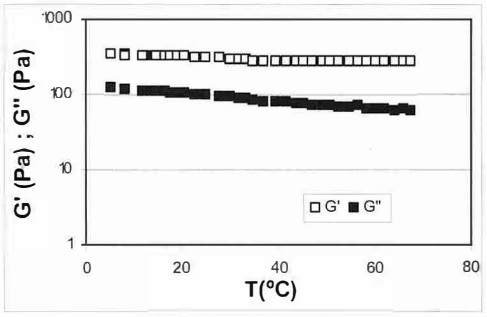


Figura 5. Evolución de los módulos G' y G'' con la temperatura

CONCLUSIONES

Las propiedades reológicas del concentrado de melocotón de 21° Brix se han ajustado significativamente a los modelos matemáticos elegidos.

Se ha cuantificado el carácter tixotrópico a 5°C ajustando los parámetros experimentales a la ecuación de Figoni-Shoemaker. El comportamiento al flujo se ha estudiado para el rango de temperaturas entre 5 y 55°C, ajustando los resultados a la ecuación de Herschel-Bulkley. El esfuerzo umbral apenas varía con la temperatura así como el índice de comportamiento al flujo excepto a 55°C. La viscosidad aparente disminuye claramente con el aumento de temperatura.

La viscoelasticidad estudiada entre 5 y 65°C confirma un predominio del carácter elástico sobre el viscoso. A altas temperaturas se constata un incremento del carácter viscoso

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

-Lozano J.E. y Ibarz A. (1994). Thixotropic behaviour of concentrated fruit pulps. Lebensmittel Wiss. und Tech., 27(1): 16-18.

-Ma L. y Barbosa-Cánovas G.V. (1995). Rheological characterization of mayonnaise. Part II: Flow and viscoelastic properties at different oil and xanthan gum concentrations. Journal Food Engineering, 25: 409-425.

-Maceiras R., Alvarez E. y Cancela M.A. (2007). Rheological properties of furit purees:effect of cooking. Journal of Food Engineering, 80: 763-769

-Saravacos G.D. (1970)."Effect of temperature on viscosity of fruit juices and purees". Journal Food Science, 35: 122-125.

-Shoemaker, C.F. y Figoni, P.I. 1984. "Time- dependent rheological behaviour of foods". Food Technology, 38: 110-112 .

-Toralles R.P., Vendruscolo J.L. y Vendruscolo C.T. 2006 Rheology of homogenized peach puree:Effect of temperature and concentration.Braz. J. Food Technol., 9(1): 1-8.

FILTRACIÓN TANGENCIAL DE EXTRACTO DE NOPAL

***Carlos Orozco Alvarez, Denise Ramírez Villagomez y Leobardo Ordaz Contreras**
Departamento de Bioingeniería. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. IPN.
Av. Acueducto S/N. Col. Barrio La laguna Ticomán. G. A. Madero. México, D.F.
Fax: 57 29 60 00 ext. 56305. e-mail: tepoztlan61@yahoo.com.mx

Palabras clave: ultrafiltración, mucílago, nopal

RESUMEN

Para los estudios de ultrafiltración se trabajó con un cartucho de 100 kDa, que tiene un área de 0.042 m^2, y es del tipo fibras huecas. Se empleó un factor de concentración de diez (1.0 litro de mucílago clarificado se concentra hasta alcanzar un volumen final de 0.1 L) y la experimentación fue enfocada para encontrar las condiciones que maximizaran el flux y estas fueron: presión transmembrana: 140 kPa; velocidad de alimentación: 0.8 m/s; temperatura: 40 °C; y pH de 5. El flux promedio alcanzado bajo estas condiciones fue de $7x10^{-6}$ m/s. Se determinaron las constantes reológicas del mucílago de nopal antes y después de la ultrafiltración. El mucílago inicial tiene una concentración de polisacárido de 3.5 g/L y presenta valores promedio de (n) y (K) de 0.77 y 10 mPa.s^n, respectivamente. El valor de (n) del mucílago concentrado no varía, mientras que (K) puede incrementarse de 50 a 100 veces.

INTRODUCCIÓN

El mucílago de nopal contiene un biopolímero especial que tiene la habilidad para modificar las propiedades funcionales como la viscosidad, elasticidad, gelificante, espesante y retención de agua, por lo que se le emplea en la elaboración de diversos productos: shampoo, enjuagues, crema para manos y cuerpo, jabón, acondicionador, mascarilla humectante, crema de noche, gel para el cabello, gel reductor, gel para la ducha, loción astringente, mascarilla estimulante y limpiadora, jabones, pomada y cosméticos. El polisacárido es utilizado en forma de un polvo seco en la formulación de todos estos productos y se obtiene de la precipitación del mucílago de nopal usando acetona como solvente, el precipitado así obtenido es luego filtrado para la eliminación del solvente, posteriormente secado al vacío y finalmente se muele para estandarizar el tamaño de partícula. Este trabajo estudia la posibilidad de eliminar el paso de precipitación, ó reducción de la cantidad de disolvente utilizado, sustituyéndolo por la ultrafiltración y al final un secado por aspersión. La ultrafiltración es una de las operaciones recomendadas para la concentración de macromoléculas biológicas como los polisacáridos. De tal forma que uno de los objetivos de este trabajo es encontrar las mejores condiciones de operación que maximicen el flujo de permeado durante la ultrafiltración del mucílago de nopal.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la figura 1, se presenta un esquema del equipo donde se realizarán los estudios de ultrafiltración.

La solución es recirculada por la bomba peristáltica de velocidad variable, el flujo de alimentación se mide con un rotámetro (calibrado con cada tipo de fluido) y el filtrado se mide experimentalmente con probeta y cronómetro. El volumen de solución a usar será de 200 a 300 ml. Se empleará un cartucho de ultrafiltración tipo fibras huecas con las siguientes características: material: polisulfona; área: 0.042 m^2; diámetro interno (d_h): 0.001 m; longitud (L): 0.27 m; número de fibras (N): 50; corte molecular: 100 kDa. El tanque empleará un agitador magnético trabajando a baja velocidad.

Se trabajará un factor de concentración de diez: un volumen de un litro será reducido a 0.1 litros.

Se trabajarán presiones transmembrana (ptm) de 0 a 210 kPa. La presión transmembrana se determina así: $ptm = [(P_1+P_2)0.5] - P_p$

(P_1 y P_2, presiones de entrada y salida del cartucho; P_p, presión del filtrado).

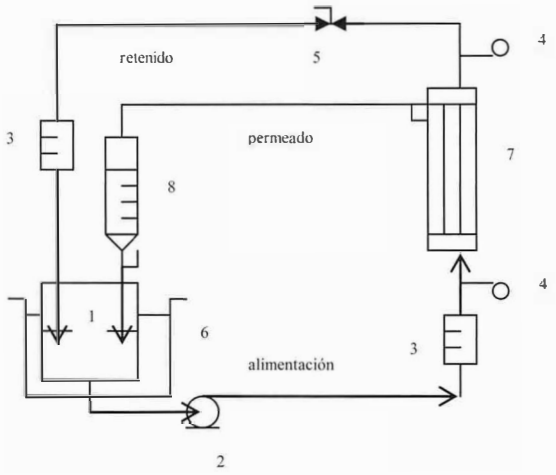


Figura 1. Equipo de ultrafiltración. (1) tanque de alimentación, (2) bomba peristáltica, (3) rotámetro, (4) manómetro, (5) válvula de contra presión, (6) termostato, (7) módulo de fibra hueca y (8) probeta.

Se trabajarán flujos de alimentación de 0 a 2 litros por minuto (Lpm). Se trabajarán temperaturas de 20 a 40 °C. Se trabajarán valores de pH de 3 a 8. Para el mucílago de nopal las constantes reológicas (n y K) serán determinadas a 25 °C con un viscosímetro Haake modelo RV20 (empleando un intervalo de velocidad de corte de 1 a 100 s^{-1}). El estudio reológico se efectuará al principio y al final de la operación de ultrafiltración.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la ultrafiltración del mucílago de nopal se realizó toda una serie de pruebas para encontrar las mejores condiciones de presión transmembranal, flujo de alimentación, temperatura y pH, en los que se obtuvieran los valores más altos del flux de permeado. Para tal efecto se partió de mucílago clarificado, el cual se obtuvo a partir de la molienda de nopal fresco y el extracto obtenido se clarificó en una centrífuga de tazón tubular.

Efecto de la presión transmembrana

En la figura 2 se puede observar fácilmente que el flux se reduce drásticamente a medida que se va concentrando el mucílago de nopal; la mayor reducción ocurre en el intervalo de concentración de 1 a 5, de aquí en adelante el flux permanece prácticamente constante. También se observa que el incremento de presión provoca un aumento del flux, sin embargo los valores del flux son casi los mismos cuando la presión de trabajo se encuentra entre 140 y 210 kPa, es decir, que a presiones arriba de 140 kPa ya no es posible incrementar el flux del permeado. Esto último explica la literatura que se debe a la "consolidación" de la capa de gel de soluto retenido en la superficie de la membrana que impide el aumento del flux a pesar de que la presión se siga incrementando.

Al término de la ultrafiltración para cada una de las presiones probadas se tomó una muestra del mucílago así concentrado para realizarle una "corrida reológica" para la determinación de sus constantes reológicas.

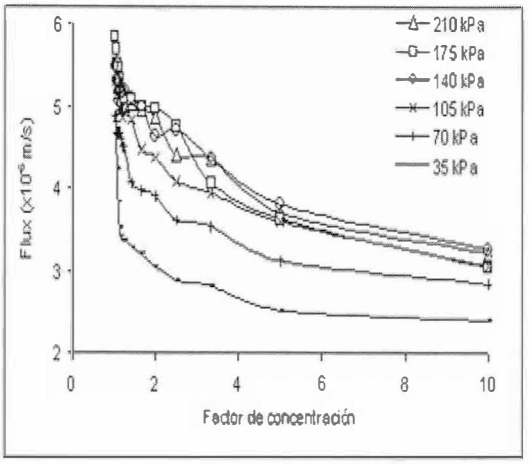


Figura 2. Efecto de la presión transmembrana

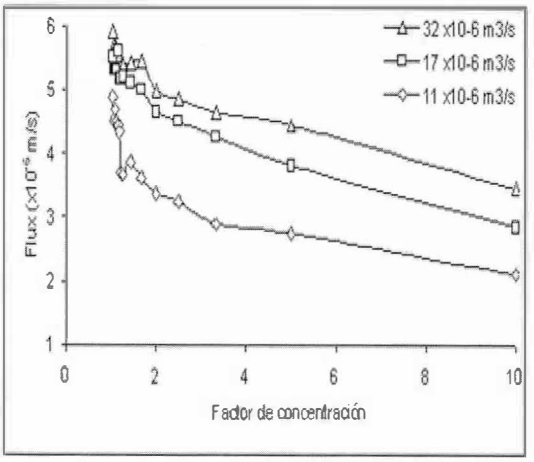


Figura 3. Efecto del flujo de alimentación

Conjuntando los resultados "reológicos" del mucílago clarificado antes y después de la ultrafiltración en el cuadro 1 podemos analizar lo siguiente.

El valor de (n) es prácticamente el mismo en el primer bloque de experimentos antes y después de la ultrafiltración, mientras que la viscosidad se incrementa entre 80 y 200 veces al final de la ultrafiltración como reflejo de la concentración del polisacárido presente en el mucílago. El incremento de viscosidad era esperado puesto que el polisacárido fue concentrado, y como producto de esto se esperaba que el valor de (n) fuera de un valor menor al obtenido (0.81 a 0.83) ya que una mayor concentración de la molécula provoca una disminución del índice de comportamiento (L. Medina-Torres et al., 2000).

Cuadro 1. Constantes reológicas antes y después de la ultrafiltración. Efecto de la presión

Mucílago clarificado (7.2 g/L)		Mucílago concentrado 10 veces por ultrafiltración		
n	K (mPa.s^n)	Presión (kPa)	n	K (mPa.s^n)
0.84	6	210	0.90	443
		175	0.83	1141
		140	0.81	498
0.81	7	105	0.74	1285
		70	0.76	1023
		35	0.75	1004

Una posible explicación de por qué el valor de (n) no disminuye con el aumento de la concentración del polisacárido, es debido al esfuerzo de corte al cual es sometido el fluido en los canales de ultrafiltración provocando cambios en su arreglo macromolecular que provoquen que la pseudoplasticidad del fluido no cambie a pesar de que el polisacárido sí se esté concentrando.

Los resultados del segundo bloque se pueden explicar como se acaba de hacer arriba: la viscosidad se incrementa hasta 180 veces y el valor de (n) del mucílago concentrado es apenas menor que el del mucílago clarificado.

Efecto del flujo de alimentación

Cuando se estudió el efecto del flujo de alimentación en la ultrafiltración del mucílago de nopal se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 3, donde se puede observar claramente que el aumento del flujo de alimentación incrementa el flux de filtrado. La bibliografía reporta que este comportamiento es debido al aumento de la transferencia de masa del polisacárido retenido y de regreso al seno de la alimentación provocando así la elevación del flux de la membrana, este aumento de la transferencia se debe al aumento de la velocidad del fluido en la superficie de la membrana causando con esto un mejor desempeño del cartucho de ultrafiltración.

Al final de esta serie de experimentos se determinó la reología del mucílago concentrado para saber el efecto que había tenido la operación de ultrafiltración sobre las propiedades de flujo del polisacárido y los resultados se presentan en en el cuadro 2, donde se conjuntan las constantes reológicas del mucílago antes y después de la ultrafiltración, de donde puede considerarse que el valor de (n) no varía con la operación y el valor de (K) se aumenta hasta en 35 veces. La elevación de la viscosidad era esperada porque el polisacárido se está concentrando por ultrafiltración, y como producto de esto se esperaba que el valor de (n) del mucílago concentrado fuera menor que el del mucílago clarificado. Esto último no ocurre, como ya fue mencionado en anteriores párrafos, debido a que la ultrafiltración provoca al fluido un esfuerzo de corte tal que no permite la disminución del valor de (n) aunque el polisacárido se esté concentrando. En otras palabras, y de forma global, el esfuerzo de corte en la ultrafiltración contrarresta el aumento de la pseudoplasticidad del fluido ya que ésta tendería a elevarse por incremento en la concentración del polisacárido.

Cuadro 2. Constantes reológicas antes y después de la ultrafiltración. Efecto del flujo de alimentación

Mucílago clarificado (3.9 g/L)	Mucílago concentrado 10 veces por ultrafiltración		
	Flujo de alimentación (Lpm)	n	K (mPa.s^n)
n = 0.78	1.890	0.76	96
K = 13 mPa.s^n	1.278	0.73	446
	0.643	0.78	161

Por último, cabe hacer notar que los valores de (K) son mucho más bajos que los obtenidos en el cuadro 2, ahí el valor promedio de *K* es de 1000 mPa.s^n y 7.2 g/L de polisacárido, porque aquí la concentración de polisacárido en el mucílago clarificado es de solo 3.9 g/L

Efecto de la temperatura

Finalmente se estudió el efecto de la temperatura en la ultrafiltración de mucílago de nopal obteniéndose los resultados resumidos en la figura 4. La temperatura tiene un efecto directo en el flux de permeado y a una temperatura de 40 °C se obtienen los mayores valores de flux. La literatura explica que al aumentar la temperatura se incrementa la transferencia de materiales de regreso al seno de la corriente de alimentación, es decir, disminuye la acumulación de polisacárido en la superficie de la membrana originando un mayor flux del cartucho.

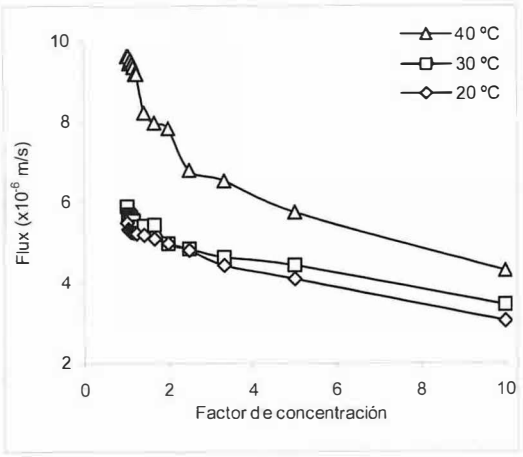


Figura 4. Efecto de la temperatura

Como ya se ha venido explicando, al final de la ultrafiltración se determinaron las constantes reológicas del mucílago concentrado y los resultados se muestran en el cuadro 3. A mayor temperatura es mayor el flux de filtrado y por lo tanto menor el tiempo para la ultrafiltración, así, el mucílago estará sometido al esfuerzo de corte durante un menor tiempo y por lo tanto su viscosidad será menos afectada; a menor temperatura el fenómeno se invierte.

Sin embargo, el valor de (n) es prácticamente el mismo antes y después de la ultrafiltración indicándonos que el esfuerzo de corte durante la operación no permite la reducción del índice de comportamiento, porque éste tendería a disminuir con el aumento de la concentración del polisacárido a medida que se va ultrafiltrando.

Cuadro 3. Constantes reológicas antes y después de la ultrafiltración. Efecto de la Temperatura

Mucílago clarificado (3.2 g/L)	Mucilago concentrado 10 veces por ultrafiltración		
	Temperatura (°C)	n	K (mPa.s^n)
	40	0.80	152
n = 0.76	30	0.76	96
K = 15 mPa.s^n	20	0.76	76

Efecto del pH

Una vez que se encontraron las condiciones de presión transmembranal, flujo de alimentación y temperatura para la ultrafiltración de mucílago de nopal, se procedió a investigar el efecto del pH. Los resultados se encuentran resumidos en la figura 5, donde se observa que el flux de permeado se va reduciendo a medida que el pH se va aumentando hasta un valor de 8. Se observó que el mucílago de nopal se insolubiliza a valores de pH de 3 y 4, provocándose una sedimentación ó aglomeración del mismo, y al quedar fuera de la solución las moléculas de polisacárido, permiten un mayor paso de solvente a través de la membrana aumentando con esto el flux de permeado.

En el cuadro 4, se presentan los resultados reológicos del mucílago al final de la ultrafiltración. Es difícil encontrar una tendencia, ó lógica, de estos resultados pero parece que pudieran explicarse de la misma forma como ya se hizo con el efecto de la temperatura. A saber, a mayor pH se obtiene un menor flux y como consecuencia se necesita un mayor tiempo para la ultrafiltración, con esto el fluido es sometido durante un mayor tiempo al esfuerzo de corte propio de la operación lo que finalmente se verá reflejado en menores valores de viscosidad; esto parece suceder en el intervalo de valores de pH de 4 a 7. 2. En el caso de los valores del índice de consistencia es prácticamente el mismo antes y después de la ultrafiltración y sólo en el intervalo de pH de 3 a 6.

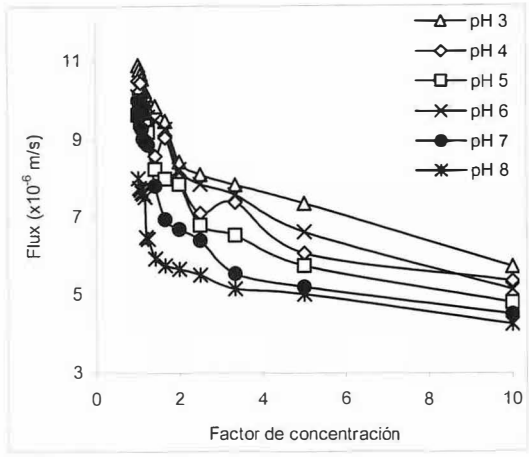


Figura 5. Efecto del pH

Cuando el pH es de 7 y 8 el valor de (n) aumenta ligeramente, sugiriendo estos resultados que valores altos de pH en conjunto con el esfuerzo de corte de la ultrafiltración modifican en mayor medida las propiedades de flujo del mucílago concentrado haciéndolo tender hacia una menor pseudoplasticidad y también menor viscosidad.

Cuadro 4. Constantes reológicas antes y después de la ultrafiltración. Efecto del pH

Mucílago clarificado (3.1 g/L)	Mucílago concentrado 10 veces por ultrafiltración		
	pH	n	K (mPa.s^n)
	3	0.79	81
n = 0.76	4	0.76	172
K = 15 mPa.s^n	5	0.79	155
	6	0.75	161
	7	0.89	96
	8	0.84	210

CONCLUSIONES

Las condiciones que maximizaron el flux de la ultrafiltración fueron las siguientes: presión transmembrana: 140 kPa; velocidad de alimentación: 0.8 m/s; temperatura: 40 °C; y pH de 5. El flux promedio alcanzado bajo estas condiciones fue de $7x10^{-6}$ m/s. La ultrafiltración concentra el polisacárido presente en el mucílago incrementando su viscosidad de 15 a 20 veces con respecto al mucílago inicial (K = 10 mPa.s^n), sin embargo el esfuerzo de corte provoca que el grado de pseudoplasticidad sea prácticamente el mismo antes y después de la operación (n = 0.76).

AGRADECIMIENTO.

Este proyecto fue financiado por SIP-IPN.

BIBLIOGRAFÍA

1. Charcosset, C. and Choplin, L.(1996). Ultrafiltration of non-newtonian fluids. *J. Membrane Sci.*, 115, 147-160.

2. Lo, Y.M., Yang, S.T. and Min, D.B. (1997). Ultrafiltration of Xanthan Gum Fermentation Broth: Process and Economic Analyses. *Journal of Food Engineering*, 31, 219-236.

3. Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sánchez, B. and Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*, 14, 417-424.

4. Paris, J., Guichardon, P., and Charbit, F.(2002). Transport phenomena in ultrafiltration: a new two-dimensional model compared with classical models. *J. Membrane Sci.*. 207, 43-58.

5. Yeh, H.M., Wu, H.P. and Dong, J.F. (2003). Effects of design and operating parameters on the declination of permeate flux for membrane ultrafiltration along hollow-fiber modules. *J. Membrane Sci*, 213, 33-44.

EXTRACTO DE NOPAL: REOLOGÍA Y SECADO POR ASPERSIÓN

Carlos Orozco Alvarez, Cristina Díaz Sánchez y Jorge Yánez Fernández.
Departamento de Bioingeniería. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. IPN. Av. Acueducto S/N. Col. Barrio La laguna Ticomán. G. A. Madero. México, D. F. Fax: 57 29 60 00 ext. 56305. e-mail: tepoztlan61@yahoo.com.mx

Palabras clave: secado, aspersión, mucílago, nopal, reología

RESUMEN

Para el secado por aspersión del mucílago de nopal, previamente concentrado por ultrafiltración, se probaron diferentes condiciones de operación. Se encontraron los siguientes intervalos a través de los cuales se logra un secado exitoso donde los polvos obtenidos presentaron una humedad de 3 a 5 %: temperatura del aire de secado: 120 a 170 °C; flujo de alimentación del aire de secado: 7 m^3/h; presión de atomización: 50 psi; flujo de alimentación de mucílago concentrado: 0 a 0.1 L/h. Finalmente, los polvos así obtenidos fueron resuspendidos a una concentración de 10 g/L y se determinaron sus propiedades reológicas. El valor promedio de (n) fue de 0.6 y (K) proporcionó un valor promedio de 25 $mPa.s^n$. El polvo de mucílago de nopal así obtenido puede ser adecuado para su aplicación en las áreas alimentaria y farmacéutica.

INTRODUCCIÓN

El contenido nutricional del nopal comprende minerales como el calcio, hierro, aluminio y magnesio, sulfatos y fosfato, potasio, sílice, sodio, manganeso, carbohidratos, componentes nitrogenados además de vitaminas A, B1, B2 y C. La abundante fibra soluble del nopal contribuye al buen funcionamiento del intestino y asimila grasas, colesterol, glucosa y sustancias biliares, cumpliendo un papel en la prevención y tratamiento de desórdenes gastrointestinales, obesidad, enfermedad coronaria, diabetes y cáncer al colon. El consumo del nopal puede ser fresco o deshidratado en polvo, cápsulas, tabletas, trosciscos, te. "Sus propiedades medicinales" se deben al mucílago, pectina o "baba", que es un polisacárido complejo compuesto por arabinosa y xilosa, principalmente.

El mucílago de nopal contiene un biopolímero especial que tiene la habilidad para modificar las propiedades funcionales como la viscosidad, elasticidad, gelificante, espesante y retención de agua, por lo que se le emplea en la elaboración de diversos productos: shampoo, enjuagues, crema para manos y cuerpo, jabón, acondicionador, mascarilla humectante, crema de noche, gel para el cabello, gel reductor, gel para la ducha, loción astringente, mascarilla estimulante y limpiadora, jabones, pomada y cosméticos.

El polisacárido es utilizado en forma de un polvo seco en la formulación de todos estos productos y se obtiene de la precipitación del mucílago de nopal usando acetona como solvente, el precipitado así obtenido es luego filtrado para la eliminación del solvente, posteriormente secado al vacío y finalmente se muele para estandarizar el tamaño de partícula. En este trabajo se propone una metodología diferente para eliminar el paso de precipitación, consistiendo de una ultrafiltración y al final un secado por aspersión.

La operación de secado por aspersión se está proponiendo como parte del procedimiento para la obtención de mucílago de nopal en polvo y a este último se le determinarán sus propiedades reológicas en suspensión. Cuando un producto líquido se desea comercializar en forma de un polvo seco, generalmente, la operación recomendada es el secado por aspersión porque en un solo paso el fluido es convertido instantáneamente en un polvo seco que se envasa directamente para su comercialización. Así, el objetivo de este proyecto es encontrar aquellas condiciones de operación a través de las cuales se logre un secado exitoso del mucílago de nopal.

Un producto seco presenta largos periodos de anaquel en buen estado porque no sufre deterioro por ataque microbiano ó por oxidación enzimática debido precisamente al bajísimo contenido de humedad. Otras ventajas importantes son la enorme reducción de espacio para almacenamiento y una considerable disminución en los costos de empaque, embarque y transporte.

MATERIALES Y MÉTODOS

El mucílago es obtenido por molienda, en extractor casero, de piezas de nopal fresco (*Opuntia ficus indica)* y después se clarifica en una centrífuga de discos (20,000 rpm y flujo de 0.2 L/min). El mucílago clarificado se concentra por ultrafiltración en cartuchos de 100 y 10 kDa bajo las siguientes condiciones: presión de 140 kPa, flujo de 2 L/min, temperatura 30 °C y pH de 5.0.

El mucílago concentrado se seca por aspersión bajo diferentes condiciones y el polvo seco obtenido se resuspende en agua destilada a una concentración de 10 g/L. Las propiedades reológicas del polvo resuspendido se determinaron a 25 °C con un viscosímetro Haake modelo RV20 (empleando un intervalo de velocidad de corte de 1 a 100 s^{-1}).

En la figura 1, se presenta un esquema del equipo donde se realizarán los estudios de secado por aspersión, donde se trabajarán temperaturas de secado de 100 a 200 °C, flujos de aire para el secado de 1 a 7 m^3/h, flujos de alimentación del producto a secar de 0 a 0.1 L/h, y presiones de atomización de 0 a 50 lb/in^2.

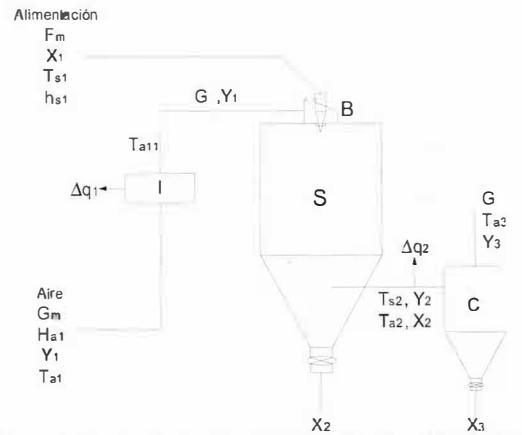
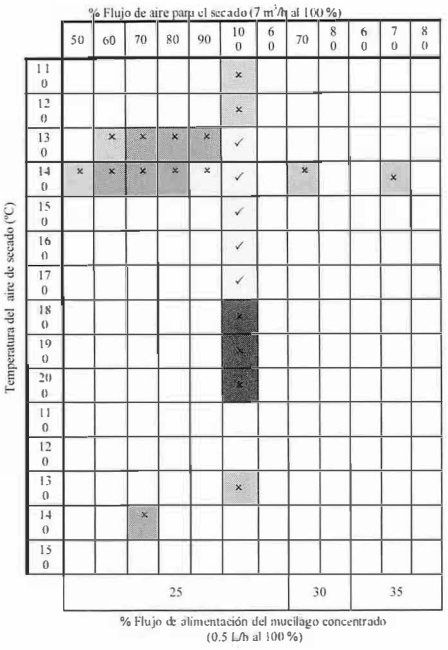


Figura 1. Equipo de secado por aspersión. (G_m y T_{a1}) flujo y temperatura del aire de secado, (F_m y T_{s1}) flujo y temperatura del producto a secar, (S) cámara de secado, (B) boquilla de atomización, (C) ciclón separador de polvos, (X_2 y X_3) producto seco grueso y fino.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el secado por aspersión se realizó una serie de pruebas para encontrar las condiciones de flujo de aire para el secado, presión de atomización, temperatura del aire de secado y flujo de alimentación de mucílago. En el cuadro 1 se puede observar los resultados de las diferentes condiciones probadas para secar el mucílago concentrado y de donde obtenemos que para lograr un secado exitoso se debe efectuar bajo las siguientes condiciones: flujo de aire para el secado: 7 m^3/h; presión de atomización: 50 psi; 0.125 L/h flujo de alimentación del mucílago; y temperatura del aire de secado en el intervalo de 130-170 °C.

Cuadro 1. Matriz de condiciones de operación para el secado por aspersión



× El mucílago se carameliza y se pega en la cámara

✓ El mucílago se seca bien

× El mucílago se pega en la cámara

× Las gotas se secan sobre la pared

× El mucílago no se secó

Haciendo un análisis de las variables de operación para el secado en el sentido de saber cuáles serían las que provocaran una alteración importante en la reología del polvo resuspendido, se consideró que tanto el flujo de aire para el secado como el flujo de alimentación del mucílago son los que menos podrían afectar las propiedades reológicas por el bajo ó nulo esfuerzo de corte que producen, ya que el aire sólo se emplea para secar la nube de aspersión y la alimentación del mucílago se lleva a cabo a flujos muy pequeños. La presión de atomización sí produce un esfuerzo de corte considerable pero el tiempo de exposición es de fracción de segundo porque la formación de la nube y su secado es instantáneo. Así, la temperatura del aire con que se seca el mucílago sí podría modificar sus propiedades puesto que es un material biológico, como ya fue observado en la experimentación donde a 180 °C el polvo tomó un color oscuro indicando deterioro del material.

Por lo tanto la temperatura sería variada para saber su efecto en la reología del polvo resuspendido, los resultados se presentan en la figura 2 donde se puede observar una tendencia idéntica a ambas temperaturas de secado.
A partir de la figura anterior se determinaron los valores de las constantes reológicas de los polvos resuspendidos y se muestran en el cuadro 2, los valores son prácticamente los mismos, indicándonos con esto que el secado llevado a cabo a 130 ó 170 °C no afecta la reología del producto seco.

Cuadro 2. Constantes reológicas del polvo resuspendido a 10 g/L: Mucílago concentrado por UF 10 y secado a diferentes temperaturas

Temperatura del aire de secado	n	K (mPa.s^n)
170 C	0.59	26
130 C	0.61	25

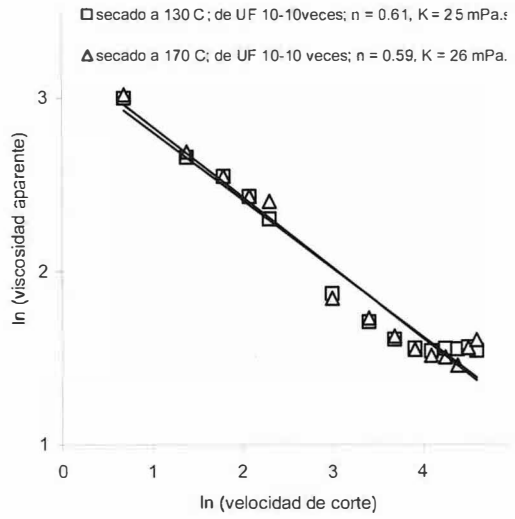


Figura 2. Determinación de las constantes reológicas del polvo resuspendido: Mucílago concentrado por UF 10 y secado a diferentes temperaturas.

La siguiente serie de experimentos se llevarían a cabo a una temperatura del aire de secado de 130 °C y bajo las mismas condiciones de operación ya encontradas al inicio de este apartado: presión de atomización de 50 psi, flujo de alimentación del mucílago de 0.125 L/h, y flujo de aire para el secado de 7 m^3/h.

Se deseaba saber si el grado de concentración alcanzado en la ultrafiltración del mucílago afectaría finalmente la reología del polvo resuspendido, los resultados se indican en la figura 3, de donde se puede observar que la tendencia es muy parecida para los polvos obtenidos.

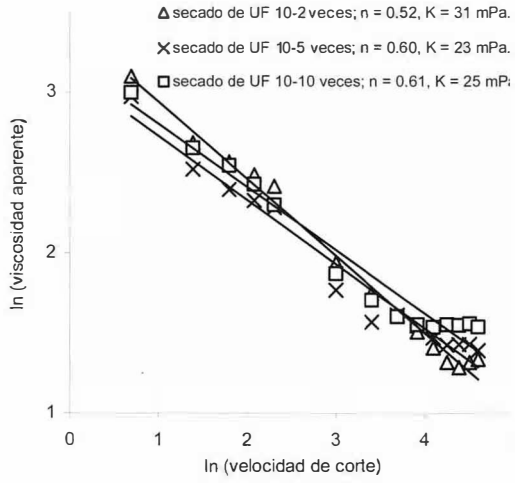


Figura 3. Determinación de las constantes reológicas del polvo resuspendido: Mucílago concentrado por UF 10.

En el cuadro 3, se presentan los valores obtenidos de las constantes reológicas: a mayor grado de concentración en la ultrafiltración menor es la viscosidad del polvo resuspendido, esto se debe a que es mayor el tiempo de la operación entre más veces se concentra y por lo tanto hay mayor tiempo de exposición al esfuerzo de corte. También a mayor nivel de concentración alcanzado en la ultrafiltración aumenta el valor de (n) por lo que el fluido tiende a reducir su comportamiento pseudoplástico.

Cuadro 3. Constantes reológicas del polvo resuspendido a 10 g/L : Mucílago concentrado por UF 10

	n	K (mPa.s^n)
Concentrado 2 veces	0.52	31
Concentrado 5 veces	0.60	23
Concentrado 10 veces	0.61	25

Finalmente, se probó un cartucho de ultrafiltración de 100 kDa para la concentración del mucílago el cual también puede retener completamente el polisacárido pero comparado con el de 10 kDa ocuparía un menor tiempo de operación. Los resultados se presentan en la figura 4 a partir de la cual se pueden determinar las constantes reológicas del polvo resuspendido que a su vez se reportan en el cuadro 4.

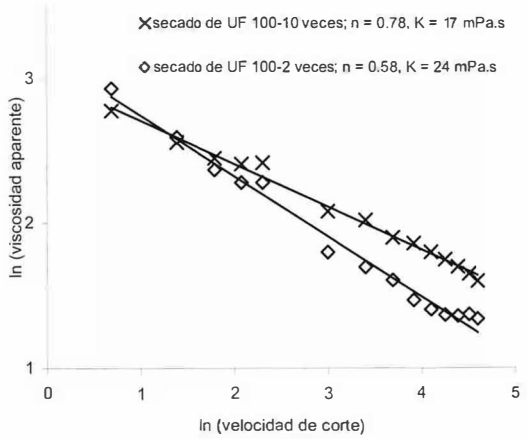


Figura 4. Determinación de las constantes reológicas del polvo resuspendido: Mucílago concentrado por UF 100.

Los resultados muestran la tendencia ya discutida y explicada anteriormente, a saber, a mayor nivel de concentración se reduce la viscosidad (K), mientras que el índice de comportamiento (n) se eleva disminuyendo su pseudoplasticidad. Comparados estos resultados con los reportados en el cuadro 3, se puede observar que no hay una diferencia marcada ya sea que se utilice el cartucho de 100 ó de 10 kDa, indicando esto que la reducción del tiempo de operación de la ultrafiltración con el cartucho de 100 kDa no es significativa.

Cuadro 4. Constantes reológicas del polvo resuspendido a 10 g/L: Mucílago concentrado por UF 100

	n	K (mPa.s^n)
Concentrado 2 veces	0.58	24
Concentrado 10 veces	0.78	17

CONCLUSIONES

Se encontraron las condiciones de operación para el secado exitoso del mucílago concentrado de nopal. Se encontró que la temperatura de secado no afecta la reología del polvo resuspendido pudiendo obtener un secado adecuado en un intervalo de temperatura de 130 a 170 °C.

La reología del polvo resuspendido de mucílago de nopal no se afecta significativamente por el grado de concentración alcanzado en la operación de ultrafiltración, es decir, el secado por aspersión no incrementa el deterioro del mucílago puesto que sus constantes reológicas son muy parecidas independientemente del nivel de concentración en la ultrafiltración.

AGRADECIMIENTOS.

Proyecto financiado por la SIP-IPN

BIBLIOGRAFÍA

Grajales, G. Roman (1996), "Reconstrucción de un secador por aspersión y desarrollo de un modelo matemático para la predicción de condiciones de secado", Tesis, ENCB, IPN, México.

Gutiérrez, F. Gustavo (1984), "Memorias del curso sobre Deshidratación de alimentos", XV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Atam.

Masters, K. (1972), "Spry Drying" Leonard Hill Books London and Intertext Publisher.

Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sánchez, B. and Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food Hydrocolloids*, 14, 417-424.

PRODUCCIÓN DE AGUA DE ALTA PUREZA

***Carlos Orozco Álvarez, Silvia Méndez Cárcamo y Sergio García Salas**
Departamento de Bioingeniería. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. IPN.
Av. Acueducto S/N. Col. Barrio La laguna Ticomán. G. A. Madero. México, D.F.
Fax: 57 29 60 00 ext. 56305. e-mail: tepoztlan61@yahoo.com.mx

Palabras clave: ósmosis inversa, conductividad, agua ultrapura

RESUMEN

Se trabajó con un equipo de ósmosis inversa el cual utiliza una membrana de poliamida con un área de filtración de 6.5 m^2 y está arreglada en espiral con un paso entre membranas de 0.8 $x10^{-3}$ m. La operación fue en la modalidad de lote y a una temperatura de 25 a 30 °C.

Se probaron presiones de trabajo de 0 a 2000 kPa, flujos de alimentación de 100 a 2000 L/h y concentraciones de NaCl de 0.5 a 30 g/L, para saber el efecto que tienen estas variables sobre el flux de filtrado. Cuando se trabaja con agua potable (0.5 g/L de NaCl) y a las máximas condiciones de presión y flujo se obtiene un flux de 20 $x10^{-6}$ m/s, mientras que a una concentración de 30 g/L (52,853 µS/cm) el flux de filtrado se reduce cuatro veces.

Por otra parte, para obtener agua con cero de conductividad fue necesario filtrar hasta tres veces el agua potable cuya conductividad varía entre 1500 y 1800 µS/cm. El agua así obtenida cumple con la especificación para ser usada en las áreas de alimentos, farmacéutica y biotecnológica

INTRODUCCIÓN

Las industrias de alimentos, farmacéutica y biotecnológica se apoyan fuertemente en la ósmosis inversa para abastecer de agua de diferente pureza para el proceso de manufactura. El agua que se usa en el área farmacéutica debe cumplir con las especificaciones de la Farmacopea (USP) que publica nuevos estándares para agua purificada y agua para inyectables (WFI) en 1995. La nueva USP 23 se enfoca en los contaminantes de mayor importancia cuantificados de forma general por la conductividad.

Con la USP 23, la medición de conductividad en línea reemplaza las pruebas químicas para la cuantificación de sales como sulfatos, cloruros, amoniaco, calcio y otros. El nuevo estándar es de 1.3 microsiemens por centímetro (µS/cm). Para el caso de bacterias y pirógenos (sustancias productoras de fiebre), el agua de grado USP ahora tiene el límite de 100 unidades formadoras de colonias por mililitro (ufc/ml) y las especificaciones de la WFI son aún más estrictas teniendo un límite máximo de 10 ufc/ml y menos de 0.25 unidades de endotoxinas por mililitro (uE/ml). La ósmosis inversa también es capaz de cumplir con estas especificaciones.

Por lo tanto la operación de ósmosis inversa es una técnica de separación valiosa ya que puede remover hasta el 98% de iones disueltos, además de poder eliminar completamente partículas, compuestos orgánicos, bacterias y pirógenos. Para cumplir con esto los equipos de ósmosis inversa frecuentemente emplean de dos a tres filtraciones del agua alimentada.

Por otra parte, como las membranas son el corazón de los equipos, éstas deben seleccionarse de acuerdo a los tipos y concentraciones de los contaminantes que se quiere remover y de acuerdo a su compatibilidad con los limpiadores químicos los cuales son vitales para la recuperación del flux una vez que la membrana se ha sometido a un procedimiento de limpieza. Las membranas más utilizadas son de acetato de celulosa y de poliamida. Las primeras generalmente toleran mejor el cloro pero tiene un bajo porcentaje de rechazo de sales. La membrana de poliamida tiene altos porcentajes de rechazo de sales pero son más sensibles a la degradación química de los compuestos químicos que contienen cloro.

En el presente proyecto se trabajará con un equipo piloto de ósmosis inversa, que emplea membranas de poliamida, para llevar a cabo su caracterización la cual consistirá en establecer los intervalos de trabajo de las variables de operación como la presión, flujos de alimentación, retenido y filtrado, temperatura y concentración de sales, para la producción de agua ultrapura que cumpla las especificaciones exigidas en las áreas de alimentos, farmacéutica y biotecnológica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleará un equipo piloto de ósmosis inversa que posee una membrana en arreglo espiral con un área de 6.5 m^2 y en la figura 1 se encuentra representado. Las pruebas se realizarán con agua potable hasta obtener agua filtrada que posea una conductividad de cero. Después se efectuarán pruebas con soluciones acuosas de Cloruro de Sodio desde 0.5 hasta 30 g/L para caracterizar el equipo a diferentes presiones y flujos de alimentación y en cada corrida de trabajo se medirá en línea la conductividad de las corrientes de alimentación, filtrado y retenido. Toda la experimentación se llevará a cabo a una temperatura de 25 a 30 °C.

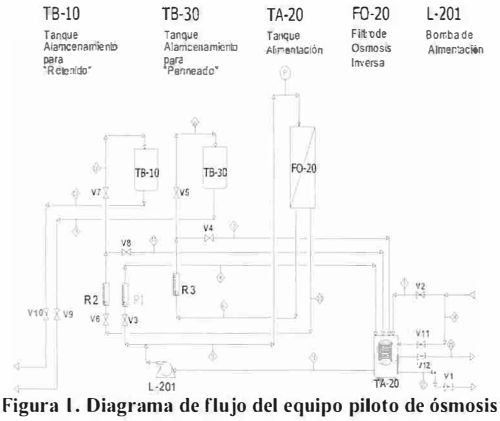


Figura 1. Diagrama de flujo del equipo piloto de ósmosis inversa

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Obtención de agua con cero de conductividad

Se realizaron filtraciones en el equipo de ósmosis in empleando agua potable para obtener un filtrado con conductividad cercana a 0.0 µS/cm. La operación del equip en lote: el retenido se regresa al tanque de alimentación filtrado se almacena en otro tanque. Los resultados se pres en la figura 2.

La conductividad del agua potable fue de 1746 µS/cm trabajó con un volumen de 200 litros. La primera agua fil que se obtiene tiene una conductividad de 342 µS/cm. Esta es ahora la que se utilizará en el equipo de ósmosis para vol a filtrar: el segundo filtrado que aquí se obtiene tuvo conductividad de 126 µS/cm. El segundo filtrado se vuel filtrar en el equipo y el tercer filtrado que se obtiene presente conductividad de cero, logrando con esto el objetivo buscado

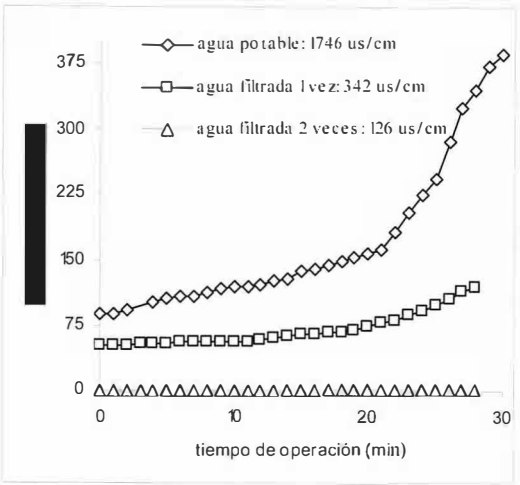


Figura 2. Número de filtraciones en lote para obtener un filtrado con cero de conductividad

En la figura 3, se muestra la cantidad de agua filtrada que se va obteniendo del equipo de ósmosis inversa y su respectiva conductividad: en un período de 30 minutos de operación se logra obtener 163 litros de agua filtrada, 342 µS/cm, obtenida a partir de agua potable; 110 litros de agua filtrada dos veces, 126 µS/cm; y 100 litros de agua tres veces filtrada, 0 µS/cm, cuando el equipo trabaja en lote. También se observa que entre el primer y tercer filtrado hay una reducción de 38 % en la cantidad de filtrado obtenido indicando esto el ensuciamiento paulatino de la membrana.

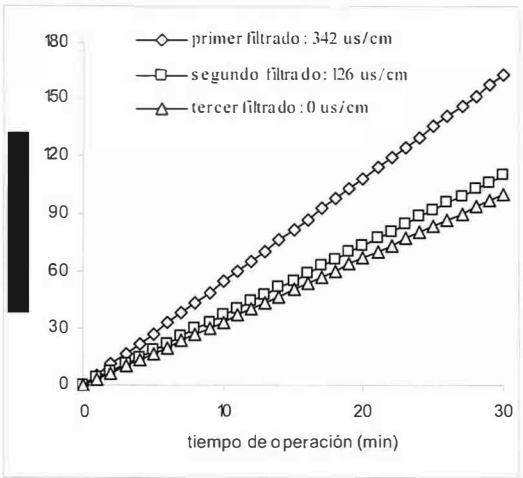


Figura 3. Volumen de filtrado obtenido en el equipo de ósmosis inversa

En el cuadro 1, se muestran los diferentes flujos de trabajo del equipo de ósmosis y que son registrados por rotámetros, se observa claramente la reducción del flujo de filtrado cuando el equipo opera en lote y no hay limpieza de la membrana entre cada filtración.

Cuadro 1. Flujos de operación del equipo de ósmosis nversa. Presión entrada: 1600 kPa; Temperatura: 25 °C; área: 6.5 m^2

	Flujo de alimentación (L/h)	Flujo de retenido (L/h)	Flujo de filtrado (L/h)	Flux (x10^{-6} m/s)
agua potable	2000	1675	325	50
agua filtrada 1 vez	2000	1780	220	34
agua filtrada 2 veces	2000	1800	200	31

En el cuadro 2, se muestra la enorme diferencia en la cantidad de agua desechada en la ósmosis inversa cuando se trabaja el equipo en lote, ó si se trabajara en continuo: si se operara en continuo el volumen de agua desechado sería 10 veces mayor que el desechado cuando opera en lote.

Cuadro 2. Cantidad de agua desechada en el equipo cuando trabaja en lote ó continuo

	agua filtrada (L)	agua desechada en proceso por lote (L)	agua desechada si se trabajara en proceso continuo (L)
agua potable	163	38	838
agua filtrada 1 vez	110	90	890
agua filtrada 2 veces	100	100	900

2. Desempeño del equipo de ósmosis inversa bajo diferentes condiciones de operación.

Las siguientes pruebas en el equipo de ósmosis consistieron en conocer el comportamiento del flux de filtrado cuando se trabaja a diferentes presiones y con diferentes concentraciones de sales (NaCl) en el agua de trabajo. La forma de trabajo consistió en retornar al tanque de alimentación las corrientes de filtrado y retenido para que la concentración de sales se mantuviera constante.
La primera concentración es la del agua potable (1594 µS/cm equivalente a 0.5 g/L de NaCl) y la última que se probó tuvo una concentración de NaCl de 30 g/L (52,853 µS/cm). Los resultados se presentan en la figura 4, de donde se puede observar que el flux se incrementa a medida que se aumenta la presión de trabajo y el único límite lo presenta el equipo el cual solo se puede operar hasta 2000 kPa. También puede observarse que a medida que la concentración de sales se eleva en el agua de trabajo el flux de filtrado se ve reducido a cualquier presión que se le compare. El flux con agua potable se reduce hasta cinco veces cuando la concentración de sales se eleva hasta 60 veces.

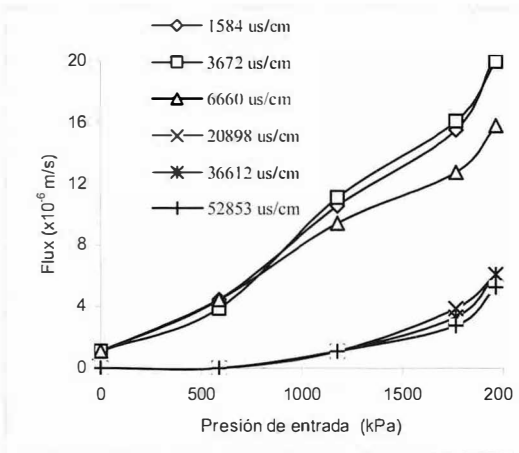


Figura 4. Efecto de la presión y la concentración de sales en el flux de filtrado

Como consecuencia de los resultados anteriores se puede hacer el siguiente análisis: si el equipo se trabajara a 2000 kPa el flux promedio que se obtendría sería de 12 x10^{-6} m/s y trabajando en lote se podrían concentrar las sales del agua potable hasta 60 veces. Así, si partimos de 3000 litros de agua potable, de aquí obtendremos 2950 L de agua filtrada y se desecharían 50 L de agua concentrada en sales. Después se filtra nuevamente 2950 L, para obtener 2900 L de agua filtrada dos veces y un desecho de 50 L. Finalmente se filtra por tercera vez 2900 L de agua, para obtener 2852 L de agua

filtrada dos veces y un desecho de 50 L. Finalmente se filtra por tercera vez 2900 L de agua, para obtener 2852 L de agua filtrada tres veces con cero de conductividad, y otra vez un desecho de 48 L de agua concentrada en sales. Al final se obtiene 2852 L de agua con cero de conductividad en un tiempo aproximado de 40 horas para un área de membrana de 6.5 m^2; este ejercicio se puede efectuar para cualquier volumen de agua potable.

3. Recuperación del flux de la membrana

Después de toda la experimentación realizada en el equipo de ósmosis inversa la membrana sufre un ensuciamiento producto de las sales que se retienen en su superficie y que forman una capa de "suciedad" que es necesario eliminar a través de la aplicación de un procedimiento de limpieza. Esto es de suma importancia para que el desempeño de la membrana siga siendo alto por un largo período de uso. Por lo tanto el criterio para saber si la membrana ha quedado lo suficientemente limpia es que el flux medido bajo ciertas condiciones sea lo más parecido al valor de flux cuando la membrana era nueva.
El procedimiento de limpieza consistió en emplear agua potable (50 L) y agregar ácido fosfórico concentrado hasta obtener un pH de 4.5 a 5.0, retornar las corrientes de filtrado y retenido al tanque y dejarlo recirculando por espacio de una hora a una temperatura de 40 a 45 °C. Después de este tiempo se desecha el agua de lavado y el procedimiento se repite dos veces más. Al final se determina el flux a diferentes presiones y se compara con el de la membrana nueva, los resultados se muestran en la figura 5. Después del procedimiento de limpieza el flux de la membrana se logra recuperar hasta un 85-90 % del flux original. Esto trae como consecuencia que el equipo de ósmosis después de utilizarse para cualquier tipo de experimentación debe rigurosamente someterse a una limpieza exhaustiva de la membrana hasta que se recupere el valor del flux de la última vez que se usó el equipo.

CONCLUSIONES

El equipo de ósmosis inversa puede producir agua de alta pureza, con conductividad cero, después de tres filtraciones cuando se trabaja en lote a partir de agua potable. El equipo tiene capacidad de poder concentrar hasta 60 veces el contenido de sales del agua potable trabajando con un flux promedio de 12 x10^{-6} m/s. También sería capaz de producir aproximadamente tres mil litros de agua con cero de conductividad en un tiempo de 40 horas. El procedimiento de limpieza es vital para lograr una larga vida del equipo con un alto desempeño de la membrana.

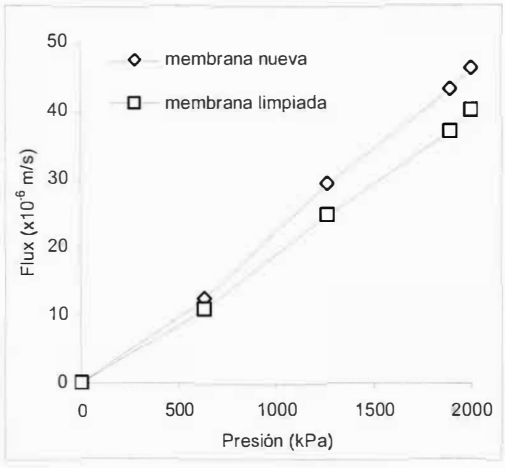


Figura 5. Comparación de *fluxes* entre la membrana nueva y la misma membrana después de empleada en la experimentación y sometida a limpieza

AGRADECIMIENTOS. Proyecto financiado por SIP-IPN.

BIBLIOGRAFÍA

Bipin S. Parekh. (1991). Get your process water to come clean. *Chemical Engineering, january, 71-85 p.*

Brown, J., Jayawardena, N. and Zelmanovich, Y. (1991). Water systems for pharmaceutical facilities. *Pharmaceutical Engineering, vol. 11, # 4, 15-23 p.*

Finlay, J., John, H. and Hango, R. (1995). A novel approach to a pharmaceutical R&D high purity water system. *Pharmaceutical Engineering, may-june, 88-96 p.*

Fournier, Ch., Rothenberg, B. and Zoccolante, G. (1995). The impact proposed pharmaceutical water quality test revisions on system design, performance and costs. *Pharmaceutical Engineering, nov-dec, 48-62 p.*

COMPORTAMENTO REOLÓGICO, SÓLIDOS SOLÚVEIS E ATIVIDADE DE ÁGUA DA POLPA DE MARACUJÁ CONGELADA COM ADIÇÃO DE SACROSE E PECTINA

Fernandes, Tatiana Nunes; Resende, Jaime Vilela; Prado, Cruvinel, Rafael S. Ribeiro y Reno, Marciu José
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DOS ALIMENTOS
Caixa Postal 3037, CEP37200-000, email: jvresende@ufla.br
LAVRAS/MG - BRASIL

Palavras-chave: polpa de maracujá, reologia, sacarose, pectina

RESUMO

Neste trabalho foram estudados os efeitos do congelamento e da adição de pectina e sacarose no comportamento reológico, teor de sólidos solúveis e atividade de água da polpa de maracujá antes do congelamento e após o descongelamento. A polpa foi submetida a três métodos de congelamento: ar estático, banho termostático e ar forçado (todos a -20°C). Os aditivos, sacarose e pectina foram testados nas concentrações de 0%, 10% e 20% e 0%, 0,5% e 1,0%, respectivamente. As análises reológicas foram conduzidas no viscosímetro Brookfield modelo RVT a 25°C. As leituras foram transformadas em medidas reológicas pela metodologia de Mitschka (1982) e ajustadas pelo modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência). O teor de sólidos solúveis das amostras foi determinado por leitura direta no refratômetro a 25°C e a atividade de água da polpa usando termohigrômetro de ponto de orvalho. Os resultados mostraram que as polpas com aditivos apresentaram o comportamento de um fluido pseudoplástico, a adição da sacarose e da pectina aumentou os teores de sólidos solúveis, diminuíram a atividade de água e aumentaram a viscosidade. O método de congelamento não apresentou efeito significativo sobre os parâmetros observados.

INTRODUÇÃO

A conservação de frutas na forma de sucos, polpas e outros produtos foi desenvolvida para aumentar o oferecimento das mesmas e para utilização dos excedentes de produção. A polpa de fruta congelada é o produto obtido da parte comestível da fruta após trituração e/ou despolpamento e preservação por congelamento. Sua utilização é quase sempre como matéria-prima para processamento de outros produtos como néctares, sucos, geléias, sorvetes e doces (Brunini et al., 2002). O suco de maracujá pode ser obtido em dois níveis de concentração: com 14° Brix ou pronto para beber e com 50° Brix na sua forma concentrada (Teixeira, 2005).

Certas substâncias podem ser usadas como crioprotetores em alimentos, reduzindo a formação de gelo pela redução do conteúdo de água congelável, prevenindo deste modo o dano às membranas celulares, minimizando a atividade enzimática e a deterioração texturométrica (Carneiro, 2001).

O comportamento reológico representa o comportamento mecânico dos materiais quando em processo de deformação devido a um campo de tensões. Importantes nos fenômenos relacionados à transferência de massa que tem lugar nos processos industriais, as características reológicas são também imprescindíveis na otimização, no controle e nos cálculos de processos. Esses conhecimentos servem, igualmente, para o desenvolvimento de produtos e correlação de parâmetros físicos e sensoriais (Ferreira et al., 2002).

O comportamento reológico dos sucos de frutas, em geral, não pode ser descrito por uma equação newtoniana. O modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) é uma das equações mais utilizadas para descrever o comportamento não-newtoniano de fluidos (equação 1).

$$\tau = K\gamma^{n} \quad (1)$$

Onde: τ - tensão de cisalhamento (Pa)

γ - taxa de deformação (s^{-1})

K – índice de consistência (Pa. s^{n})

n- índice de comportamento do fluido (adimensional)

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito do congelamento e da adição de sacarose e pectina no comportamento reológico, no teor de sólidos solúveis e na atividade de água das polpas de maracujá.

MATERIAIS E MÉTODOS

Preparo das amostras

O fruto do maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* flavicarpa) utilizado neste trabalho foi obtido em propriedades da região do município de Lavras – MG no mês de março de 2007. As frutas previamente higienizadas foram armazenadas em câmara fria (10°C) até o seu processamento. As polpas adicionadas de sacarose e pectina nas concentrações de 0%, 10% e 20% e 0%, 0,5% e 1,0%, respectivamente, foram obtidas utilizando de microprocessador Braun AG 4243 e peneira Granutest com abertura de 1,2mm.

Determinação de sólidos solúveis

O teor de sólidos solúveis das amostras foi determinado por leitura direta no refratômetro (ATAGO, PR 100) de acordo com Ciabotti et al (2000) a 25°C.

Determinação de atividade de água

A atividade de água (Aw) das amostras foi medida por leitura direta no termohigrômetro de ponto de orvalho AQUA-LAB digital, modelo CX-2 (Decagon Devices Inc., EUA). A temperatura para leitura foi controlada a 25,0 ± 0,5° C

Medidas reológicas

Os dados reológicos, em unidades de torque nas velocidades de 0,5, 1, 2,5, 5, 10, 20, 50 e 100 rpm, a partir de um volume de 500mL, foram obtidos em triplicata utilizando o viscosímetro da marca Brookfield, modelo RVT, com precisão de leituras de ±1,0 % e faixa de medição de 100mPa·s a 8.000Pa.s, a 25°C. Foi utilizada a metodologia de Mitschka (Briggs e Steffe, 1997) para a transformação das leituras em medidas reológicas (tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidade aparente).

Delineamento estatístico

O experimento foi montado seguindo uma estrutura fatorial 3^3 em um delineamento de blocos casualizados (repetições no tempo). Os fatores foram concentrações de sacarose, concentrações de pectina e método de congelamento. Os níveis foram 0%, 10% e 20%; 0%, 0,5% e 1,0%; e ar estático, banho termostático e câmara com ar forçado (todos a -20°C), respectivamente. As amostras foram analisadas antes de congelar e depois de descongeladas, ambas a 25°C, em triplicata. O descongelamento foi realizado à temperatura ambiente.

A regressão não-linear foi adotada para ajustar os dados da análise do comportamento reológico dos tratamentos ajustados pelo modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) e avaliados quanto ao parâmetro estatístico coeficiente de determinação (R^2). As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se os softwares R® versão 2.4.1 (R, 2006) e Statistica versão 6.0 (Statsoft®).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação obtidos pelo viscosímetro Brookfield RVT encontram-se na figura 1. Nessa figura são mostrados os pontos experimentais (médias das triplicatas) e as curvas de ajuste ao modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) para os tratamentos antes de congelar (A) e depois de descongelados que sofreram congelamento pelos métodos: ar estático - freezer (B), câmara de ar forçado (C) e banho termostático (D).

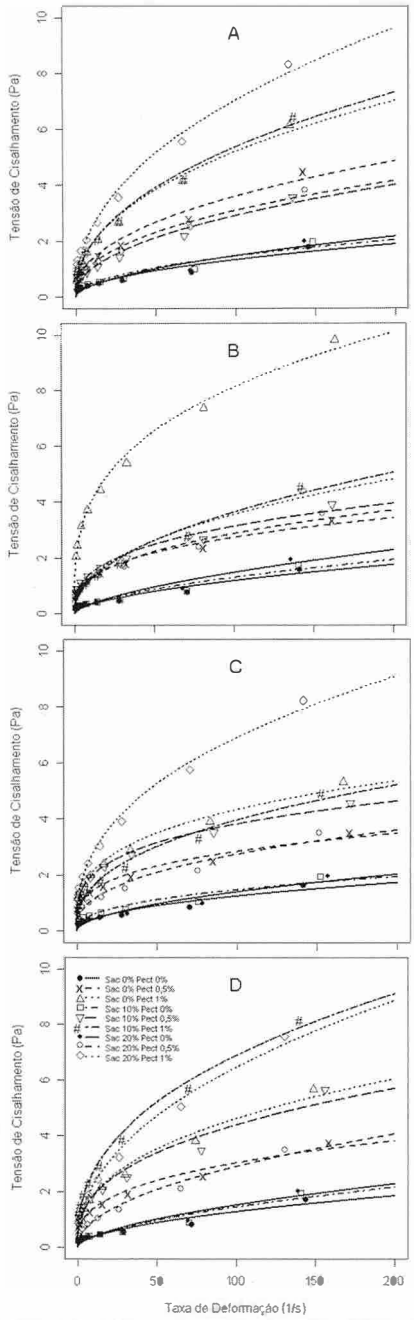


Figura 1: Relação entre tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação (1/s) para polpa de maracujá antes do congelamento (A) e depois de descongelado pelo respectivo método (Freezer - B, câmara de Ar forçado - C e banho termostático - D).

Segundo Steffe (1996) os modelos das curvas dos ajustes de todos os tratamentos mostraram que as polpas se comportam como fluidos pseudoplásticos. A tabela 1 mostra os parâmetros do modelo utilizado para os ajustes dos dados experimentais (K: coeficiente de consistência, n: índice de comportamento do fluxo) e os respectivos coeficientes de determinação (R^2). Os valores de "n" estão abaixo da unidade, comprovando o caráter pseudoplástico segundo Steffe (1996). Este comportamento foi encontrado também por Ferreira et. al (2002) em polpa de goiaba e por Cabral et. al (2002) em polpa de cupuaçu. Os valores de R^2 encontrados mostram o bom ajuste do modelo estudado.

Tabela 1: Estimativas dos parâmetros do modelo Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) para polpa de maracujá

	Sacaros e (%)	Pectina (%)	K (Pa.s^n)	n (-)	R^2 (%)
Antes do Congelamento	0	0	0,133	0,500	0,952
		0,5	0,502	0,428	0,983
		1,0	0,698	0,435	0,993
	10	0	0,165	0,474	0,951
		0,5	0,354	0,458	0,985
		1,0	0,673	0,450	0,991
	20	0	0,117	0,551	0,950
		0,5	0,446	0,421	0,987
		1,0	0,875	0,452	0,993
Freezer	0	0	0,087	0,567	0,954
		0,5	0,615	0,324	0,992
		1,0	1,920	0,313	0,995
	10	0	0,094	0,570	0,953
		0,5	0,670	0,335	0,988
		1,0	0,413	0,473	0,987
	20	0	0,083	0,626	0,959
		0,5	0,533	0,365	0,986
		1,0	0,476	0,437	0,985
Câmara de ar forçado	0	0	0,143	0,470	0,955
		0,5	0,738	0,293	0,989
		1,0	1,049	0,308	0,992
	10	0	0,234	0,400	0,953
		0,5	1,060	0,278	0,997
		1,0	0,646	0,394	0,990
	20	0	0,118	0,537	0,959
		0,5	0,452	0,391	0,976
		1,0	1,114	0,396	0,994
Banho termostático	0	0	0,107	0,538	0,952
		0,5	0,638	0,338	0,988
		1,0	0,770	0,389	0,991
	10	0	0,099	0,583	0,951
		0,5	0,779	0,375	0,975
		1,0	1,068	0,404	0,995
	20	0	0,101	0,589	0,957
		0,5	0,305	0,489	0,987
		1,0	0,785	0,457	0,994

Na figura 1 observa-se que as disposições das curvas demonstram viscosidades distintas entre os tratamentos.

A figura 1 A mostra que para o comportamento das polpas antes de congelar observa-se divisão de três grupos: as três curvas inferiores (menores valores de tensão de cisalhamento) correspondem aos tratamentos sem adição de pectina, as 3 medianas aos tratamentos com 0,5% de pectina e as 3 superiores aos tratamentos com 1,0% de pectina. Como a tensão de cisalhamento é uma medida diretamente proporcional à viscosidade (Patil e Magdum, 2006), observa-se que existe um aumento de viscosidade com o aumento da concentração de pectina na amostra.

Com a adição de sacarose a tensão de cisalhamento se comportou de maneira diferente. Observou-se que em cada grupo na figura 1 A existe uma curva para cada concentração de sacarose, não necessariamente a maior concentração é a amostra mais viscosa do grupo. Isto comprova que a pectina foi determinante na variação da viscosidade. Os tratamentos sem pectina nos três níveis de sacarose nas amostras descongeladas (B, C e D) apresentaram estruturas semelhantes às das amostras sem congelar (A).

Na figura 2 observa-se que as curvas de viscosidade aparente em relação à taxa de deformação nos tratamentos congelados no freezer e descongelados descrevem comportamento pseudoplástico confirmando as análises anteriores. Este tipo de fluido não-Newtoniano diminui a viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação (Brookfield Engineering Labs, 2007). Este comportamento foi semelhante nos outros métodos de congelamento e nas amostras antes de congelar.

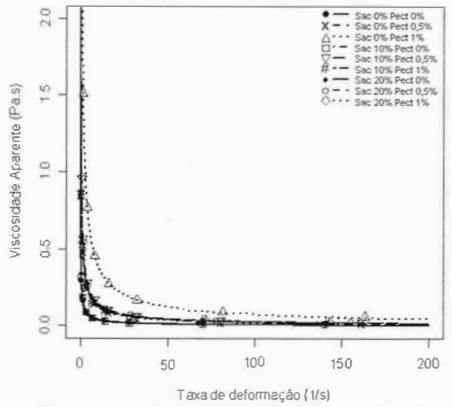


Figura 2: Relação entre viscosidade aparente (Pa.s) e taxa de deformação (1/s) para polpa de maracujá depois de descongelada (freezer).

A figura 3 mostra a variação do teor de sólidos solúveis em relação à adição de sacarose e pectina nos tratamentos não submetidos ao congelamento. Neste caso a adição destes compostos aumenta o teor de sólidos solúveis da polpa de maracujá. As superfícies das amostras que sofreram congelamento tiveram comportamento semelhante ao colocado na superfície das amostras antes do congelamento.

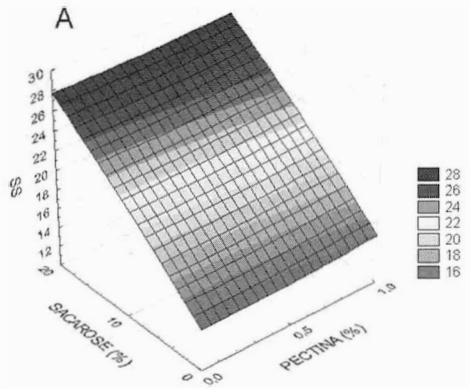


Figura 3: Superfície de resposta do teor de sólidos solúveis - relação entre as porcentagens de adição de sacarose e de pectina para polpa de maracujá antes do congelamento (A).

A figura 4 mostra a variação da atividade de água em relação à adição de sacarose e pectina. A adição destes diminuiu a atividade de água da polpa de maracujá. A ligação entre a sacarose e a pectina com a água diminuiu a disponibilidade de água livre no meio, diminuindo a atividade de água das amostras mais concentradas.

Pelos intervalos de confiança a 5% para as médias dos valores preditos de sólidos solúveis e atividade de água a variável "método de congelamento" não foi significativa.

CONCLUSÕES

1. As polpas de maracujá adicionadas de 0%, 10% e 20% de sacarose e 0%, 0,5% e 1,0% de pectina (em todas as combinações) antes de congelar e depois de descongeladas (submetidas aos métodos de congelamento ar estático - freezer, câmara de ar forçado e banho termostático a -20°C) apresentaram comportamento pseudoplástico.

2. A equação de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) resultou em bons ajustes aos dados experimentais de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação.

3. A viscosidade das amostras antes de congelar e depois de descongelar aumenta quando a concentração de pectina passa de ausência para 1,0%.

4. A adição de sacarose e pectina aumenta o teor de sólidos solúveis das amostras e diminui a atividade de água em polpas de maracujá congeladas.

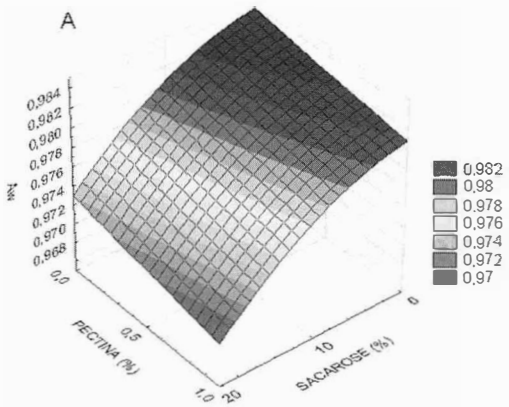


Figura 3: Superfície de resposta da atividade de água - relação entre as porcentagens de adição de sacarose e de pectina para polpa de maracujá antes do congelamento (A).

AGRADECIMENTOS

Ao departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

REFERÊNCIAS

- Briggs, J.L. e Steffe, J. F. 1997. Using Brookfield data and the Mitschka method to evaluate Power Law foods. Journal of Texture Studies, 28, 517-522.
- Brookfield Engineering Labs. More solutions to sticky problems. Disponível em: <http://www.brookfieldengineering.com>. Acesso em abril de 2007
- Brunini, M., A.; Durigan, J., F.; Oliveira, A., L. Avaliação das alterações em polpa de manga 'Tommy-Atkins' congeladas. Revista Brasileira de Fruticultura. V. 24, n°3. Jaboticabal Dec. 2002
- Cabral, M. F. P., Queiroz, A. J. M., Figueiredo, R. M. F. Comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) peneirada. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais. V.4, n. 1. Campina Grande, 2002. p. 37-40.
- Carneiro, C. S. Estruturação de cristais de gelo e sua influência no dano celular. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2001. 166p. Tese de doutorado.
- Ciabotti, E.D., Braga, M.E.D., Mata, M.E.R.M.C. Alterações das características físico-químicas da polpa de maracujá amarelo submetido a diferentes técnicas de congelamento inicial. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais. v. 2, n. 1. Campina Grande, 2000. p. 51-60
- Ferreira, G. M.; Queiroz, A. J. M.; Conceição, R. S.; Gastaretto, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. Revista Ciências Exatas e Naturais, vol. 4, n° 2, jul/dez 2002.
- Patil, S.S., Magdum, C. S. Rheology and methods of analysis. 18 de junho de 2006. Disponível em: <http://www.pharmainfo.net/exclusive/reviews/rheology_and_methods_of_analysis/>. Acesso em: 12 fev 2007.
- Steffe, J. F. Rheological methods in food process engineering. 2. ed. Michigan: Freeman Press, 1996. 418p.
- Teixeira, S. T. Mercado exportador – a análise para cultura do maracujá. Toda Fruta, fev/2005 , Disponível em: <http://www.todafruta.com.br>. Acesso em: 14/05/07

DIVERSIDAD DEL PLÁTANO DE COCCIÓN CONSUMIDO EN COLOMBIA

Dufour Dominique[1&2], Giraldo Andrés[2], López Ximena[2], Castellanos Francisco Javier[3&4], Sánchez Teresa[2], Fernández Alejandro[3], Díaz Alberto[3]

1: (CIRAD) Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Montpellier, Francia.
2: (CIAT) Centro Internacional de Agricultura tropical, Cali, Colombia.
3: Universidad del Valle, Cali, Colombia
4: Universidad de Caldas, Manizales, Colombia

Palabras claves: Colombia, musáceas, diversidad, RVA

RESUMEN

El estudio presentado permite conocer mejor le diversidad física (tamaño del racimo, peso de manos, peso y forma de los dedos) así como las diferencias de la propiedades funcionales de la pulpa, entre variedades y entre manos de un mismo racimo. Los promedios de peso, longitud y diámetro intermedio de los dedos con cáscara presentan una gran variabilidad con valores extremos de 107 g (Rollizo) hasta 720 g (África); para longitud entre 14 cm (Guineo) y 34 cm (Hartón) y para diámetro intermedio de 3.6 cm (Rollizo) hasta 6.3 cm (Hua Moa). Sin cáscara, se observó una gran variabilidad para la pulpa con valores extremos de 60g (Rollizo) hasta 512 g (África), de 12 cm (Pelipita) hasta 30 cm (África) en longitud y 2.8 cm (FHIA 17 y Rollizo) hasta 5.6 cm (Hua Moa) de diámetro. Las evaluaciones de las características físicas, con y sin cáscara, permiten destacar las variedades con un gran potencial de industrialización, como: FHIA 21, Dominico hartón, Hua Moa, Guayabo, África y Hartón.

El porcentaje de cáscara también difiere entre variedad de 26% hasta 49% sin tomar en cuenta el peso del vástago en los desechos. FHIA 20 y FHIA 17 tienen la proporción mayor de cáscara con 48 y 48.6%, respectivamente. Todas las variedades de uso industrial para el procesamiento se encuentran en el intervalo de 35 a 40% de proporción de cáscara: Hartón, Dominico hartón, Guayabo. Las variedades de menor proporción de cáscara son África y Hua Moa, con valores de 25% y 34% respectivamente.

Los geles obtenidos a partir de harinas permiten poner en evidencia una variabilidad del comportamiento à la cocción de la diferentes variedades. La temperatura de inicio de la gelatinización, varía entre 68 hasta 75 °C. Los plátanos de cocción presentan la temperaturas mas altas de gelatinización: Guayabo, FHIA 25, Pelipita, Dominico hartón, África, Cubano blanco y Hartón, con 71.4, 72.1, 72.9, 72.9, 74.2, 75.4 y 75.7 °C, respectivamente. La variabilidad de la viscosidad máxima por variedad, fluctúa entre 1780 y 2640 centipoises (cP). Las variedades FHIA 25, Gross Michel, Rollizo, Dominico hartón y Guineo tienen mayor viscosidad en la cocción.

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de musáceas (bananos maduros crudos y plátanos de cocción verde o maduro) en 2007 se estima en 102 millones de toneladas (TM). En orden de importancia: India, Uganda, Ecuador, Brasil, China y Colombia contribuyen respectivamente con 16.8 ; 10.5 ; 6.9 ; 6.7 ; 6.4 ; 5.9 TM. Las musáceas tienen un papel importante en la seguridad alimentaria en África sub-tropical, con un consumo promedio de 300 a 600 g/día/hab (Uganda, Burundi, Rwanda, Gabón y Ghana). En América Latina las poblaciones de mayor consumo son Ecuador, Cuba, Republica Dominicana y Colombia, con un aporte a la dieta de 320; 210; 200; 160 g/día/hab respectivamente (FAOSTAT, 2005).

Las variedades de plátanos Hartón, Dominico hartón y Dominico del sub- grupo Plantain aportan el 21% de la producción mundial. Estas tres variedades son las más exportadas y las únicas utilizadas en procesos agroindustriales. Colombia es el primer productor mundial de Plantain con 2.9 TM. En América Latina, Perú, Ecuador y Brasil ocupan los lugares sexto, octavo y décimo, con 1.0; 0.9; 0.5 TM, respectivamente (CIRAD, 2005).

En Colombia se consumen más de 30 variedades de plátano de cocción, las cuales no se producen intensivamente y son usadas para el autoconsumo de los productores en las zonas rurales. Los consumidores tienen preferencias de algunas variedades asociadas a la aplicación de procesos (cocción en agua, asado, fritura, fermentación, secado y molienda).

Objetivos del estudio

- Mostrar la diversidad existente en los plátanos consumidos en Colombia.
- Definir una estrategia de muestreo que permita disponer de materia prima homogénea para la investigación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima.

Se caracterizaron 16 variedades de musáceas provenientes de diferentes municipios reconocidos como buenos productores de plátano en Colombia. Los municipios fueron:

Puerto Tejada, Departamento del Cauca, con las variedades Dominico hartón 1, Hartón, Cubano blanco, Bocadillo, Pelipita, Primitivo y Guayabo.

Morales, Departamento del Cauca: con la variedad Rollizo.

Palestina, Departamento del Caldas: con las variedades FHIA 20, FHIA 21, África 1, África 2 y Dominico hartón 2.

Armenia, Departamento del Quindío: con las variedades Hua Moa, FHIA 17, Guineo, Gross Michel.

Palmira, Departamento del Valle del Cauca: FHIA 25.

Metodología utilizada

Caracterización física con y sin cáscara

Se obtuvieron fotos de los racimos, manos (gajas), dedos y cortes transversales. Se utilizó un banco fotográfico con cámara digital, con un plano cartesiano graduado en centímetros. Se midió con cinta métrica (precisión 1mm), la longitud y los perímetros proximal, intermedio y distal. También se evaluó el diámetro con un calibrador (precisión 0.01 cm). Se pesaron las manos, dedos, cáscara, pulpa y se calculó el porcentaje de cáscara. Se determinó la densidad de los plátanos utilizando el método de desplazamiento del agua.

Racimos, manos y dedos con cáscara: Los racimos de plátanos fueron cosechados y transportados al laboratorio, se tomaron fotos y se pesaron completos. Luego le fue retirado el raquis y se obtuvieron manos y dedos con cáscara. Las manos y dedos se enumeraron en forma creciente a partir de la primera mano, siendo esta la más cercana al pseudotallo. Luego, se pesaron las manos (balanza; 0.1 g) y se tomaron fotos. Estas mismas se sumergieron en agua para calcular la densidad promedio (2 repeticiones). Las manos se colocaron sobre el lado convexo con la punta de los dedos hacia el operador para enumerar los dedos de izquierda a derecha. Cuando se encontró doble fila, se designo la fila A (superior) y la fila B (inferior), en contacto con la mesa, y luego se separaron.

Después se obtuvieron, sobre un plano cartesiano, fotos de dedos enteros y de sus cortes transversales. Se tomaron las medidas de peso, longitud y perímetros. Se seleccionaron tres manos del racimo, proximal, intermedio y distal, de las cuales se eligieron 6 dedos por mano (3 de la fila A y 3 de la fila B) a los que se les determinó la densidad por duplicado.

Dedos sin cáscara: todos los dedos del racimo se pelaron manualmente, se pesó la cáscara y la pulpa de cada dedo y se midieron las longitudes y perímetros respectivos. Se determinó la densidad promedio de cada mano, mediante inmersión en agua de los dedos de una misma mano (se realizó por duplicado). La densidad individual por dedo, se evaluó sobre los mismos plátanos que se utilizaron para la evaluación de la densidad por dedo con cáscara.

Evaluaciones físico-químicas

Materia seca de las manos: todos los dedos pelados de una misma mano se cortaron en rodajas finas. Inmediatamente, para la determinación de la materia seca se picó manualmente una parte de estas rodajas y se colocaron las muestras en la estufa (105°C ; 24 horas por duplicado).

Producción de harina: las rodajas provenientes de cada mano se secaron en estufa a (60°C ; 48 horas), luego se molieron ; la harina se almacenó en bolsas plásticas selladas para análisis posteriores. Con los mismos dedos seleccionados para la evaluación de la densidad de cada dedo se obtuvo harina por separado.

Propiedades de pastas acuosas de harinas

Viscoanalizador rápido: Las propiedades de las pastas acuosas de los almidones de las harinas se estudiaron utilizando una suspensión al 8 % (b.s.) en presencia de inhibidor de α-amilasa ($AgNO_3$; 0.002 mol/l) y un analizador rapido de viscosidad RVA-4, programado para calentar la suspensión de 50°C hasta 90 °C a 6 °C/min, mantener a 90 °C durante 5 minutos y luego enfriar a 50 °C a 6 °C/min). Se determinó la temperatura de inicio de la gelatinización (TG), y la viscosidad máxima (VM).

Análisis estadísticos: se utilizó el software SPSS para Windows v.15 para la obtención de: la estadística descriptiva, test de normalidad (Shapiro-Wilk), comparación de medias (t-Student, ANOVA) y matrices de correlación (coeficiente de Pearson).

RESULTADOS Y DISCUSION

En reuniones con productores de musáceas de Colombia, se han podido conocer como mínimo unas 29 variedades de musáceas consumidas en Colombia. Se mencionan las siguientes: África, Bocadillo/Mantequilla/Sedita, Cachaco/Popocho/Cuatro Filos, Cavendish, Comino/Pompo/Guayabo, Cubano blanco, Cubano negro, Dominico, Dominico 500, Dominico 1500, FHIA17, FHIA20, FHIA21, FHIA23, FHIA25, Gross Michel, Guineo, Hartón, Hartón Real, Manzano, Maqueño, Mareño, Maritú resplandor, Morrocota, Noreño, Pelipita, Primitivo, Tafetán morado. Los campesinos muestran preferencias por algunas variedades para la elaboración de ciertos productos específicos (relación variedad-procesos). Con el fin de conocer y evaluar la diversidad se han caracterizado físicamente hasta ahora 14 variedades.

Características Físicas

Plátanos con cáscara:

Las figuras 1 (a, b, c) presentan respectivamente las distribuciones de promedios de peso, longitud y diámetro intermedio de los racimos caracterizados. Se observa una gran variabilidad con valores extremos de 107 g hasta 720 g con un promedio en la variable peso de 278 g; para longitud los valores están entre 14 cm y 34 cm con un promedio de 23 cm y para diámetro intermedio de 3,6 cm hasta 6,3 cm con un promedio de 4.7 cm.

Se puede diferenciar tres zonas en cada figura, alta, media y baja. En cuanto a las variables peso (figura 1a) y longitud (figura 1b), las variedades que se encuentran en la zona alta de peso promedio superior a 400 g y longitudes mayores de 29 cm son Dominico hartón 1. Hartón, África 1 y África 2. En la zona media comprendida para peso entre 200 y 400 g, y para longitudes entre 20 y 29 cm se encuentran Cubano Blanco, Dominico hartón 2, FHIA 20 y FHIA 21. Las demás variedades están en la zona baja, siendo inferiores a 200 g, y a 20 cm de longitud, a excepción de la variedad Hua Moa con un peso promedio de 342 g, largo de 17 cm y el diámetro intermedio mas grande de las 14 variedades analizadas (6.3 cm).

La variable diámetro intermedio (figura 1c) presenta las mismas variedades en la zona alta, aquellas variedades encontradas en el análisis de peso y longitud con valores superiores a 5 cm. En la zona media que comprende valores entre 4.1 y 5 cm aparecen las variedades Guayabo, Cubano Blanco, Dominico hartón 2, FHIA 20 y FHIA 21. El resto de variedades se encuentran en la zona baja con diámetros intermedios inferiores a 4.1 cm.

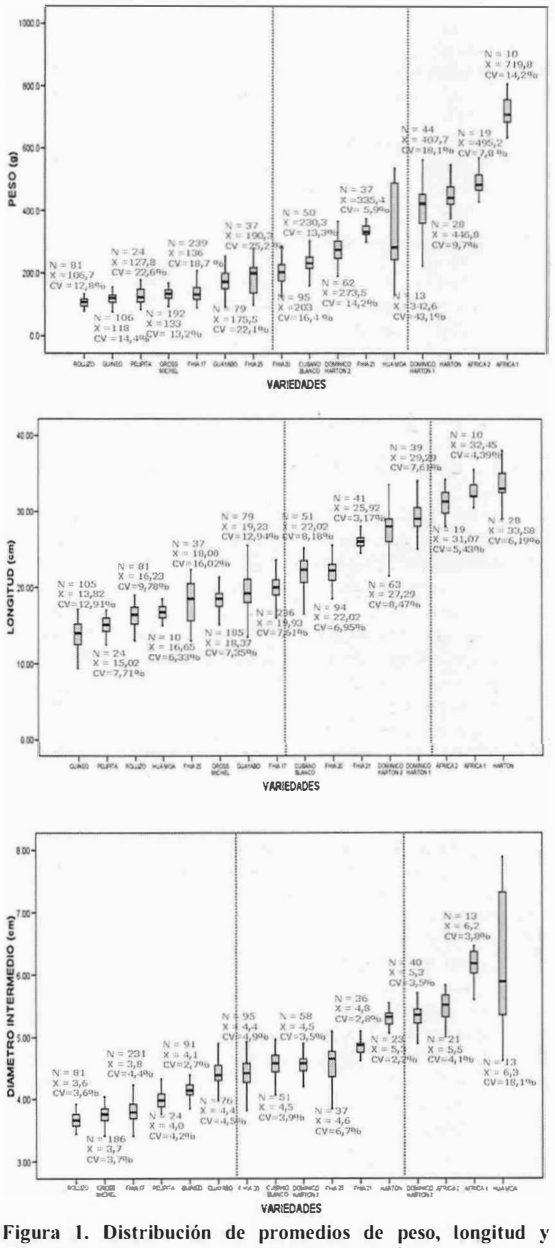


Figura 1. Distribución de promedios de peso, longitud y diametro intermedio en las variedades con cáscara estudiadas (N: número de dedos; X promedio; CV coeficiente de variación)

Plátanos sin cáscara:

Tabla 1. Promedios y coeficientes de variación para todas las variedades analizadas sin cáscara.

VARIEDADES ANALIZADAS	N	PESO (g)		LONGITUD (cm)		DIAMETRO INTERMEDIO (cm)	
		X	CV %	X	CV %	X	CV %
ROLLIZO	37	59,8	14,4	14,7	10,3	2,8	4,4
GUINEO	24	66,2	16,5	13,1	12,2	3,2	5,8
FHIA 17	38	67,5	23,4	17,6	9,9	2,8	7,3
PELIPITA	96	69,8	23,7	11,9	11,1	3,4	6.5
GROSS MICHEL	156	73,2	13,6	17,5	5,5	3,0	5.0
FHIA 20	238	101,7	14,8	18,4	6,3	3,3	4,3
GUAYABO	73	108,7	22,5	17,1	12,4	5,5	12,4
FHIA 25	80	117,3	27,0	16,7	14,1	3,9	6,8
CUBANO BLANCO	46	147,6	13,1	20,3	7,1	3,7	2,8
DOMINICO HARTON 2	8	153,3	14,2	23,1	5,6	3,6	3,2
FHIA 21	25	206,2	7,1	22,9	3,8	3,9	4,5
DOMINICO HARTON 1	15	235,7	19.3	25,0	9,1	4,3	2,8
HUA MOA	54	255,3	50,5	15,5	19,8	5,6	21,3
HARTON	26	263,9	9,8	27,5	9,6	4,1	7,6
AFRICA 2	79	317,0	13,7	28,0	5,5	4,6	4,7
AFRICA 1	11	511,6	5,9	30,3	2,3	5,5	2,6

La tabla 1, muestra los valores promedios de peso, longitud y diámetro intermedio de las musáceas analizadas sin cáscara. Se observó una gran variabilidad tanto en peso, longitud y diámetro intermedio, respectivamente, con valores extremos de 60 hasta 512 g, con promedio de peso de 172.2 g; de 12 hasta 30 cm en longitud y un promedio de 20 cm y 2.8 hasta 5.6 cm de diámetro intermedio con un promedio de 3.9 cm.

Las características físicas de los dedos sin cáscara siguen la misma tendencia de los dedos con cáscara, las variedades Dominico hartón 1, Hartón, África 1 y África 2 siguen siendo las más altas en términos de peso (> 200 g) agregando las variedades Hua Moa con 255 g y FHIA 21 con 206 g. En cuanto a la longitud se suma a la lista con cáscara el Dominico hartón 2 y FHIA 21 con valores superiores a 22 cm. Con respecto al diámetro intermedio se observa la aparición de dos nuevas variedades, Hua Moa con 5.6 cm y Guayabo con 5.5 cm (segundo valor más alto).
La evaluación de las características físicas con y sin cáscara permiten destacar las variedades con un gran potencial de industrialización, como son: FHIA 21, Dominico hartón, Hua Moa, Guayabo, África y Hartón. Es importante resaltar que las variedades de uso industrial en la actualidad son Dominico hartón, Hartón y Guayabo.

El estudio muestra una variabilidad baja en longitud y diámetro intermedio, mostrando coeficientes de variación inferiores al 10 %, a excepción del diámetro intermedio del Hua Moa (CV 18%) y en longitud se exceptúan las variedades guineo, guayabo y FHIA 25 con CV de 13, 13 y 16, respectivamente.
La variable peso no presenta una uniformidad en el racimo del mismo orden que las variables longitud y diámetro intermedio. Las variedades como, FHIA 21, Hartón y África presentan CV inferiores al 10%; las variedades Rollizo, Guineo, Gross Michel, FHIA 17, FHIA 20, Cubano Blanco, Dominico hartón, tienen CV entre 10 y 20 %. Los CV mayores de 20% se presentaron en las variedades Pelipita, Guayabo, FHIA 25 y Hua Moa de 43% (valor extremo).

Si se analizan las cuatro variedades en conjunto, las variedades FHIA 21, África, Hartón y Dominico hartón 2 son las que presentan menor variación. Las variedades Hua Moa, FHIA 25, Pelipita y Guayabo presentan una gran variación entre ellas.

En el estudio se trabajaron dos racimos (repeticiones) de Dominico hartón y de África, con promedios y coeficientes de variación diferentes. La variedad Dominico hartón (1 y 2) proviene de dos diferentes zonas de Colombia, en donde las condiciones de pluviosidad, ambiente y prácticas culturales también son distintas. Se aprecia que para las variedades con CV muy grande, los dedos inferiores no llenan de la misma forma que los dedos superiores pues no reciben la misma cantidad de luz solar que aquellos localizados más arriba en el racimo. Esto podría explicar la diferencia de peso, más bajo para las manos inferiores.

Las matrices de correlación obtenidas para las variables físicas (peso, longitud, perímetros y diámetros), para el plátano con y sin cáscara en las variedades África 1, Dominico hartón y Guineo, muestran una correlación con significancia del 1%.

Proporción de cáscara

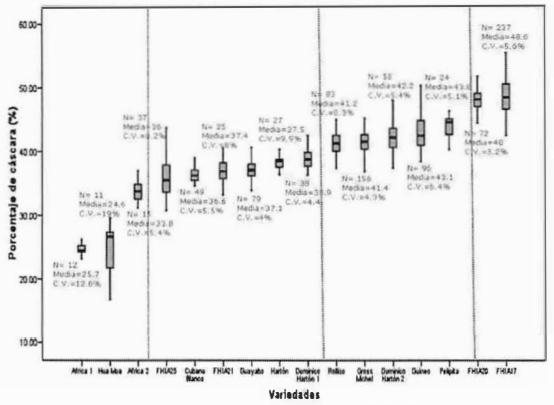


Figura 2. Porcentaje de cáscara de las variedades del estudio.

La figura 2 representa el porcentaje de cáscara en los frutos de las catorce variedades estudiadas. El porcentaje se calculó a partir del cociente del peso de la cáscara de los dedos individuales sobre el peso total del dedo respectivo, teniendo en cuenta todos los dedos. Se puede apreciar que los coeficientes de variación son muy bajos (menores al 10 %), con excepción de la variedad África 1 y Hua Moa que presentan CV del 12 y 19% respectivamente. Los promedios fueron obtenidos sin tener en cuenta el peso del vástago, lo cual aumentaría el porcentaje de desecho.

Las variedades FHIA 20 y FHIA 17 tienen la proporción mayor de cáscara con 48 y 48.6%, respectivamente. Entre 40 y 45 % se encuentran las variedades Rollizo, Gross Michel, Dominico hartón 2, Pelipita y Guineo.

Todas las variedades de uso industrial se encuentran en el intervalo de 35 a 40% de proporción de cáscara y son ellas: Hartón, Dominico hartón, Guayabo, Cubano blanco, FHIA 21 y FHIA 25.

Las variedades de menor proporción de cáscara son África 1, África 2 y Hua Moa, con valores de 24.6, 25.7 y 33.85% respectivamente, resultado que podría reforzar el interés industrial de estas variedades.

Propiedades funcionales de la pulpa de plátanos colombianos.
Las figuras 3 (a, b, c) presentan por variedad los perfiles de viscosidad y los promedios de la temperatura de inicio de la gelatinización y de la viscosidad máxima de cada mano en un racimo, y fueron obtenidas a partir de las harinas de doce variedades de musáceas Colombianas.

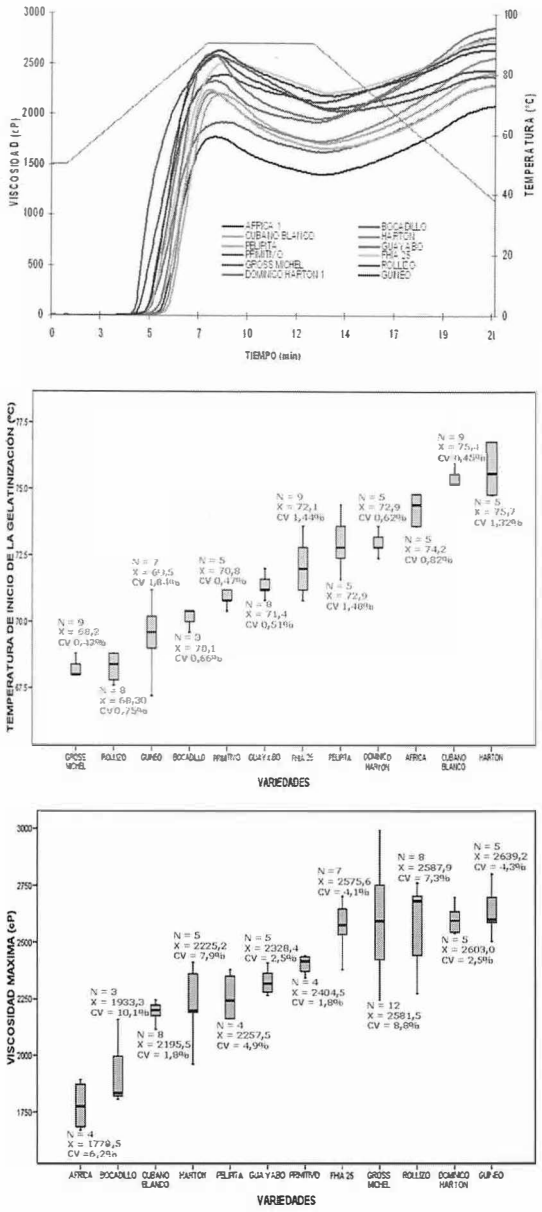


Figura 3. Variación de los perfiles promedios de viscosidad, temperatura de engrudo y viscosidad máxima de cada mano en un racimo de doce variedades de musáceas Colombianas.

En la figura 3a, se puede observar una gran diversidad de comportamiento de los geles, tanto para la temperatura de inicio de la gelatinización, como para la viscosidad máxima. La temperatura de inicio de la gelatinización, que corresponde a la temperatura a la cual el gránulo de almidón inicia su hinchamiento y absorbe agua en el momento de la cocción, varía entre 68°C hasta 75 °C (figura 3b). Se destaca que para las temperaturas de inicio de la gelatinización más altas se encuentran los plátanos de cocción, como: Guayabo, FHIA 25, Pelipita, Dominico hartón, África, Cubano blanco y Hartón, con 71.4, 72.1, 72.9, 72.9, 74.2, 75.4 y 75.7 °C, respectivamente.

En la figura 3b también se puede apreciar en un mismo racimo que algunas variedades presentan un comportamiento muy parejo con un CV menor del 0.7%, para las variedades Gross Michel, Cubano blanco, Primitivo, Guayabo y Dominico hartón. Sin embargo las variedades Guineo, Hartón, Pelipita y FHIA 25 presentan CV mayores al 1.5% mostrando una diferencia significativa en el comportamiento de la pulpa entre diferentes manos. En la figura 3c se puede observar la variabilidad de la viscosidad máxima por variedad, la cual fluctúa entre 1780 y 2640 centipoises (cP). Las variedades FHIA 25, Gross Michel, Rollizo, Dominico hartón y Guineo tienen mayor viscosidad en la cocción. Se puede apreciar que algunas variedades presentan homogeneidad en la viscosidad máxima entre manos, como el Cubano blanco, Primitivo, Dominico hartón y Guayabo. A diferencia las variedades Gross Michel, Rollizo, Hartón, presentan diferencias de comportamiento entre manos lo que podría indicar una diferencia de comportamiento en la cocción. En Colombia las variedades Rollizo y Guineo se utilizan preferiblemente en la elaboración de las sopas por facilidad de cocción y alta viscosidad preferida por los consumidores.

CONCLUSIONES

El estudio permitió desarrollar un protocolo de investigación para la caracterización física y fisicoquímica de las musáceas consumidas en Colombia. Los resultados permitieron diferenciar y clasificar las variedades en relación con sus propiedades, peso, longitud, perímetros y diámetros. El estudio de las propiedades funcionales, permite entender mejor las preferencias de los consumidores con relación al uso de una variedad para un proceso, por ejemplo, el Guineo se usa preferiblemente para cocción en agua (sopas, coladas) y el Dominico hartón o el Hartón para elaboración de productos fritos. También el estudio permite observar la diferencia de homogeneidad entre variedades, resaltando que las variedades mayoritariamente usadas por la industria, son las más homogéneas en términos de los distintos parámetros físicos estudiados. En Colombia los plátanos de cocción utilizados por el sector industrial son principalmente el Dominico hartón, el Guayabo y el Hartón. Este estudio encontró una gran homogeneidad entre manos para cada una de las tres variedades antes mencionadas. Los resultados de este estudio permiten asociar el conocimiento a actividades orientadas a investigar alternativas de proceso para el mejoramiento y desarrollo de productos a base de plátano, en particular, de harinas precocidas para elaboración de bebidas, coladas, postres y de masas para usar en la elaboración de alimentos tipo snack. Algunas variedades subutilizadas en Colombia presentan características fisicoquímicas y funcionales las cuales podrían ser aprovechadas a nivel industrial para diversificar la oferta de productos frescos o procesados en Colombia

BIBLIOGRAFIA

1. Almazan, A. M. (1990). Influence of plantain and cooking banana cultivar and ripeness on processed product quality. Journa of Food Quality, 13 (5): 351-359.

2. Cano M.P., de Ancos B., Matallana M.C., Camara M., Regler G., Tabera J. (1997). Differences among Spanish and Latin American banana cultivars: morphological, chemical and sensory characteristics. Food Chemistry, 59 (3): 411-419.

3. Dadzie, B. K. & Wainwright H. (1995). Plantain utilization i Ghana. Tropical Science, 35 (4): 405-410.

4. Dadzie, B.K. & Orchard J.E. (1997). Routine Post Harves Screening of Banana/Plantain Hybrids: Criteria and Methods INIBAP Technical Guidelines 2. IPGRI, INIBAP, CTA. ISBN : 2 910810-22-4, 75 p.

5. Davey, M. W. , Stals E., Ngoh-Newilah G., Tomekpe K., Lusty C., Markham R., Swennen R., Keulemans J. (2007). Sampling strategies and variability in fruit pulp micronutrient contents o West and Central African bananas and plantains (*Musa species*) Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55 (7): 2633-2644.

6. Diaz, A., Lisse, I., Raoult-Wack, A. L., Bricas, N. (1998). Consumption trends of plantain chips and consumer appreciation of their quality in Cali (Colombia). Tropical Science, 38 (3): 171–178.

7. Diaz, A., Trystram, G., Vitrac, O., Dufour, D., Raoult Wack, A. L. (1999). Kinetics of moisture loss and fat absorption during frying for different varieties of plantain. J Sci Food Agric, 79:291–299

8. Dufour, D. (2007) Musáceas: alimentación y salud. Oportunidades de transformación. Seminario mundial sobre platano y banano, Montenegro, ICA, CIRAD, CIAT, Asohofrucol, Fedeplatano, Colombia, 29- 31/08/2007.

9. Dury S., Bricas N., Tchango-Tchango J., Temple L., Bikoi A. (2002). The determinants of urban plantain consumption in Cameroon. Food Quality and Preference 13(2): 81-88.

10. Eggleston, G., Swennen R., Akoni, S. (1992). Physicochemical studies on starches isolated from plantain cultivars, plantain hybrids and cooking bananas. Starch/Stärke, 44 (4): 121-128.

11. Ferris R.S.B., Ortiz R., Vuylsteke D. (1999). Fruit quality evaluation of plantains, plantain hybrids, and cooking bananas. Postharvest Biology and Technology, 15 (1): 73-81.

12. Firmin, A. (1994). Effect of home food processing methods on the nutritional value of plantains in Cote d'Ivoire. Tropical Science, 34(3):274-281, 1994.

13. Jullien, A., Malezieux, E., Michaux Ferriere, N., Chillet, M., Ney, B. (2001). Within-bunch variability in banana fruit weight: Importance of developmental lag between fruits. Annals of Botany, 87 (1): 101-108.

14. Gold, C.S., Kiggundu, A., Abera, A.M.K., Karamura, D. (2002). Diversity, distribution and farmer preference of Musa cultivars in Uganda. Experimental agriculture, 38 (1): 39-50.

15. Kachru, R. P., K. Nachiket Kotwaliwale, Balasubramanian D. (1995). Physical and mechanical properties of green banana (Musa paradisiaca) fruit. Journal of Food Engineering, 26 (3): 369-378.

16. Krauss U., Figueroa R., Johanson A., Arévalo E., Anguiz R. Cabezas O., García L. (1999). Musa clones in Peru: classification uses, production potential and constraints. INFOMUSA, 8 (2): 19 26.

17. Lancaster, P. A. and D. G. Coursey (1984). Banana and Plantains. Traditional post-harvest technology of perishable tropical staples. F. A. S. Bulletin. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations: Chap. E http://www.fao.org/docrep/X5045E/x5045E08.htm#E.%20Bananas%20and%20plantains.

18. Lemaire, H., Reynes M., Ngalani J. A., Tchango T. Guillaumont A. (1997). The suitability of plantain and cooking bananas for frying. Fruits, 52 (4): 273-282.

19. Lemchi J.I., Tshiunza M., Onyeka U., Tenkouano A. (2005 Factors driving the adoption of cooking banana processing and utilization methods in Nigeria. African Journal of Biotechnology, 4 (11): 1335-1347.

20. da Mota V. R., Lajolo F. M., Ciacco C., Cordenunsi R. B. (2000). Composition and Functional Properties of Banana Flour from Different Varieties. Starch/Stärke, 52 (2-3): 63–68.

21. Ngalani, J. A. and J. Tchango Tchango (1998). Cooking qualities and physicochemical changes during ripening in some banana and plantain hybrids and cultivars. Acta Horticulturae 490:571-576.

22. Price N. S. (1999). Highland bananas in Colombia INFOMUSA, 8 (2): 26-28.

23. Qi B., Moore K.G., Orchard J. (2000). Effect of cooking on banana and plantain texture. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48(9): 4221-4226.

24. Wainwright, H. (1992). Improving the utilization of cooking bananas and plantains. Outlook on Agriculture, 21(3): 177-181.

25. Zhang P., Whistler R. L., BeMiller J. N., Hamaker B. (20 Banana starch: production, physicochemical properties, digestibility — a review. Carbohydrate Polymers, 59: 443–458

EFECTO DEL PROCESO DE CONCENTRACIÓN EN LAS PROPIEDADES DE JUGO DE TUNA

Rodríguez-Martinez V., Sosa-Morales M.E. y Vélez-Ruiz J.F.
Departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Universidad de las Américas, Puebla, Santa Catarina Mártir, Cholula, 72820 Puebla, México. e-mail: jorgef.velez@udlap.mx

Palabras clave: tuna, jugos, concentrados, propiedades reológicas

RESUMEN

La tuna (*Opuntia* spp.), fruto del nopal, se ha desarrollado de manera silvestre y por cultivo humano desde hace miles de años en México. Debido a que su tiempo de vida útil es corto, se consume principalmente fresca y sus pocos productos derivados se procesan artesanalmente. Una opción de procesamiento es la obtención de jugos y concentrados de tuna. En este trabajo se obtuvieron los jugos de tuna Villanueva y Cardona y sus concentrados; evaluando sus propiedades con el fin de observar la estabilidad que presentan bajo condiciones de almacenamiento refrigerado (10 °C) por un mes. Se obtuvo el jugo de tuna y se concentró en un rotavapor a vacio hasta alcanzar diferentes grados de concentración (40 ± 2, 55 ± 2 y 60 ± 2 °Bx).

En cuanto a las propiedades fisicoquímicas de los jugos, se encontraron similitudes entre ambas variedades de tuna en los valores de °Bx, densidad, humedad, y pH. Respecto a las propiedades reológicas, se encontró que el modelo de Ley de Potencia presentó un mejor ajuste para los datos experimentales, ya que el comportamiento presentado por la mayoría de los sistemas fue de tipo pseudoplástico. Se observó que el coeficiente de consistencia (K) para ambas variedades presenta dependencia de la temperatura y de la concentración; sin embargo para los concentrados de la variedad Cardona hubo dependencia del tiempo. En cuanto al índice de flujo (n) ambas variedades presentan dependencia de la concentración, y sólo los jugos de la variedad Cardona presentan dependencia de la temperatura. En el análisis microbiológico, los valores de UFC/mL de todos los fluidos estudiados se encontraron por debajo de los límites de la Norma Mexicana para jugos pasteurizados, por lo que los jugos mostraron estabilidad microbiológica.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la FAO (1995), la tuna es producida en alrededor de veinte países del mundo, pero en la mayoría de éstos, es un producto secundario. México es el primer productor mundial de tuna de diferentes variedades, pero desafortunadamente no existe una industria para el procesamiento de la tuna; el consumo de este fruto es principalmente fresco con un periodo de vida útil muy corto (Flores-Valdez y Corrales-Garcia, 2003). La tuna no puede almacenarse en refrigeración por periodos prolongados ya que sufre daño por frío, que se manifiesta en la cáscara como depresiones, picado o manchas de color pardo (Kader, 2005). En consecuencia, los productores del país están buscando nuevas alternativas para darle un valor agregado a este fruto, entre ellas se encuentra la elaboración de bebidas como jugos, néctares, refrescos, vinos, licores y aguardientes (Flores–Valdez et al., 1997). La obtención de jugos se debe completar con la concentración para aumentar la vida de anaquel, pero la concentración por evaporación al implicar temperaturas altas genera cambios en las propiedades del jugo Por lo anterior se realizó un estudio para conocer el efecto de la concentración y el almacenamiento de jugos concentrados de dos variedades de tuna, Villanueva y Cardona.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterizacion de la Materia Prima

Se seleccionaron dos variedades de tuna:Villanueva (*Opuntia ficus-indica*) adquirida en Puebla, Pue. y Cardona (*Opuntia streptacantha*), comprada en Zacatecas, Zac.

Se determinó la proporción pulpa/semilla de la tuna, la humedad por el método 925.45 (AOAC, 2000), y la densidad por el método de desplazamiento en agua (Surmacka-Szvzesni, 1983). La textura de la tuna fresca se midio utilizando un analizador TA-XT2 (Stable Micro Systems, Haslemere, Inglaterra) mediante una prueba de compresión al 25% con plato de 52 mm de diámetro y velocidad de 1 mm/s (Chen y Hoseney, 1995) y una prueba de penetración empleando una aguja de 3mm, distancia de 6 mm y misma velocidad de descenso (Del Valle et al., 2005; Beirão–da-Costa et al., 2006).

Obtención y Concentración del Jugo

El jugo se obtuvo usando un extractor (Turmix de México), dejando en reposo 10-15 min hasta que separó de manera natural de la pulpa. La pulpa se retiró manualmente y el jugo se colocó en bolsas que se congelaron a -40 °C. Se descongeló el jugo y se concentró en lotes de jugo de 250 mL por carga.

La concentración del jugo, se llevó a cabo en un Rotavapor R 111 con baño mod. 461 (marca Büchi, BÜCHI Labortechnik AG, Flawil, Suiza) y se utilizó una bomba de vacío tipo 1RF3 055-4YC41 (SIEMENS, Guadalajara, Jal. México), a una presión de 508 mm de Hg. El tiempo de residencia varió de 25 a 35 minutos, y la temperatura del baño se incrementó de 55 a 85 °C, aproximadamente 10°C por cada 10 minutos.

Medición de Propiedades Fisicoquímicas del Jugo

El pH se midió por inmersión directa del electrodo previamente calibrado, la acidez expresada como ácido cítrico fue obtenida siguiendo el método 942.15 (AOAC, 2000), los sólidos solubles fueron medidos con un refractómetro digital Atago y se calculo el índice de madurez (IM) de la tuna, dividiendo los sólidos solubles entre el porcentaje de acidez. La densidad se determinó utilizando picnómetros de Fisher, calculando la densidad relativa (Zainal et al., 2000). El color fue medido usando un colorimetro ColorGard System 05 usando el modo de reflectancia y expresado por medio de los parámetros de Hunter L, a y b.

Propiedades Reológicas:

Se utilizó el adaptador para muestra pequeña (10.5 mL) en un viscosímetro Brookfield DV-III (Brookfield Engineering Laboratories, Stoughton, MA E.U.). Después del ajuste a cero, se colocó la aguja SC4 – 27. Las mediciones se realizaron a 10 y 25°C. Haciendo un barrido de revoluciones, se calcularon la velocidad de deformación (γ) y el esfuerzo cortante (τ) por medio de las ecuaciones proporcionadas por el fabricante:

$$\gamma = \frac{2\omega R_c^2}{(R_c^2 - R_b^2)} \qquad (1)$$

Donde γ es la velocidad de corte (s^{-1}), R_c es el radio de la camara (0.9525 cm), R_b es el radio de la aguja (0.5880 cm) y ω es la velocidad angular calculada con

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \qquad (2)$$

siendo N las revoluciones por minuto de la aguja utilizada en el viscosímetro.

$$\tau = \frac{M(T_{max})}{2\pi R_b^2 L} \qquad (3)$$

Donde: τ es el esfuerzo cortante, M es la lectura del viscosímetro/100, T_{max} es el torque máximo (673.7 dinas-cm) y L es la longitud efectiva de la aguja (3.9290 cm).

Para la modelación de los datos, se utilizaron los modelos de Ley de Potencia (Ec. 4) y Herschel–Bulkley (Ec. 5)

$$\tau = K\gamma^{n} \quad (4)$$

$$\tau = \tau_0 + K\gamma^{n} \quad (5)$$

A los valores obtenidos por estos modelos se les realizaron las pruebas de bondad de ajuste PEM o porcentaje de error medio (Ec. 6) y RMSE o raíz cuadrada del error medio (Ec. 7), que se obtuvieron con los valores experimentales y predichos:

$$\frac{100}{n}\left[\sum_{i=1}^{n}(\tau\exp - \tau pred)\right] \quad (6)$$

$$\frac{1}{n}\left[\sum_{i=1}^{n}(\tau\exp - \tau pred)^2\right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Análisis Microbiológico

Se determinaron los mesófilos aerobios con el método presentado por la NOM-092-SSA1-1994, utilizando la técnica de siembra en profundidad y como medio de cultivo AGAR nutritivo, e incubando a una temperatura de 35 ± 2 °C durante 48 ± 2 horas para posteriormente realizar la cuenta de las colonias. Los mohos y levaduras fueron contados siguiendo el método presentado por la NOM-111-SSA1-1994, usando la técnica de siembra en profundidad. El medio de cultivo usado fue agar papa–dextrosa acidificado con ácido tartárico al 10%, la muestra fue incubada a 25 ± 1 °C por 5 días.

Análisis estadístico

Se utilizó el software MINITAB® Release 14 haciendo un análisis de varianza de una vía o ANOVA con un 95% de confianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las propiedades fisicoquímicas de la tuna fresca se muestran en las tablas 1 a 3. Se puede observar que la variedad Villanueva tiene una mayor cantidad de pulpa y menor cantidad de semillas, esto puede deberse principalmente a que es una tuna que se ha cosechado de un plantío, no de manera silvestre como la Cardona, y por lo tanto ha pasado a través de una selección y tiene condiciones apropiadas para su crecimiento como son el abono, la poda y el riego (Flores–Valdez et al., 1997).

Tabla 1. Proporción de Componentes en Tuna Fresca.

Variedad	Cáscara(%)	Pulpa (%)	Semilla(%)
Villanueva	38.15±8.61	57.70±9.10	4.15±1.07
Cardona	52.37±2.65	40.52±1.66	7.11±2.62

Las dos variedades de tuna mostraron similar contenido de humedad. De acuerdo con los datos presentados por Fuentes-Rodríguez y López-González (2004), la humedad de las tunas del país varían del 70 al 93% dependiendo de las condiciones de la edad de las pencas y si el cultivo es silvestre o no.

Tabla 2. Propiedades Fisicoquímicas de la Tuna.

Variedad	Humedad (%)	Densidad (kg/m³)	pH
Villanueva	82.88±4.3	1009.35 ±60.	5.98±0.2
Cardona	82.16±1.7	1005.59 ±62	5.75±0.2

La densidad de la tuna resultó ser mayor que la del agua, al igual que otros frutos como el zapote y la guayaba (Pantastico, 1979). Los valores de pH son semejantes al reportado por Argáiz–Jamet (1999), de 5.77 para la tuna verde (*Opuntia amycleae*).

Tabla 3. Acidez, Sólidos Solubles y Madurez de Tuna.

Variedad	Acidez (%)	°Bx	Índice de Madurez
Villanueva	0.09±0.01	13.07 ± 1.4	147.62 ± 25
Cardona	0.07±0.02	15.39 ± 0.4	240.09 ± 56

La baja acidez de la tuna (0.08 en promedio) es comparable a los datos reportados por Arnaud-Viñas et al. (1997) para otros frutos de cactáceas como la pitaya con 0.065 g/100 mL, el tunillo con 0.075 g/100 mL y la jiotilla con 0.095 g de ácido cítrico/100 mL.

Los sólidos solubles de las tunas estudiadas indican buen grado de maduración, de acuerdo a lo reportado por Reyes-Agüero et al. (2004) que establecen un rango entre 10.0 a 17.0 °Bx, para gran parte de las variedades de México.

De los valores reportados por Arnaud-Viñas et al. (1997) para °Bx y acidez se obtienen índices de madurez para la pitaya de 177.08, para el tunillo de 140.00 y para la jiotilla de 120.42, que al compararlos con los obtenidos para las tunas Villanueva y Cardona, resulta notorio que el índice de madurez de ésta última es mucho mayor; por lo que se puede inferir que el grado de madurez de la tuna Cardona era mayor al de la variedad Villanueva. La madurez también se reflejó en la textura, ya que ambas pruebas de compresión y penetración arrojaron valores mas altos (mas resistencia de la cáscara) para la Villanueva, o fruto menos maduro.

Jugos Concentrados

Los concentrados de jugo de tuna variedad Villanueva tuvieron 42, 53 y 58°Bx (nomenclatura: V42, V53 y V58), mientras que los de la variedad Cardona alcanzaron 42, 55 y 60°Bx (nomenclatura: C42, C55 y C60).

El pH de los jugos concentrados de la variedad Villanueva (6.88-7.31) fue mayor que el medido para concentrados de tuna Cardona (4.40-5.40) con un pequeño decremento durante la refrigeración.

Como se esperaba, la densidad de los concentrados fue mayor, con valores entre 1190 y 1290 kg/m³, y sin cambio durante el almacenamiento.

Los concentrados de tuna Villanueva mostraron el color morado típico de la fruta, mientras que los de variedad Cardona estuvieron en los tonos verde claro, por la variedad de tuna. Hubo mayor diferencia de color en los concentrados de tuna Villanueva que en los de tuna Cardona durante el almacenamiento. A diferencia de los jugos concentrados de la variedad Villanueva, los de la tuna Cardona presentan mayor estabilidad en color, la tabla 4 resume los cambios en color, tomando como referencia la primera semana.

Tabla 4. Cambios en Color (ΔE) de Los Concentrados

Semana	V42	C42	V53	C55	V58	C60
2	2.03	0.93	2.88	0.95	1.45	3.29
3	3.63	1.21	2.19	1.26	1.50	0.82
4	5.35	0.27	3.73	1.53	1.80	0.80

Las propiedades reológicas (coeficiente de consistencia: K en mPa s^n, e índice de flujo: n adimensional) de los concentrados correspondientes a ambas variedades se muestran en las tablas 5 a 7.

Tabla 5. Propiedades Reológicas de Jugos V42 y C42

	10°C (V)		10°C (C)		25°C (V)		25°C (C)	
Sem	K	n	K	n	K	n	K	n
0	120	0.50	14	1.0	89	0.83	10	1.0
1	173	0.78	8.4	1.0	102	0.77	8.0	1.0
2	126	0.80	4.1	1.0	81	0.80	2.2	1.0
3	112	0.82	13	1.0	69	0.86	17	0.8
4	108	0.83	12	1.0	81	0.80	5.9	1.0

En términos generales, se aprecia el comportamiento reoadelgazante o pseudoplástico y una mayor consistencia de los concentrados de la tuna Villanueva, en comparación con el comportamiento newtoniano y una menor viscosidad de los fluidos de la tuna Cardona.

Tabla 6. Propiedades Reológicas de Jugos V53 y C55

	10°C (V)	10°C (C)	25°C (V)	25°C (C)
Sem	K n	K n	K n	K n
0	2369 0.61	573 0.65	1158 0.83	531 0.60
1	938 0.84	689 0.60	730 0.75	511 0.56
2	1481 0.58	694 0.61	890 0.73	467 0.59
3	1117 0.81	760 0.65	898 0.76	467 0.59
4	1236 0.79	708 0.68	1107 0.68	641 0.60

Como consecuencia de la concentración, claramente se acentúa el comportamiento no newtoniano y el aumento en la viscosidad para ambos concentrados. Los concentrados de la tuna Cardona también muestra el comportamiento de un fluido reoadelgazante pero con una menor consistencia.

Tabla 7. Propiedades Reológicas de Jugos V58 y C60

	10°C (V)	10°C (C)	25°C (V)	25°C (C)
Sem	K n	K n	K n	K n
0	3188 0.62	925 0.78	2376 0.61	488 0.72
1	3188 0.62	768 0.87	2031 0.67	623 0.70
2	3893 0.56	698 0.80	2187 0.63	537 0.64
3	3783 0.59	927 0.85	2689 0.56	656 0.72
4	3762 0.61	981 0.80	1938 0.66	623 0.70

El efecto de la temperatura es diferente en los concentrados de las tunas Villanueva y Cardona.

Del análisis de superficie de respuesta se desarrollaron las ecuaciones para ambas variedades. En el desarrollo de cada ecuación se planteó un polinomio de segundo grado, y se eliminaron aquellos parámetros que no ejercían un efecto significativo en la ecuación. Las ecuaciones propuestas para los concentrados de la variedad Villanueva son las siguientes:

$$K = 26.24 - 1.263X + 0.208T + 0.015X^2 - 0.005XT \quad (8)$$

$$n = -0.949 + 0.082X - 0.001X^2 \quad (9)$$

El coeficiente de consistencia del jugo concentrado de la variedad Villanueva, no depende del tiempo y tiene un ajuste del 91.9%. Para el índice de flujo, se encontró que únicamente la concentración y su ajuste es del 64.1%.

Mientras que para los concentrados de la variedad Cardona las ecuaciones quedan de la siguiente forma, con ajustes de 95 y 75%, respectivamente :

$$K = -4.813 - 0.044t + 0.157X + 0.035T + 0.014t^2 - 0.001X^2 - 0.001XT \quad (10)$$

$$n = 11.987 - 0.420X - 0.005T + 0.004X^2 \quad (11)$$

Donde: K es el coeficiente de consistencia (Pa s^n), n es el índice de flujo (adimensional), X es la concentración del concentrado (°Bx), y T es la temperatura (°C).

Finalmente, en el análisis microbiano de los concentrados para ambas variedades de tuna, el número de UFC/mL resultó por debajo del máximo estipulado por la NOM-131-SSA1-1995 para jugos y néctares pasteurizados; para mesófilos aerobios 100 UFC/mL, y para mohos y levaduras 25 UFC/mL.

CONCLUSIONES

El uso de la tuna para la elaboración de jugos concentrados es una opción para aprovechar el remanente de la cosecha, dándole un valor agregado y conservación para que posteriormente pueda ser utilizado en la producción de algún otro producto derivado.

Las variedades de tuna empleadas en este estudio, presentan diferencias significativas en tamaño, forma, color y proporción de pulpa; sin embargo en cuanto a sus propiedades físico químicas como la humedad, la densidad, los sólidos solubles totales (°BX) y el pH los valores obtenidos son similares.

Durante la concentración el jugo de la variedad Villanueva presentó degradación de color, pasando de color verde a amarillo y separación de fases, cuando el jugo se mantenía por más de 40 minutos en el rotavapor a temperaturas bajas en el baño, mientras que el jugo de variedad Cardona tuvo mejor estabilidad durante el procesamiento y almacenamiento. También presentó menor rendimiento durante la concentración debido a que la presencia de materiales solubles en el jugo en mayor cantidad que los presentes en variedad Cardona, y que durante la concentración se adhieren en las paredes del matraz.

En cuanto a las propiedades fisicoquímicas, los jugos concentrados poseen densidad similar, sin embargo los valores de pH son cercanos a la neutralidad para la Villanueva y ácidos para la Cardona. Los parámetros de color de los concentrados de la variedad Cardona presentan mayor estabilidad, al mantener los parámetros de color durante el almacenamiento. El jugo que presentó mayor cambio en cuanto a color fue el concentrado a 42 °Bx de Villanueva, cambió su tono de verde amarillento a amarillo oscuro.

En referencia a las propiedades reológicas, la mayoría de los datos ajustaron, al modelo de Ley de Potencia, presentando un comportamiento pseudoplástico; exceptuando el jugo C42 con un comportamiento Newtoniano. En cuanto al efecto de la temperatura, la concentración y el tiempo en K y n, se encontró que para el coeficiente de consistencia, los jugos procedentes de tuna Villanueva no presentan dependencia al tiempo a diferencia de los jugos concentrados de tuna Cardona. Y para el índice de flujo éstos últimos presentan dependencia tanto de la concentración como de la temperatura, a diferencia de los jugos concentrados de la variedad Villanueva los cuales sólo muestran dependencia de la concentración.

REFERENCIAS

Arnaud-Viñas, R., Santiago-García, P. y Benito-Bautista, P. 1997. Agroindustria de algunos frutos. En "Suculentas mexicanas. Cactáceas" Ed. C. Valles-Septién, L. Rodríguez-Pérez. p. 79-85. CVS Publicaciones. México.

Argáiz-Jamet, A. 1999. Conservación y estabilidad de tuna (Opuntia amycleae) conservada por métodos combinados. En "Estudios básicos y tecnológicos conducentes a un mejor aprovechamiento de la tuna (*Opuntia amycleae*)". Reporte de Proyecto CONACYT, Clave 960102024. Universidad de las Américas-Puebla. México.

Beirão-da-Costa, S., Steiner, A., Correia, L., Empis, J. y Moldão – Martins, M. 2006. Effects of maturity stage and mild heat treatments on quality of minimally processed kiwifruit. Journal of Food Engineering. 76: 616 – 625.

Chen, W.Z. y Hosenet, R.C. 1995. Development of an objective method for dough stickiness. Food Science and Technology. 28: 467 – 473. Citado por M. C. von Atzingen y M. E. Machado – Pinto – e – Silva. 2005. "Evaluation of textura and color of starches and flours in preparations without gluten". Ciencia y Tecnologia Alimentaria. 4(5): 319 – 323.

Del Valle, V., Hernández-Muñoz, P., Guarda, A. y Galotto, M. J. 2005. Development of a cactus – mucilage edible coating (Opuntia ficus indica) and its application to extend strawberry (Fraharia ananassa) shelf – life. Food Chemistry. 91: 751 – 756.

Flores-Valdez, C.A., Ramírez-Moreno, P.P., Luna-Esquivel, J. M. y Ponce-Javana, P. 1997. Diagnóstico y programa de desarrollo del sistema producto tuna. SAGAR, Universidad Autónoma Chapingo. México.

Fuentes-Rodríguez, J.M. y López-González, J.J. 2004. El nopal forrajero en el norte de México. En "El Nopal. Tópicos de Actualidad". Ed. G. Esparza-Frausto, R. D. Valdéz-Cepeda, S. de J. Méndez-Gallegos. p. 182-209. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Kader, A.A. 2005. Tuna, recomendaciones para mantener la calidad poscosecha. Post-harvest Technology Research & Information Center. University of California, Davis. Disponible en: http://postharvest.ucdavis.edu/produce facts/index.shtml.

Pantastico, E.B. 1979. Estructura de frutas y hortalizas. En "Fisiología de la posrecolección de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales" Ed. Er. B. Pantastico. p. 17-40. C.E.C.S.A. México.

Surmacka-Szvzesni, A. 1983. Physical Properties of Foods: What They Are Their Relation to Other Food Properties. En "Physical properties of foods". Ed. M. Peleg y E. B Bagley. Pp.1-41. AVI Publishing Company. Connecticut, E.U.

Zainal, B.S., Abdul-Rahman, R., Ariff, A.B., Saari, B.N. y Asbi. B.A. 2000. Effects of temperature on the physical properties of pink guava juice at two different concentrations. Journal of Food Engineering. 43(1): 55–59.

USO DE ENZIMAS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DE LA GELATINA

Serna-Cock Liliana*, Pineda Cuervo Dario, Ayala Aponte Alfredo***.**
Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira
****Productora de Gelatina S.A. , PROGEL***
*****Universidad del Valle.***

PALABRAS CLAVES: reología, gelatina comestible, carnaza bovina

RESUMEN

La viscosidad y el poder gelificante, son dos propiedades reológicas que determinan el precio de la gelatina en el mercado internacional, éstas propiedades dependen de la materia prima, de la forma de extracción del colágeno y de su método de concentración. En este estudio se evaluó el efecto de aplicar una proteasa alcalina en carnaza entera bovina sobre el poder viscosante y gelificante de la gelatina comestible obtenida de ésta materia prima. Los resultados se compararon con los resultados obtenidos con carnaza entera sin pretratamiento enzimático. Los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas entre los tratamientos. La mayor viscosidad y el mejor poder gelificante se obtuvieron con el uso de proteasa alcalina: En trece horas de proceso el 51.3% de la producción presentó viscosidades mayores a 42 mP y el 65.5% de la gelatina presentó poder gelificante por encima de 300 g. Sin pretratamiento enzimático el 7.7% de la producción presentó viscosidades mayores a 42 mP y el 41% con alto poder gelificante. Estas diferencias inciden directa y favorablemente en el precio de la gelatina.

INTRODUCCION

La gelatina se obtiene comercialmente por hidrólisis selectiva del colágeno (Saddler y Horsey, 1987, Budavari, 1996), y éste se extrae del tejido conectivo de pieles procedentes de bovinos (carnaza), cerdos, pescado y huesos de animales (Budavari, 1996). Los pretratamientos de las pieles ó los huesos son esenciales para eliminar el material no colagenoso de la materia prima y determinan en parte la calidad y los rendimientos en gelatina. Las aplicaciones de la gelatina en alimentos, preparados farmacéuticos, aplicaciones biomédicas y productos fotográficos, se basan principalmente en su viscosidad, su capacidad para formar geles y en su eficacia como coloide protector (Cole, 2000; Ledward, 2000; Curme y James, 1977; Petersen y Yates., 1977; Hudson, 1994). Las propiedades reológicas de viscosidad y gelificación dependen de la materia prima, del método de extracción, del número de enlaces rotos en las moléculas de colágeno original, del pH, la temperatura empleada en la extracción y del número de electrolitos en el material resultante (Asghar y Henrickson, 1982, citado por Olsen *et al*., 2003; Nicolas-Simonnot, *et al*., 1997; Cole y McGillt, 1988; Fennema, 2000). La fijación de precios de la gelatina en el mercado internacional esta determinada por su viscosidad y por su poder gelificante denominado Bloom. La viscosidad de una gelatina al igual que el poder gelificante se clasifica en alto, medio y bajo. Las viscosidades altas se presentan en valores mayores a 42 milipoises (mP), las viscosidades medias se dan entre 37 – 41.9 mP y las viscosidades bajas se presentan con valores menores a 36.9 mP. El bloom alto se clasifica en A, si su poder gelificante es mayor a 300 gramos y en B, si su poder gelificante es de 276 a 299 gramos. El bloom medio se clasifica en tipo CA si su poder gelificante esta entre 251-275 g y en tipo C si su poder gelificante está entre 226 -250 g. El bloom bajo se clasifica en tipo D si su poder gelificante es menor a 250 g (Igoe, 1983, CCI, 1984). En los procesos de producción de gelatina tipo B para reducir el tiempo de acondicionamiento de la materia prima, se ha propuesto el uso de enzimas (Novo industries, 1997, Cole y McGillt, 1988). Las endopeptidasas cumplen ésta función ya que son proteasas que hidrolizan las cadenas peptidicas en las regiones internas alejadas de los extremos carboxi y aminoterminal (Kenny,1999), y aunque hidrolizan selectivamente los constituyentes no colagenosos de la piel, eliminan las proteínas no fibrilares como albúminas y globulinas (Rao *et al*., 1998) y han sido utilizadas rutinariamente en la elaboración de quesos, hidrolizados de soya, elaboración de pan (Perea *et al*., 1993; Rao *et al*., 1998; Ward, 1977; Neklyudor *et al*., 2000; Grupta *et al*., 2002;), producción de dipeptidos (Barros *et al*., 1999, 480-488) y tripeptidos (So *et al*., 2000); existen escasos reportes en la literatura científica del efecto que tiene el uso de proteasa alcalina en el pretratamiento de carnazas bovinas sobre las propiedades reológicas de viscosidad y poder gelificante. Por lo anterior, en este trabajo se evaluó el efecto de utilizar una endopeptidasa tipo serina en el pretratamiento de carnaza entera sobre las propiedades reológicas de viscosidad y poder gelificante de la gelatina en polvo, obtenida en trece horas de proceso.

MATERIALES Y METODOS

Materia prima

Se utilizó carnaza bovina entera proveniente de bovinos Cebú de la Costa Atlántica (Colombia) en edad promedio de 2.5 años, la materia prima se sometió a procesos de producción en discontinuo de gelatina tipo B.

Pretratamiento de materias primas

En la tabla 1. se describen las convenciones utilizadas en los experimentos. Para cada experimento se emplearon 7 toneladas de carnaza y temperatura de 20°C. La carnaza se cortó en cuadros de 10x10 cm y se lavó durante dos horas con agua tratada mediante acción física de golpeo. La materia prima se cargó en tanques de concreto (redondos con agitación tipo paleta) y se sometió a proceso de tratamiento con cal (encalado) utilizando 250 kg de cal (60%CaO) durante 20 ó 30 días dependiendo de la aplicación o no de enzima respectivamente. Transcurridos 10 días de encalado, a la mitad de los tanques de experimentación se les adicionó endopeptidasa del tipo serina, esperasa 8.0 L a una concentración de 250 ppm, el mismo tratamiento enzimático se repitió a los 15 días de encalado y la enzima se dejo actuar por 5 días más. Los tanques que no recibieron tratamiento enzimático se dejaron en encalado durante 30 días con un pH de 12.6 mediante adición de CaO en exceso.

Transcurrido el tiempo de encalado, se lavó la carnaza con agua hasta alcanzar un pH de 11.3 durante 12 horas, posteriormente se realizó el proceso de desencalado utilizando H_2SO_4 hasta obtener un pH de 1.85 ± 0.05; éste pH se mantuvo por 10 horas (acidulación). En el desencalado se adicionó además bisulfito de sodio en una proporción de 3 kg/ ton, como agente blanqueador. Finalmente la materia prima se lavó con agua durante 12 horas, hasta conseguir un pH de 3.0.

Tabla 1. Convenciones utilizadas en los experimentos y pretratamiento utilizado en las materias primas

EXPERIMENTO	CONVENCION	MATERIA PRIMA	PRETRATAMIENTO DE MATERIA PRIMA
1	E-Enzima	carnaza entera húmeda	Encalado con adición de esperasa
2	E-No Enzima	carnaza entera húmeda	Encalado sin adición de enzima

Conversión de colágeno a gelatina

La gelatina se obtuvo por la solubilización del colágeno mediante la adición controlada de agua caliente. Para la extracción del colágeno, la materia prima pretratada se tranportó por gravedad a tanques de acero inoxidable, se dejó escurrir y se le adicionó agua a 80°C con recirculación durante 35 minutos haciéndola pasar por un precalentador de vapor. La materia prima se dejo en reposo hasta alcanzar 30°C. Posteriormente se realizó el proceso de extracción controlada del colágeno, utilizando agua a 80°C durante 16 horas). Se mantuvo un perfil térmico del extracto rico en colágeno que inició con 38°C y se aumento en un grado centígrado por hora durante las 12 primeras horas de proceso alcanzando una temperatura de 40°C , la cual se mantuvo constante hasta completar 20 horas de extracción de colágeno. Con este procedimiento se obtuvo un extracto acuoso rico en colágeno del 3% de sólidos totales.

Refinación

Para eliminar partículas indeseables, el extracto acuoso rico en colágeno se centrifugó a 5200g utilizando una centrifuga clarificadora – separadora de platos (Westfalia Samn 5036, Alemania), se filtró en un filtro de marcos y platos con lonas y tierras diatomáceas (Niro de 40 cm x 40 cm y de 20 m^2, Alemania) y se sometió a intercambio iónico para remover la dureza del extracto (columna catiónica Lewatit S-100 y una columna aniónica con resina tipo gel Lewatit M-500, Alemania).

Concentración

El extracto acuoso refinado se concentró a 18% de sólidos totales mediante un evaporador de triple efecto de placas al vacio (APV, USA),con un flujo de 2500 kg/h a una temperatura de entrada del producto de 80°C y de salida de 45°C, el pH se ajustó previamente a 4.7. El extracto concentrado se filtró y se concentró nuevamente hasta 30% de sólidos totales a un flujo de evaporación de 170 Kg/hr, con un flujo de alimentación de 424 Kg/h, temperatura de esterilización de 150°C a una presión de vacio de 630 mm de Hg (6 segundos) en el separador flash, para esto se uso un concentrador paraflash de placas al vacío (APV, USA).

Solidificación

El extracto concentrado se transportó mediante una bomba de pistones (modelo 28-35, USA) con un motor de 1Hp y 35 bares de presión a un intercambiador de calor de superficie raspada tipo horizontal concéntrico (modelo GL 031A, Inglaterra) con una temperatura de -10°C acondicionado con una placa con huecos para obtener un extracto sólido en tiras en forma de espagueti.

Secado, molienda y tamizado

Para obtener una distribución uniforme de lecho en el secador, el extracto en forma de espagueti se descargó sobre un conveyor oscilante provisto de una banda transportadora a una velocidad de 0.134 m/min. El secado se realizó en un secador de túnel con aire caliente cruzado (17000 m^3/hr, HR 25%) en seis zonas de secado a temperaturas ascendentes de 32, 36, 42, 48, 54 y 60°C. La gelatina seca proveniente del secador se partió en pequeños trozos mediante un triturador de dientes helicoidales, y para disminuir el tamaño de partícula, los trozos de gelatina se transportaron mediante un tornillo sin fin a un molino de martillo rotatorio provisto de un tamiz malla 40 (425 micrones). De cada uno de los tratamientos se tomaron muestras de gelatina en polvo cada hora durante las primeras trece horas de proceso. Las muestras se sometieron a pruebas reológicas de viscosidad y poder gelificante.

Método analítico

Los sólidos totales se midieron directamente en un refractómetro para gelatina (K-Patents Process Instruments, USA) Para medir la viscosidad se disolvieron 7.5 gramos de gelatina en 105 ml de agua destilada, se llevaron al baño María a 60°C por 15 minutos y la solución se llevó a un viscosímetro Viscosimetro tipo Ostwald (USA), provisto de dos pipetas volumétricas calentadas a 60°C y calibradas con glicerina bidestilada de densidad 1.23. La solución se depositó en las pipetas del viscosímetro y se midió el tiempo que demoró la solución de gelatina en llegar a un punto de referencia. Para obtener los resultados, se multiplicaron los tiempos obtenidos por la constante de cada pipeta volumétrica. Los resultados se expresaron como viscosidad en milipoises a una concentración de 6.66% y a una temperatura de 60°C. Para medir el poder gelificante, se disolvieron 7.5 g de gelatina en polvo en 105 ml de agua destilada utilizando jarras de vidrio bloom, las jarras se taparon con tapones de caucho y se dejaron en reposo por tres horas, posteriormente se llevaron a baño maría a 60°C durante 15 minutos y cada 5 minutos se agitaron. Las jarras se sacaron del baño y se dejaron a temperatura ambiente durante 15 minutos; posteriormente se pasaron a un baño termostático a 10°C durante 18 horas. Cumplido el tiempo a cada una de las jarras se les midió la dureza del gel, utilizando un gelómetro (Stevens-L.F.R.A, Inglaterra). La medida de la dureza del gel se determinó como el peso requerido para mover el émbolo del gelómetro una distancia de 4 mm.

Diseño estadístico

Para evaluar el efecto del pretratamiento enzimático de carnaza entera sobre las propiedades reológicas de viscosidad y poder gelificante, se utilizó un ANOVA de un solo factor (tipo de pretratamiento) con dos categorías, con adición de enzima y sin adición de enzima. Para todos los casos se realizaron tres replicas. Las variables de respuesta fueron viscosidad y poder gelificante.

RESULTADOS Y DISCUSION

En las figuras 1 y 2 se muestran respectivamente los promedios de los valores de viscosidad y poder gelificante en las 13 primeras horas de proceso para los dos tratamientos. En el ANOVA se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos para las dos variables respuesta con un nivel de confianza del 95%. Con E-Enzima, se presentaron valores de viscosidad entre 45.4 y 39.9 durante 13 horas de proceso de las cuales el 51.3% se consideraron viscosidades altas (mayor a 42 mP) y el resto de la producción se clasificó como viscosidades medias; en contraste, con el tratamiento E-No Enzima los valores de viscosidad oscilaron entre 41 y 35.8, de las cuales solo el 7.7% se consideraron viscosidades altas y el 92.3% viscosidades medias (ver figura 1) En la figura 2 se observa que al utilizar E-Enzima los valores del poder gelificante variaron entre 326 y 295 gramos durante trece horas; el 97.4% de la gelatina obtenida con este tratamiento presentó alto bloom, de los cuales el 61.5% se clasifico como tipo A (mayor a 300 g) y el 35.9% como tipo B (299-276 g); el 2.6% restante se clasificó como gelatina tipo CA (Bloom medio. entre 251-275 g). En contraposición para el tratamiento E-No Enzima, los valores del poder gelificante variaron entre 333 a 262 a gramos, el 87.2% de la gelatina obtenida por este proceso presentó alto bloom, (41% tipo A y 46.2% tipo B) y el 12.9% bloom medio (CA el 10.3% y C el 2.6%). Los mayores valores de viscosidad y de poder gelificante obtenidas con el uso de enzima, se explican por la baja actividad proteolítica de la enzima frente al colágeno nativo, por la alta actividad proteolítica de la enzima sobre el colágeno desnaturalizado y por la especificidad de la enzima para romper selectivamente los enlaces cruzados intermoleculares presentes en la fibras de colágeno; esto permite que en la conversión de colágeno a gelatina las fibras de colágeno sufran menor encogimiento y desorganización, y la estructura helicoidal triple sufra menor colapso en sus subunidades polipeptidas, ya que el rompimiento de enlaces covalentes, enlaces intra e intermoleculares y enlaces peptidicos es mas selectivo (McLain, 1997), comparados con el rompimiento de enlaces que experimenta la materia prima cuado solo se acondiciona en medio alcalino (Cole y Roberts, 1997) . La hidrólisis enzimática de éstos enlaces permite conservar en mayor medida el diámetro aparente de las moléculas y por ende conservar su masa, tamaño, volumen, estructura, asimetría molecular y cargas eléctricas, y permite aumentar las interacciones proteína-proteína y las interacciones proteína-agua; reflejándose esto un incremento en el coeficiente de viscosidad y en un aumento del poder gelificante. Estos resultados difieren parcialmente de los obtenidos por Cole and McGillt, (1988); quienes evaluando el efecto del acondicionamiento enzimático de pieles de animales de varias edades para la producción de gelatina encontraron que el pretratamiento enzimático no tenía ningún efecto sobre la viscosidad. De otro lado, el rompimiento especifico de los enlaces cruzados por acción enzimática permite, en el proceso de extracción del colágeno, que éste sea más soluble en agua. Analizando los respectivos rangos, desviaciones estándar y coeficientes de variación, se encontró que utilizando esperasa 8.0L en el pretratamiento de carnaza entera, se obtienen menores desviaciones estandar, y menores coeficiente de variación, lo que significa que la producción en 13 horas de procesamiento es mas uniforme y puede ofertarse a un precio mejor en el mercado internacional.

CONCLUSIONES

Con este trabajo se confirma la importancia que tienen los procesos enzimáticos en la industria de alimentos y se concluye especificamente que en el proceso de producción de gelatina tipo B, el uso de esperasa 8.0L para el pretratamieto de carnaza entera mejora las propiedades reológicas de viscosidad y de poder gelificante, lo que mejora los precios en el mercado internacional.

BIBLIOGRAFIA

ASGHAR, A.; HENRICKSON, R. 1982. "Chemical, biochemical, functional, and nutritional characteristics of collagen in food systems", *Adv. Food Res.* 28: 231– 372.

BARROS, R.; WEHTJE, E. Y ADLERCREUTZ, P. 1999. "Enhancement of immobilized protease catalyzed dipeptide síntesis by the presence of insoluble protonated nucleophile", *Enzyme Microbial. Technol.* 24:480-488

BUDAVARI, S. 1996. *Merck Index*, (12th ed.) Whitehouse Station, NJ: Merck.

CCI. 1984. *La gelatina: Panorama del mercado mundial, con especial referencia a las posibilidades de los paises en desarrollo.* Centro de Comercio Internacional UNCTAD/GATT. Ginebra. CCI. 109p.

COLE, B. 2000. *Gelatin. in F.J. Francis* (ed.) *Encyclopedia* of Food Science and Technology 2: 1183-1188. New York: Wiley. 1098

COLE, C. Y ROBERTS, J. 1997. "Further effects of animal age the alkali process gelatin manufactures from bovine hide". Proceedings of the Centinary Conference of the International Union of Leather Technologists and Chemists. London.

COLE, C.; MCGILLT, A. 1988. "The properties of gelatines derived by alkali and enzymic conditioning of bovine hide from animals of various ages". *Journal of the society of Leather Technologists and chemisty.* 72. 159-164

CURME, H. Y JAMES, T. 1977 *The theory of the photographic process*, 4th edn. Macmillan, New York, p. 45

FENNEMA, OWEN R. 2000. *Química de los alimentos.* Acribia, Zaragoza : Espana, 1256p..

GRUPTA, R.; BEG, Q. Y LORENZ, P. 2002. "Bacterial alcaline porteases: molecular approaches and industrial applications" *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 59:15-32

HUDSON, C.B. 1994. *Gelatine – Relating structure and chemistry to functionality. in K. Nishihari and E. Doi. Food Hydrocolloids: Structures, Properties, and Functions.* New York: Plenum.

IGOE, R.S. 1983. *Dictionary of Food Ingredients.* New York: Van Nostrand Reinhold.

KENNY, A.J. 1999. *Introduction: Nomenclature and classes of peptidases.* E.E Sterchi y W.Stöcker (eds), Proteolytic enzymes. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin. Ppl-8

LEDWARD, D.A. 2000. Gelatin, in G.O. Phillips and P.A. Williams *Food Hydrocolloids*: 67-86. Boca Raton: CRC.

MCLAIN, P.E. 1997. "Chemistry of collagen crosslinking: relationship to ageing and nutrition". *Advances in Experimental Medical biology*, 821: 603-618.

NEKLYUDOR, A.; IVANKIN, A. Y BERDUTINA, A. 2000. "Properties and uses of protein hydrolases", *Appl. Biochem. Microbiol.*, 36:452-459

NICOLAS-SIMONNOT, M.; TRÉGUER, V.; LECLERC, J.; SARDIN, M.; BRAJOOU, J.; MOY, J.; Y TAKERKART, G. 1997. "Experimental study and modelling of gelatin production

from bone powder: elaboration of an overall Kinetic écheme for the acid process", *Chemical Engineering Journal*, 67:55-64

NOVO INDUSTRIES.US Patent 4.064.008. 1997

OLSEN, D. YANG, CH. BODO, M.; CHANG, R.; LEIGH, S.; BAEZ, J.; CARMICHAEL, D.; PEREA, M.; HA¨MA¨LA¨INEN, E.; JARVINEN, M Y POLAREK, J. 2003. "Recombinant collagen and gelatin for drug delivery", *Advanced Drug Delivery Reviews*. 55:1547– 1567

PETERSEN, B.R. Y J.R. YATES, J. 1977. Gelatin extraction. US Patent # 4,064,008. Assigned to Novo.

PEREA, A.; UGALDE, U.; RODRIGUEZ, I. Y SERRA, J. 1993. "Preparation and characterization of whey protein hydrolysates: applications in industrial whey bioconversion processes", *Enzyme Microbiol. Technol.*, 15:418-423

RAO, B.; TANKSALE, A.; GHATGE, M. Y DESHPANDE, V. 1998. "Molecular and biotechnological aspecto f microbial porteases", *Microbiol. Mol. Biol. Rev*, 62:597-635

SADDLER, J.; Y HORSEY, P. 1987. "The new generation gelatins. A review of their history, manufacture and properties", *Anesthesiology*. 42:998– 1004.

SO, J.; SHIN, J. Y KIM, B. 2000. "Protease-catalyzed tripeptide (RGD) synthesis", *Enzyme Microbio. Technol.*, 26:108-114

WARD, A.G. AND A. COURTS. 1977. *The Science and Technology of Gelatin*. London, UK: Academic.

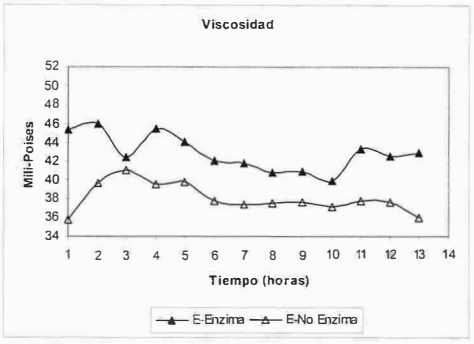


Figura 1. Variación de la viscosidad de la gelatina durante trece horas de procesamiento. E-Enzima: carnaza entera húmeda tratada con esperasa, E-No Enzima: carnaza entera húmeda sin pretratamiento enzimático

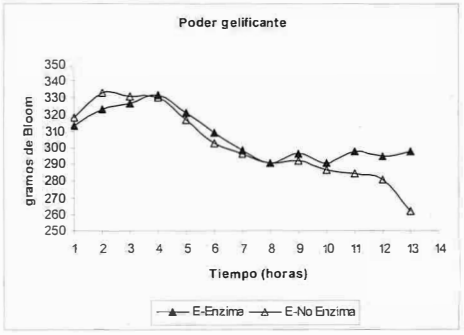


Figura 2. Variación del poder gelificante, Bloom durante trece horas de procesamiento de gelatina tipo B. E-Enzima: carnaza entera húmeda tratada con esperasa, E-No Enzima: carnaza entera húmeda sin pretratamiento enzimático.

PROPIEDADES REOLOGICAS DE ALGUNOS CREMOGENADOS DE MANGO (*Mangifera indica L)*

Guillermo Salamanca Grosso[1] Carolina Díaz Crismat; Boris Eduardo Salazar Mendoza
[1]GRUPO DE INVESTIGACIONES MELLITOPALINOLOGICAS Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD DEL TOLIMA
PBX +57(8) 264 42 19 Fax +57(8) 264 48 69
B. Santa Helena A.A. 546 - Ibagué, COLOMBIA. Email: salamancagrosso@gmail.com

Palabras clave: Tecnología de Alimentos. Mango. Propiedades Fisicoquímicas. Reología

RESUMEN

Se estudio el comportamiento de la viscosidad de cremogenados de mango (*Mangifera indica L)* en las variedades: Hilacha, Irwin, Springfield, Tommy, Van Dyke y Yulima. Utilizando un viscosímetro Brookfield DV-II+Pro, el comportamiento de los fluidos es del tipo seudoplastico, la variedad Irwin, presenta la menor variación al esfuerzo de cizalla en los dos estados de madurez estudiados, el mango Hilacha exhibe los mayores valores. La viscosidad es dependiente del contenido de sólidos solubles, materia en suspensión y contenido de pectinas. Los cremogenados presentan mayor viscosidad en los estados de menor madurez fisiológica y son significativamente diferentes a los observados en las muestras listas para el consumo.

Introducción

Los cremogenados de fruta son productos generados de la transformación de las pulpas y se han definido como materias primas susceptibles de fermentación pero no fermentas y que se obtienen por molturación, tamizado o ultrahomogenizacion de la parte comestible de frutas, enteras o peladas sin eliminar la fracción acuosa que constituye el zumo. El puré o pulpa, también se ha definido como el producto obtenido a partir de la fruta fresca, luego de eliminar mediante procedimientos físicos parte del agua que lo constituye. Los cremogenados de frutas como elaborados semiintegrales que son, han alcanzado una gran importancia económica en la industria alimentaria actual, mostrando un gran futuro comercial ya que son la base a partir de la cual se elaboran una amplia gama de productos finales como: zumos de fruta con pulpa y los néctares de fruta, mermeladas, alimentos infantiles y alimentos funcionales. El uso de estos como base para la elaboración de los productos relacionados, presenta una serie de ventajas bien definidas frente al método tradicional de utilizar la fruta como materia prima, ya que contribuye a la reducción de costos y volumen durante el almacenamiento, como también costos de trasporte de materias primas e incrementa la relación beneficio y contribuye positivamente la disminución de perdidas en poscosecha de frutas y hortalizas (Salamanca *et al*, 2006; Pacheco, et al, 2006). El mango (*Mangifera indica* L.), es un fruto de gran importancia en regiones tropicales y subtropicales. Se producen más de 14 millones de toneladas, correspondiendo el 65% de ésta producción a la India. El mango es un fruto con gran aceptación debido a su color, sabor agradable, aroma y particularmente es una buena fuente de vitaminas C y A. Los principales países exportadores de fruta de mango en su orden de importancia son Filipinas, Tailandia, México e India. Países como Brasil, Colombia y Venezuela, tiene un gran potencial de exportación a Estados Unidos y la Unión Europea, sin embargo, su la comercialización principalmente para Colombia y Venezuela, se ha visto restringida al comercio local, principalmente debido a la falta de canales de comercialización y posibilidades para su trasformación, a la falta de manejo y transporte inadecuados a los centros de abasto. Vale indicar que el mango después de cosechado tiene una vida de almacenamiento corta, que oscila entre 4 y 5 días a 22 °C, como ocurre en las zonas de producción y hasta 10 o 12 días a 12 °C en los comercios de abasto; es por este motivo es importante establecer métodos y condiciones óptimas para su conservación. En general los frutos de origen tropical desarrollan un conjunto de desórdenes fisiológicos conocidos como daños por el frío y los frutos de mango están sujetos a cambios y daños por el frío cuando se almacenan a temperaturas menores de 13°C, por lo tanto el almacenamiento prolongado es difícil. Las temperaturas comprendidas entre 12 y 13°C son consideradas óptimas para el almacenamiento de estos frutos. En Colombia las variedades de mayor demanda comercial son coincidentes con las nativas entre ellas el mango Hilacha (*Magdalena river*), Azúcar, Pechopaloma y Vallenato (Salamanca. *et al*, 2006). La oferta para las variedades mejoradas reside en las variedades: Albania, Irwin, Filipino, Kent, Keitt, Sprinfield, Sulfaida, Tommy Atkins y Van Dyke. El consumo de frutos de mango en el mundo ha pasado del consumo fresco a la demanda industrial para la elaboración y desarrollo de alimentos entre ellos néctares, refrescos, jugos, sorbetes y sobremesas gelificadas, gracias al contenido de sólidos solubles, pH favorable, tenor de pulpa, suculencia y contenido de fibra. (Siqueira *et al* 1988; Cerezal et al, 1995; Pelegrine, 1999). En la fabricación de productos y derivados de mango, se usa pulpa de fruta concentrada que se somete a procesado de industrialización, que demandan del conocimiento de las propiedades fisicoquímicas. Dentro de estas propiedades el comportamiento reológico es importante como diagnostico de la calidad y comportamiento en el procesado, así como en la validación y uso de equipos tales como bombas, y sistemas de agitación. (Ibarz. *et al*, 1996; Queiroz. Et al, 1996). Las principales alteraciones o modificaciones indeseables que se producen en zumos y derivados de fruta afectan a cambios en la textura, como ablandamientos, insolubilizaciones o pérdidas de capacidad de retención de agua; en el sabor, con desarrollo de sabores a acaramelado, rancidez u otros sabores extraños; en el color, por oscurecimientos o decoloraciones; y en el valor nutritivo por pérdida o degradación de vitaminas, proteínas y minerales (Tannenbaum, 1982). La inexistencia de datos reológicos para las frutas colombianas y para la industria nacional ha obligado a los productores a usar bases de datos de procesos realizados en otros países y para frutas de composición diferente a las producidas en zona andina e interandina. En la obtención de jugos, pulpas y cremogenados con destino a la industria, también se hace indispensable caracterizar sus propiedades que definen las condiciones de uso y generan valor agregado a las variedades según sean las necesidades de la industria.

En las determinaciones de viscosidad de los fluidos, usualmente se hace necesario considerar el esfuerzo cortante de cizalla (τ), que se puede entender como la fuerza (F) por unidad de área (A), necesaria para alcanzar un elemento de deformación (dinas cm^{-2}) conforme a la relación:

$$\tau(dinas/cm^2) = \frac{F}{A} \qquad \text{Ec-1}$$

La velocidad de corte ó cizalla (γ), se define como el cambio de velocidad dv a través de la distancia dh entre dos placas. Las unidades se expresan como reciproco del tiempo (s^{-1}). La velocidad de corte se incrementa a medida que la velocidad del plato superior aumenta y la distancia entre los dos platos se hace más pequeña. La relación que expresa esta variación es de la forma:

$$\gamma(1/s) = \frac{dv(cm/s)}{dh(cm)} \qquad Ec\text{-}2$$

Durante la evaluación de la viscosidad de líquidos, materiales semilíquidos o pastosos, el fluido entre los platos resiste el movimiento del plato superior, la resistencia al flujo entonces queda definida como viscosidad del material (η) y es en síntesis la relación entre el esfuerzo de corte aplicado (τ) y la velocidad de corte adoptada por el fluido (γ) representada por la ecuación:

$$\eta = \frac{\tau(1/s)}{\gamma(dina/cm^2)}$$

Existen dos tipos diferentes de comportamientos reológicos bien marcados que suelen presentar comportamiento Newtonianos o no y que pueden ser independientes o no del tiempo. En el primer caso la viscosidad es constante e independientemente del esfuerzo de corte al cual se somete el fluido, en el segundo caso la viscosidad depende del esfuerzo de corte aplicado. La mayoría de los materiales con alguna significancia industrial son no newtonianos. Diversos autores han investigado el comportamiento de purés y zumos de frutas, entre ellos algunos derivados de tomate, confituras de fruta, ketchup y mostaza francesa. El conocimiento de las propiedades de comportamiento al flujo y de deformación de los alimentos son imprescindibles en el diseño y dimensionado de equipos tales como cintas transportadoras, tuberías, tanques de almacenamiento, pulverizadores o bombas para el manejo de alimentos. Además, la viscosidad se utiliza para la estimación y cálculo de los fenómenos de transporte de cantidad de movimiento, calor y energía (Boger y Tiu. 1974; Rao, 1986; Manohar, *et al* 1990; Queiroz, 1998).

El comportamiento reológico de un fluido alimentario puede describirse según distintas ecuaciones que relacionan el esfuerzo cortante con la velocidad de deformación. En la literatura existen muchos modelos para describir este comportamiento, sin embargo son varios los autores (Odigboh y Mohsenin, 1975; Kokini, 1992) que coinciden al afirmar que uno de los modelos más comúnmente usados y de aplicación general para ajustar los datos experimentales y expresar cuantitativamente el comportamiento al flujo de los fluidos inelásticos independientes del tiempo es el modelo propuesto por Herschel y Bulkley. Existen alimentos en los que su comportamiento depende del tiempo de actuación del esfuerzo realizado sobre ellos. Finalmente, existe otro grupo de alimentos que se comportan como fluidos viscosos y sólidos elásticos a la vez, son los fluidos viscoelásticos.

Materiales y métodos

Se estudiaron cremogenados de mango de las variedades Hilacha (*Magdalena river*), Irwin, Sprinfield, Tommy Atkins Van Dyke y Yulima. Obtenidas a partir de frutos estandarizados mediante análisis de textura, sólidos solubles y pruebas de cromaticidad para dos estados de madurez identificados como (III y IV). En la tabla 1 se recogen los parámetros de pH, Brix y pectinas (g/100g) de cremogenados. En el estudio de variables fisicoquímicas se analizaron lotes de fruta seleccionada. Una vez elaborados los cremogenados se realizaron las determinaciones siguiendo las directrices del manual de métodos analíticos AOAC (1999). El contenido de sólidos solubles se determinó en la unidad refractométrica Eloptron de Schmidt-Haensch. El pH se determino usando un electrodo combinado de Ross (Orion Reseach) en la unidad ORION 420A. La fibra por valoración gravimétrica. Los resultados de las caracterizaciones fisicoquímicas, se analizaron siguiendo análisis de varianza y las diferencias entre medias fueron evaluadas con el test de comparaciones múltiples de *Tukey* con un nivel de significación del 5%. En todos los casos se uso Statgraphics plus™ 5.1 y Minitab 15™. En el procesado, luego de un proceso de selección y lavado, se removió la epidermis y se dejo expuesto el mesocarpio, que se fue cortando en piezas pequeñas haciendo uso de un cuchillo en acero inoxidable. Inmediatamente después se prepararon las muestras haciendo uso de un homogenizador Samurai™ 8543 (120V 60Hz 300 Watts). Estos se percolaron a través de un tamiz de 16 mm. Parte de estos se congelaron a 4 °C cuando fue necesario;

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de cremogenados en las variedades de mango en dos estados de madurez.

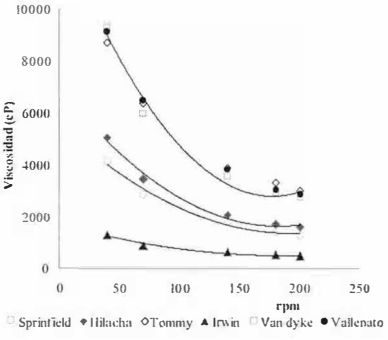
Variedad	pH (20°C)	°Brix (%P/P	Pectinas (%P/P)
Estado de madurez III			
Hilacha	4.80 ± 0.26^{a}	13.3 ± 0.20^{a}	13.4 ± 2.20^{a}
Tommy	4.00 ± 0.48^{b}	8.64 ± 1.20^{b}	29.8 ± 0.03^{b}
Irwin	4.40 ± 0.22^{a}	12.3 ± 0.64^{a}	6.51 ± 0.10^{d}
Sprinfield	3.33 ± 0.07^{c}	5.62 ± 0.53^{c}	16.3 ± 0.07^{a}
Yulima	4.67 ± 0.11^{a}	8.6 ± 1.04^{b}	9.16 ± 0.27^{c}
Van Dyke	4.44 ± 0.08^{b}	13.1 ± 0.35^{a}	13.2 ± 1.42^{a}
Vallenato	4.44 ± 0.06^{b}	13.2 ± 0.35^{a}	10.5 ± 0.23^{c}
Estado de madurez IV			
Hilacha	5.46 ± 0.47^{a}	14.2 ± 1.06^{a}	10.2 ± 2.10^{a}
Tommy	5.08 ± 0.50^{a}	12.7 ± 1.00^{a}	13.9 ± 0.93^{b}
Irwin	4.70 ± 0.11^{b}	16.1 ± 1.72^{b}	5.32 ± 0.06^{c}
Sprinfield	3.84 ± 0.49	12.3 ± 1.31^{a}	8.26 ± 0.42^{a}
Yulima	5.18 ± 0.18^{a}	12.7 ± 2.10^{a}	5.34 ± 0.08^{c}
Van Dyke	5.12 ± 0.26^{a}	14.7 ± 0.45^{b}	5.00 ± 0.14^{c}
Vallenato	4.82 ± 0.27^{b}	14.9 ± 1.01^{b}	3.38 ± 0.11^{b}

Las determinaciones de viscosidad se realizaron en la unidad Brookfield DV-II+Pro, dispuesta con un sensor de temperatura y disponible con los sensores de medición LV1, LV2, LV3 y LV4. El control del sistema se hizo a través del Software Reocalc 42.4 Rheometer I, desde donde se fijaron 5 velocidades: 40, 70, 140,180 y 200 rpm. Los cremogenados se termostataron a 20°C y se usaron 500 ml. en las determinaciones. El tiempo de corrida en cada ensayo se programo para 4 minutos, considerando que los dos minutos iniciales pueden presentarse tazas de deformación variables.

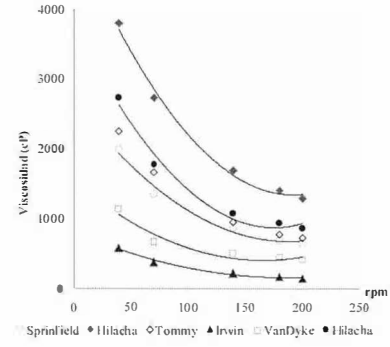
Resultados y discusión

Existen diversos factores que influyen en el comportamiento reológico de los alimentos entre ellos la presión, la estructura, el gradiente de velocidades de deformación y el tiempo de tratamiento de la muestra. Los cremogenados analizados básicamente corresponden a una dispersión de partículas sólidas en una solución acuosa que contiene fibra soluble, azúcares, ácidos orgánicos, sales y pectinas como una dispersión de la forma sólido/líquido debido al tamaño de las partículas suspendidas (superior a 0.5nm) se comportan como un sol y son responsables del comportamiento reológico global. El comportamiento reológico de la viscosidad de los cremogenados en las variedades de mango estudiadas, se recogen en la tabla 1. De la relación Viscosidad (η) y velocidad de corte (v) se deduce que el incremento de la velocidad de cizalla reduce la viscosidad del material. Este comportamiento tipo se conoce como fuerza de cizallamiento laminar, en el cual se considera que las moléculas constitutivas son perturbadas en la vecindad del rotor (spindle), con una reorientación paralela a la superficie del elemento perturbador, que se acompaña de una ruptura o reorganización continua de la estructura, dando como resultado una menor resistencia al flujo, que es causada por los componentes de alto peso molecular principalmente pectinas de alto medio y bajo metoxilo y la dispersión de sólidos (azucares pigmentos y vitaminas) de la fase sólida suspendida.

Para una misma temperatura y velocidad de deformación, el esfuerzo cortante sobre los cremogenados, toma valores más altos al aumentar la concentración de sólidos solubles, haciendo que el fluido tenga un comportamiento pseudoplástico que es frecuente en este tipo de fluidos de consistencia semidensa. Vale indicar que el contenido de pectinas de los frutos de mango suele influenciar el esfuerzo cortante a una velocidad cortante; la reducción en el contenido de pectina en un 5.7% puede hacer decrecer la viscosidad hasta en un 50%. De los gráficos de la figura 3 se deduce que los cremogenados de fruta de mango, presentan mayor viscosidad en los estados de madurez 3, que son significativamente diferentes a los observados en las muestras del estado de madurez 4.



A



B

Figura 3. Perfil de viscosidad para los cremogenados de mango de frutos en estado 3 (A) y 4 (B).

La variedad Hilacha presento la mayor viscosidad en los dos estados evaluados, mostraron una clara relación entre la reducción del contenido de pectinas, a esto contribuye el alto contenido de fibra insoluble la cual refuerza la estructura y genera una mayor resistencia al flujo. La maduración del mango es de forma gradual, caracterizada por una progresiva despolimerización de las pectinas y polisacáridos hemicelulosicos con perdidas significativos de galactosa, arabinosa y manosa. En los cremogenados de mango estas pectinas existen bajo la forma de agregados solubles y bajo condiciones normales pueden ser considerados como precursores de la gelificacion,

Conclusiones

El estudio de las propiedades reológicas de los cremogenados d mango, se presenta como una herramienta preliminar orientativ en la aptitud para el procesado de pulpas de las variedades Hilacha, Irwin, Springfield, Tommy, Van Dyke y Yulima, a su ve es el primer trabajo de caracterización desde el punto de vist viscoelástico. La variedad Irwin, presenta menor variación a esfuerzo de cizalla en los dos estados de madurez estudiados. L viscosidad es dependiente del contenido de sólidos solubles materia en suspensión y contenido de pectinas. Los cremogenado presentan mayor viscosidad en los estados de menor madure fisiológica y son significativamente diferentes a los observados e las muestras de mayor madurez.

Bibliografía

AOAC INTERNATIONAL 1999. Official Methods of Analysis 16th edition. Maryland. USA.

BOGER, D.; TIU, C. 1974. Rheological properties of food products and their use in the design of flow systems. *Food Technol.* 26, 325-335.

CEREZAL. P.; BATISTA, A.; PIÑERA, R. 1995. Evaluation de cultivares de mango para la elaboración de pulpas", *Alimentaria*, 260, 29-31.

PACHECO. G.; FORERO, F.; SALAMANCA. G.; GARCÍA, E.; TAKEGAMI, J.; SALAMANDO, C. 2005. Evaluación de las principales variedades de mango (*Mangifera indica L.*) susceptibles al ataque de mosca de la fruta (*Anastrepha obliqua*). Memorias XL Congreso Colombiano de Ciencias Biológicas. ACCB. Universidad Autónoma de Occidente. Cali. Colombia.

G. SALAMANCA; F. FORERO; J. GARCÍA. 2006. *Consideraciones sobre investigaciones relevantes en la investigación del Mango en Colombia.* Memorias IX Congreso Venezolano de Fruticultura. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto Estado Lara.

IBARZ, A.; GONÇALVES, C.; EXPLUGAS, S. 1996 Rheology of clarified passion fruit juices. *Fruit Processing*, 6, 330-333.

KOKINI, J.; 1992. Rheological properties of foods. En "Handbook of food engineering". Heldman, D. Lund, D. Marcel Dekker. pp. 1-38.

MANOHAR B.; RAMAKRISMA, R.; RAMTEKE, R.S. 1990. Effect of pectin content on flor properties of mango pulp concentrates. Journal of Texture studies. Vol. 21. 179-190.

ODIGBOH, E.; MOHSENIN, N. 1975. Effects of concentration on the viscosity profile of cassava starch pastes during the cooking-cooling process. *J. Texture Stud*; 5 .441-457. 1975.

PELEGRINE, D. 1999. *Comportamento reológico das polpas de manga e abacaxi*", DEA/FEA/UNICAMP, Campinas.

QUEIROZ, A. 1998. *Estudo do comportamento reológico dos sucos de bacaxi e manga*", T.Doutorado, DEA/FEA/UNICAMP, Campinas.

QUEIROZ, A.; VIDAL. J.:. GASPARETTO, C. 1996. Influência dos sólidos suspensos na reologia do suco de abacaxi", *XIV Encontro Sobre Escoamento em Meios Porosos*, Uberlândia, vol 1. 49-53..

RAO. M. 1986. Rheological properties of fluid food. En "Engineering propertires of foods". Rao, M. Y Rizvi, S. H. E. Mareel Dekker.

SIQUEIRA, D.; BOTREL, N.; CARVALHO, V.; RAMOS, V.; COUTO, F. Caracteristicas fisicas e quimicas de vinte cultivares de mangueira (*Mangifera indica L.*)", *Revista Brasileira de Fruticultura*, 10, 49-54. 1988.

TANNENBAUM, S. 1982. Modificaciones quimicas y biológicas de los alimentos y su influencia sobre la calidad. En "Introducción a la ciencia de los alimentos". Fennema, O. R. Editorial Reverté. Barcelona.

VIDAL. J. 1977. *Estudo reológico do suco de manga-efeito dos sólidos insoluveis*", D. de Mestrado, DEA/FEA/UNICAMP, Campinas.

CINETICA DE ABSORCIÓN DE AGUA EN MAÍZ DURANTE EL REMOJO

Lara Nelly * y Giovanna Lescano
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD, ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA, INIAP, QUITO ECUADOR, Telefax: 3007134.
***Coordinadora Proyecto AQ-CV-12: Investigación y desarrollo de alternativas alimenticias para consumo humano, basadas en maíz, banano, plátano y quinua, E-mail: nlara@interactive.net.ec**

Palabras clave: Maíz, absorción de agua, Modelo Peleg, humedad de equilibrio.

RESUMEN

Grano de maíz de 10 genotipos, con variabilidad en el tipo de endospermo, fue sometido a remojo en agua a 25, 55 y 92°C. Los experimentos fueron conducidos para obtener la ganancia de agua en el grano, en función del tiempo hasta cerca del límite físico de saturación.

El modelo Raíz-X mostró buen ajuste con todos los datos de la curva de absorción de humedad frente al tiempo. El modelo de Peleg fue utilizado para estimar la cinética de absorción de agua en maíz durante el período de remojo. La constante de relación K_1 y la capacidad de absorción K_2 variaron por efecto de la temperatura y entre los genotipos de estudio. La humedad de equilibrio y el tiempo fueron significantes por influencia de la temperatura y estadísticamente similares en la mayoría de genotipos ($p < 0.05$). Las correlaciones de K_1 y K_2 con α_b demostraron el mantenimiento de la relación existente entre el modelo Raíz –X y el modelo Peleg.

INTRODUCCIÓN

El maíz, en alimentación humana, es un producto básico para muchas naciones en el mundo y debido a la gran variabilidad genética, facilita diversos usos en sus dos estados de madurez: choclo (maíz dulce) y grano seco (Terranova 1995). Como grano seco es utilizado en la extracción de endospermo destinado a la elaboración de cereal para desayuno (Caldwell 2000), almidón, jarabe de glucosa y productos tipo bocadito «snack» (Matz 1992). Otro uso de importancia es la elaboración de masa de maíz para tacos (Martinez-Bustos 2001, Laria et al., 2007) y tortillas tipo chips (Matz, 1992, Kawas & Moreira 2001). En menor proporción se tiene el uso en alimentos regionales como "mote", "tostado" (Calderon 2003) , maíz frito (Lara & Lescano 2004, Stanley 1993) y "morocho".

Debido a la gran influencia en las etapas subsiguientes de elaboración y en la calidad de los productos finales (Matz, 1992), una fase previa de interés en las diferentes líneas de procesamiento de maíz seco, es el acondicionamiento del grano por absorción de humedad. La absorción de humedad está gobernada por la difusión de las moléculas de agua en el interior del grano (Datta 2007, Bello et al., 2007, Savapathy 2005, Bayram et al., 2004). Esté fenómeno físico de transferencia de masa, hasta alcanzar el equilibrio entre la superficie y el centro del grano, es explicado por la segunda ley de Fick y algunas de las variaciones más simplificadas (Sopade et al., 2007a, Saguy et al., 2005). El modelo de Beker es utilizado para determinar la humedad de difusión en maíz (Lara & Lescano 2007, Verma & Prasad 1999, Charan & Prasad 1996). El Modelo de Peleg es aplicado para determinar la capacidad de absorción de humedad de otros granos y la rehidratación de alimentos deshidratados (Sopade et al., 2007b, Turhan et al., 2002). Todas estas aproximaciones deducidas de la ley de Fick intentan predecir la dependencia de la absorción de humedad en función del tiempo de hidratación, rehidratación o remojo, siendo el punto de partida de dichas estimaciones el gráfico de contenido de humedad versus tiempo. El objetivo de este estudio fue aplicar el modelo de Peleg para evaluar la absorción de humedad en maíz durante el remojo en agua a varias temperaturas.

CONSIDERACIONES TEORICAS

Absorción de humedad

El modelo de Peleg, Ec. (1), es una ecuación empírica no exponencial utilizada para la modelación de absorción de humedad (+) o secado (-) en diversos alimentos (Sopade et al 2007a ,Turhan et al., 2002)

$$M = M_0 \pm \frac{t}{K_1 + K_2 t} \quad (1)$$

Donde: M es el contenido de humedad en el tiempo t, M_0 es el contenido de humedad inicial (g H_2O/ g bs), K_1 es la constante de relación de Peleg (h g bs/g H_2O), y K_2 es la capacidad de absorción de Peleg (g bs/g H_2O).

La relación de absorción K_1 puede ser obtenida desde la primera derivada de la Ec (1) cuando $t \rightarrow 0$ (Sopade et al 2007, Turhan et al 2002):

$$\frac{dM}{dt} = \frac{K_1}{(K_1 + K_2 t)^2} = \frac{1}{K_1} \quad (2)$$

La Ec (3) muestra la forma lineal del modelo Peleg:

$$\frac{t}{M - M_0} = K_1 + K_2 t \quad (3)$$

Cuando $t \rightarrow \infty$, en la Ec. (4) se tiene la humedad de equilibrio M_e:

$$M_e = M_0 + \frac{1}{K_2} \quad (4)$$

El tiempo correspondiente a la M_e, puede ser calculado desde la Ec (5), una alternativa lineal propuesta para obtener el término α_b del modelo planteado por Beker para difusión en sólidos de geometría arbitraria conocida (Verma & Prasad 1999):

$$M - M_0 = \alpha_b \sqrt{t} \quad (5)$$

Donde: α_b corresponde a la pendiente o constante b del modelo estadístico Raíz-X con ordenada al origen a igual cero.

Correlación de K_1 y K_2 del modelo Peleg, Ec(3) frente a α_b obtenida del modelo Raíz-X, Ec. (5)

El modelo recíproco-XY, presentado en la Ec (6) es aplicable para validar la relación de K_1 versus α_b:

$$K_1 = \frac{1}{(a + \frac{b}{\alpha_b})} \quad (6)$$

Los modelos recíproco-Y y recíproco-X, presentados en las Ec. (7) y Ec. (8) son usados para validar las relaciones K_2 versus α_b.

$$K_2 = \frac{1}{(a + b\alpha_b)} \quad (7)$$

$$K_2 = a + \frac{b}{\alpha_h} \quad (8)$$

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Los genotipos: INIAP-101 (blanco suave, endospermo harinoso), INIAP-102 (blanco suave, endospermo harinoso), INIAP-122 (amarillo suave, endospermo harinoso), INIAP-124 (amarillo suave, endospermo harinoso), Zubay (blanco, endospermo semiduro, destinado a harina), , INIAP-176 (amarillo duro, endospermo vítreo), INIAP-H551 (híbrido amarillo duro, híbrido, endospermo vítreo) y Morocho (blanco duro, endospermo vítreo) fueron obtenidos de lotes experimentales del Programa Nacional de Maíz del INIAP. Los genotipos Cuzco (blanco gigante, endospermo semiharinoso) y Chulpi (crema, endospermo vítreo) fueron adquiridos en el mercado local de venta al por mayor.

Sistema y pruebas de remojo.

Se utilizo un baño de agua (AG. Emmenbrücke-Lurzern, Salvis, Type: WB66, 110v) con control de temperatura de 0 a 100°C. Se probó el remojo del grano en agua a 25, 55 y 92°C. Muestras (200 g) con humedad inicial alrededor de 0.10 g H_2O/g bs, fueron colocadas en el baño de agua, en vasos de vidrio con 300 ml de agua. Cada hora se registró el peso de 10 granos libres de agua superficial y con precisión de 0.01g. En el caso de agua a 92°C, el peso fue registrado cada 30 minutos. Las pruebas concluyeron cuando no se registro incremento de peso en el grano. El contenido inicial de agua se utilizó para determinar por balance de material la ganancia de humedad (Lara & Lescano 2007). Se trabajó por triplicado con los 10 genotipos y los tres niveles de temperatura.

Absorción de humedad y análisis estadístico

Mediante la forma lineal del modelo Peleg y la Ec (4) se determinaron K_1, K_2 y M_e. El tiempo correspondiente a M_e se obtuvo desde la Ec (5). El software Statgraphics Plus, versión 5.1 fue utilizado para el ajuste de modelos, correlaciones y análisis de varianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Absorción de humedad

El ajuste de las curvas de absorción de humedad versus tiempo mediante la Ec. (5), permitió determinar los valores de α_h. Los estadísticos correspondientes (Tabla 1) mostraron la validez de la relación entre las dos variables. La variación de α_h fue significativa ($p < 0.05$); siendo 81.62% por efecto de la temperatura y 14.78% debido a diversidad de genotipos.

Tabla 1. Variación de α_h y los estadísticos de validación

Factores	Ec. (5)	Estadísticos	
Temperatura (°C)*	α_h	R	R_2
25	0.118 a	0.99	98.95
55	0.175 b	1.00	95.94
92	0.370 c	0.99	97.29
Genotipos**			
INIAP-101	0.221 ab	0.99	98.26
INIAP-102	0.210 ab	0.99	98.88
INIAP-122	0.188 ab	0.99	99.15
INIAP-124	0.179 a	0.99	98.23
Zhubay	0.288 cd	0.99	97.55
Cuzco	0.242 bc	0.99	98.44
INIAP-176	0.188 ab	0.99	97.91
INIAP-H551	0.184 ab	0.99	98.25
Morocho	0.188 ab	0.99	99.27
Chulpi	0.323 d	0.99	98.84

* Promedio (n=30), ** Promedio (n=9), Letras diferentes dentro de la columna, significa diferencias significativas (Tukey, p< 0.05)

La comparación entre genotipos de maíz (Tabla 1), evidencio la diferencia marcada entre Chulpi y el resto de materiales. Otro grupo diferenciado fue Zubay y Cuzco, los dos de endospermo semiharinoso. En cambio, entre los genotipos de endospermo harinoso y vítreo, estadísticamente, no se determinó diferencias. La graficación, parcializando el efecto de la temperatura permitió agrupar a los genotipos con tendencias coincidentes y superpuestas. Las curvas de absorción de humedad a 55°C fueron un buen ejemplo de diferenciación por grupos de genotipos (Figura 1).

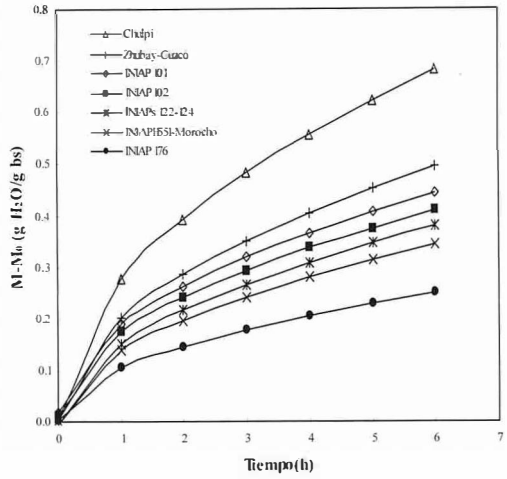


Figura 1. Absorción de humedad durante el período de remojo en agua a 55°C

K_1 y K_2 fueron obtenidas al transformar los resultados de absorción de humedad al modelo lineal de Peleg, Ec (3). Los estadísticos mostraron la validez para explicar la variabilidad de los resultados y la relación entre variables (Tabla 2). K_1 y K_2 disminuyeron significativamente en las pruebas de remojo a mayor temperatura. La comparación de K_1 y K_2 entre genotipos, mostró los grupos similares y diferentes con relativa aproximación a las similitudes y diferencias por tipo de endospermo, siendo evidente en Chulpi, Zhubay y Cuzco. Los materiales de endospermo harinoso y vítreo presentaron mayor diferenciación entre ellos.

Tabla 2. Variación de K_1 y K_2 y los estadísticos de validación

Factores	Modelo lineal Peleg		Estadísticos	
Temp. (°C)	K_1	K_2	r	R^2
25	7.49 c	2.36 c	0.99	98.27
55	4.91 b	1.75 b	0.99	98.49
92	1.94 a	1.37 a	0.99	98.47
Genotipos				
INIAP-101	4.45 bc	1.67 bc	0.99	98.40
INIAP-102	4.99 cd	1.87 cd	0.99	98.40
INIAP-122	4.74 cd	1.84 cd	0.99	98.40
INIAP-124	5.16 de	1.95 de	0.99	98.40
Zhubay	4.00 b	1.58 ab	0.99	98.40
Cuzco	4.16 b	1.58 ab	0.99	98.40
INIAP-176	5.68 e	2.17 e	0.99	98.40
INIAP-H551	5.69 e	2.16 e	0.99	98.40
Morocho	5.60 e	2.09 de	0.99	98.40
Chulpi	3.31 a	1.35 a	0.99	98.49

* Promedio (n=30), ** Promedio (n=9), Letras diferentes dentro de la columna, significa diferencias significativas (Tukey, p< 0.05)

La representación gráfica del modelo Peleg, promediada de los diez genotipos, mostró el efecto de la temperatura durante el período de remojo (Fig. 2). En el caso de las pruebas a 92°, a más de la absorción de humedad se observo hinchamiento del grano por cocción inicial. Según Lara y Lescano (2005), sólidos solubles en el agua a 92°C (0.03 a 0.06%) fue debido a la migración de sólidos disuelto desde el grano por efecto de la cocción.

Los valores de M_e (Tabla 3), determinados con la ecuación Ec. (4), presentaron tendencia creciente a mayor temperatura. La comparación entre genotipos principalmente ratificó la diferenciación de Chulpi. En el resto de materiales, aparentemente el límite físico de saturación de agua fue

similar. El tiempo correspondiente a M_e fue estimado desde la Ec. (5), manteniendo significación y concordancia con la tendencia de α_b y M_e por influencia de la temperatura. Sin embargo a 92°C más que de remojo fue de precocción. Entre genotipos se observo que el tiempo requerido para alcanzar el límite físico de saturación de agua fue similar.

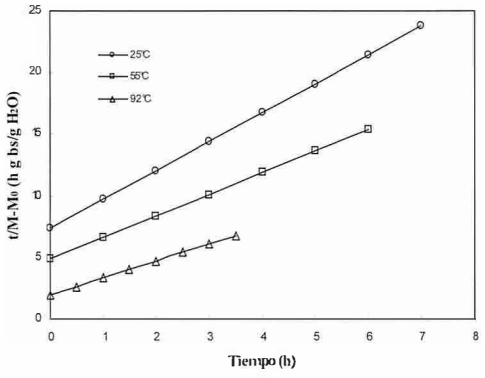


Figura 2. Modelación de Peleg para la absorción de humedad en maíz por efecto de la temperatura

Tabla 3. Estimación de M_e (g $H_2$0/g bs) y tiempo (h) en el límite físico de saturación de agua.

Factores	M_e	t
Temperatura. (°C)*		
25	0.56 a	13.9 c
55	0.70 b	12.1 b
92	0.86 c	5.8 a
Genotipos**		
INIAP-101	0.75 bcd	10.8 ab
INIAP-102	0.69 abcd	10.8 ab
INIAP-122	0.67 abcd	10.8 ab
INIAP-124	0.66 ab	10.8 ab
Zhubay	0.77 cd	10.3 a
Cuzco	0.78 de	10.8 ab
INIAP-176	0.60 a	10.8 ab
INIAP-H551	0.60 a	10.8 ab
Morocho	0.66 abc	11.0 b
Chulpi	0.88 e	9.5 a

* Promedio (n=30), ** Promedio (n=9), Letras diferentes dentro de la columna significa diferencias significativas (Tukey, p< 0.05)

Correlación de K_1 y K_2 frente a α_b

El análisis por regresión simple de K_1 versus α_b mostró que el modelo recíproco-XY, Ec (6) describe la relación existente entre los dos parámetros, tanto para el factor temperatura como entre genotipos. Los estadísticos r y R^2 variaron de -0.93 a -0.99 y de 86.58 a 99.99%, respectivamente, siendo más altos los valores para la curva promedio del factor temperatura (Fig. 3). La relación entre K_1 y α_b fue estadísticamente significante con valores de probabilidad inferiores a 0.01.

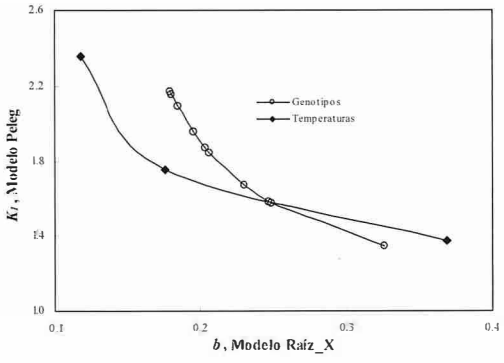


Figura 3. Correlación negativa entre K_1 y α_b o b.

Los modelos recíproco-Y, Ec (7) y recíproco-X, Ec. (8) se ajustaron mejor a la variabilidad de K_2 frente a α_b entre productos y por efecto de la temperatura, respectivamente (Fig. 4). Los estadísticos r y R^2 del modelo recíproco-Y fueron de 0.94 y 89.24%, respectivamente. En el modelo recíproco-X, r fue 0.99 y R^2 99.97%. En los dos modelos la relación entre variables fue significante ($p < 0.01$).

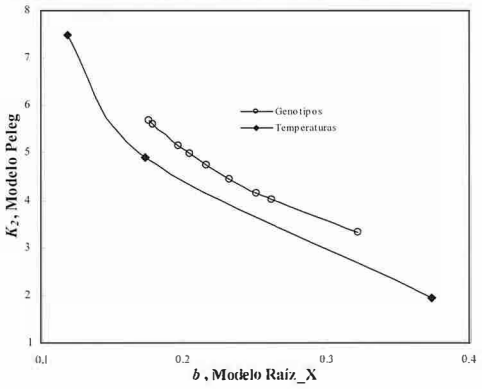


Figura 4. Correlación negativa entre K_2 y α_b o b

CONCLUSIONES

La pendiente α_b, la constante de relación inicial K_1 y a la capacidad de absorción K_2 describieron con bastante aproximación la cinética de absorción de agua en el grano de maíz. Principalmente a 25 y 55°C, la estimación de M_e y del tiempo requerido para el límite físico de saturación de agua fueron teóricamente aceptables. La tendencia fue creciente entre el efecto de la temperatura y los valores de α_b, $1/K_1$, $1/K_2$, M_e y tiempo. Entre genotipos, la especificidad de la matriz de endospermo influyo en la absorción de humedad. La relación de origen de K_1, K_2 y α_b fue demostrada con las correlaciones de K_1 y K_2, frente a α_b.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto PROMSA del Ministerio de Agricultura y Ganadería, CORPOINIAP y Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, Quito, Ecuador.

REFERENCIAS.

Bayram, M., Öner, M.D., & Kaya, A. (2004) J. Food Eng. 61:331-339.
Bello, M.O., Tolaba, M.P., & Suarez, C. (2007) Food Sci. Tech. 40:313-318.
Calderon D. (2003) Optimización del proceso de obtención de un snak en base a maíz tostado. Escuela Politécnica Nacional, Quito
Caldwell, E.F., Fast, R.B., & Faubion, J. (2000) The cereal grain. In R.B. Fast, E.F. Caldwell (Eds.), Breakfast cereal and they are made (2nd ed. pp. 1-15). St. Paul, Minnesota.
Charan, R. & Prasad, S. (1994) J. Food Sci. Tech. 33:384-388.
Datta, A.K. (2007). J. Food Eng. 80: 80-95.
Kawas M.L. & Moreira R.G. (2001) J. Food Sci. 66:300-306.
Laria, J., Meza, E., & Peña, J.L. (2007).J. Food Eng. 78:288-295.
Lara, N., & Lescano, G. (2004) RicoMaíz crocantito. Plegable técnico científico No. 219, Estación Experimental Santa Catalina. Quito.
Lara N. & Lescano G. (2007) Water absorption and kinetics of moisture diffusion by effect of temperature and maize genotypes variability, Manuscrito.
Lara N. & Lescano G. (2005). Efecto del acondicionamiento (remojo) sobre la textura interna del grano de maíz. Manuscrito.
Martínez-Bustos, F., Martínez-Flores, H.E., Sanmartín-Martínez, E., Sánchez-Sinencio, F., Chang, Y.K., Barrera- Arellano, D., & Ríos, E. (2001) J. Sci. Food Agri. 81:1455-1462.
Matz S.A. (1992) Snack food technology. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 133-184.
Sabapathy, N.D. (2005) Heat and mass transfer during cooking of chickpea – measurement and computational simulation (158 p, Thesis of Master of Science). Saskatoon, Saskatchewan.
Saguy, I.S., Marabi, A., & Wallach, R. (2005) Trend Food Sci. Tech. 16: 495-506.
Sopade, P.A., Liang, S., Halley, P.J., Cichero, & Ward, L. (2007a) Euro. Food Research Tech. 224:555-560.
Sopade, P.A., Xun, P.Y., Halley, P.J., & Hardin, M. (2007b). J. Food Eng. 78: 730-734.
Stanley, A. (1993). Heat expanded whole kernel corn snack food. US Patent No. 077020.
Terranova Ediciones (1995) Enciclopedia agricola, Tomo II, Santa Fe de Bogota, pp. 110-114
Turhan, M., Sayar, S., & Gunasekaran, S. (2002) J. Food Eng. 53:153-159.
Verma, R.C., & Prasad, S. (1999) J. Food Eng. 39:395-400.

REFINACIÓN QUÍMICA DEL ACEITE OBTENIDO DEL MESOCARPO DEL FRUTO DE LA PALMA COROZO (*Acrocomia aculeata*)

Hernández, Carlos Enrique., Mieres-Pitre, Alberto
Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química
Valencia-Venezuela.
e-mail: carherna@uc.edu.ve, albertopitre@intercable.net.ve

Palabras clave: Acrocomia, mesocarpo, palma corozo, refinación.

RESUMEN

Esta investigación se centró en la refinación química del aceite extraído del mesocarpo maduro de frutos del corozo recolectado en el estado Carabobo, Venezuela. El procedimiento metodológico comenzó con la extracción del aceite en un equipo soxhlet, usando hexano como solvente. El aceite crudo fue sometido a una refinación química, que consistió en una etapa de neutralización con hidróxido de sodio y una etapa de decoloración en la que se usó 3% p/p de tierras blanqueadoras tonsil estándar. Se determinó el perfil de ácidos grasos y los parámetros fisicoquímicos, utilizando la normativa venezolana COVENIN. Como resultados se tiene que el aceite posee un 80,1% de ácidos grasos insaturados, encontrándose en mayor proporción el ácido oleico con 64,9%. Los parámetros fisicoquímicos indican que el índice de yodo fue de 82,01 cgI_2/g, el índice de saponificación de 195,00 mgKOH/g, la acidez libre fue de 0,24% y el índice de peróxido de 3,02 meq. O_2/kg. De acuerdo a estos resultados, el aceite refinado del mesocarpo del corozo pudiera ser utilizado en la industria alimenticia, previa evaluación toxicológica y un adecuado proceso industrial.

INTRODUCCIÓN

Según Hoyos y Braun (2002), ***Acrocomia*** comprende dos especies que están distribuidas desde México hasta Paraguay. El corozo posee muchos nombres y características según la zona de la que provenga la fruta. La palma corozo venezolana (***Acrocomia aculeata***) posee un tallo espinoso, largo y aéreo de 4 a 16 metros de alto y de 10 a 35 centímetros de diámetro, cubierto con espinas fuertes y largas. En Venezuela se han venido realizando de forma aislada algunas investigaciones sobre el uso potencial de los frutos de algunas palmas autóctonas, de diferentes regiones del país, como posibles fuentes de alimentos. En este sentido, Belén y col. (2005), evaluó fisicoquímicamente el aceite crudo extraído con n-hexano de la almendra del fruto del corozo (***Acrocomia aculeata***), el cual fue recolectado en "El Chaparro" estado Anzoátegui, determinando a través del perfil de ácidos grasos, su uso potencial en la industria aceitera una vez refinado o purificado. Arveláez (2003) aplicó un diseño experimental para la extracción de aceite de la almendra del corozo recolectado en el estado Carabobo, evaluando la extracción por lixiviación con n-hexano y arrastre con vapor e infiriendo igualmente sobre la utilidad de este tipo de aceite en la industria alimenticia, una vez refinado. Henríquez y Vivas (2003) caracterizaron el aceite del mesocarpo del fruto de la palma seje (***Jessenia batana***), por otra parte, Alemán y col. (2002) trabajaron con la extracción del aceite de coroba (***Jessenia polycarpa Karst***), realizando la caracterización fisicoquímica del mismo. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue refinar el aceite obtenido del mesocarpo del corozo (***Acrocomia aculeata***) de una región del estado Carabobo, para inferir a partir de sus propiedades su potencial uso en la industria alimenticia.

MATERIALES Y MÉTODOS

La recolección de los frutos se realizó en el mes de mayo, iniciado el periodo de lluvias, recolectando 5 racimos de fruto con 600 corozos aproximadamente por racimo, completamente maduros y provenientes del municipio Carlos Arvelo, del estado Carabobo. Todos los racimos fueron dispuestos en una extensión amplia y secados al sol en forma natural por 10 días, tal como fueron recibidos. Finalmente se realizó un proceso de selección para separar los corozos que se encontraban en mal estado, quedando solo aquellos que fueron utilizados en la investigación. La extracción de la materia prima (mesocarpo del corozo) se obtuvo mediante fractura mecánica manual del fruto, separando las partes constituyentes del mismo. Para la obtención del mesocarpo limpio se realizó un despulpado manual del fruto.

Para la extracción de aceite fue necesario realizar la molienda del mesocarpo seco, la cual consistió en hacerlo pasar por un molino mecánico marca Quaker City Mill, modelo 4-E, de tiempo continuo y 86 rpm, del cual fueron obtenidos diferentes tamaños de partículas ajustando la abertura de los platos reductores. La extracción de aceite se realizó de acuerdo a la norma COVENIN 3218 (1996), utilizando un equipo soxhlet a nivel de laboratorio. La refinación aplicada consistió en una neutralización química y un proceso de decoloración, los cuales se describen a continuación:

Neutralización del aceite crudo del mesocarpo del corozo

El proceso de neutralización se realizó aplicando una lejía (solución acuosa de hidróxido de sodio) a 20°Bé. El procedimiento fue el siguiente:

1) Se calentó la muestra de aceite crudo a 40°C con una agitación moderada constante.
2) Se adicionó el hidróxido de sodio 20 °Be.
3) Se agitó la mezcla por un tiempo de 30 minutos a 40 °C. Calentando posteriormente hasta una temperatura comprendida entre 60 y 70°C por un tiempo de 10 minutos.
4) Se detuvo la agitación y se centrifugó a 2500 r.p.m. durante 20 minutos, para separar el aceite del jabón formado.
5) Se desechó la fase jabonosa.
6) Luego de finalizar la etapa de neutralización del aceite, se adicionó 20% p/p de agua desmineralizada a 95°C, con agitación moderada y constante, por un tiempo de 30 minutos.
7) Se centrifugó para separar el aceite del agua a 2500 r.p.m. durante 20 minutos, desechando la fase acuosa.

Decoloración del aceite neutralizado del mesocarpo del corozo

Se realizó el proceso de decoloración o blanqueo al aceite crudo agregándose tierras blanqueadoras Tonsil Standars™, según el siguiente procedimiento:

1) Se calentó la muestra de aceite neutralizado entre 60 y 70 °C, con agitación constante y moderada.
2) Se adicionó al aceite 3% p/p de tierras blanqueadoras.
3) Se agitó la mezcla de aceite y tierras de blanqueo durante 20 minutos, manteniendo la misma temperatura.
4) Se centrifugó la mezcla a 3000 r.p.m. durante un tiempo de 20 minutos para separar el aceite de las tierras de blanqueo.

La caracterización fisicoquímica fue realizada al aceite crudo y refinado según lo estipulado en la normativa venezolana, dentro de las cuales se establecen requisitos de calidad y de identidad que se deben cumplir para considerar a un aceite como comestibles.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las propiedades del aceite mejoraron después de la aplicación de la refinación química, permitiéndole cumplir con los requisitos de identidad exigido en la norma COVENIN 0030 (1997), para ser utilizado como aceite comestible. La tabla 1, muestra los parámetros fisicoquímicos del aceite crudo y refinado del mesocarpo del corozo.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos del aceite crudo y refinado del mesocarpo del corozo

Parámetro	Aceite crudo	Aceite refinado
Densidad relativa 20 °C, adim.	0.922	0.909
Índice de refracción 20 °C, adim	1.4420	1.4610
Índice de saponificación, mgKOH/g aceite	232,00	195,00
Índice de yodo, cgI_2/g aceite	81,90	82,01
Acidez libre, % (como oleico)	3,81	0,24
Índice de peróxido, meq. O_2/kg aceite	1,55	3,02

La densidad disminuyó ya que se eliminaron las partículas sólidas suspendidas en el aceite crudo. De igual forma sucedió con el índice de refracción, al eliminar esas partículas sólidas, este valor mejoró, acercándose a lo establecido en la norma COVENIN 0030 (1997). El índice de saponificación bajó en el aceite refinado, debido a que en la neutralización química aplicada al aceite crudo se eliminaron los ácidos grasos libres. Respecto al índice de yodo, los valores no presentaron variación, lo que quiere decir que la composición de ácidos grasos no cambió con la refinación. Por otra parte, un alto valor del índice de yodo del aceite del mesocarpo indica un alto contenido de ácidos grasos insaturados, convirtiéndolo en un aceite con una alta capacidad para ser comestibles. En relación a la acidez libre (como oleico), este parámetro mejoró considerablemente después de la neutralización con hidróxido de sodio, sin embargo, el índice de peróxido se incrementó un poco, producto de la aplicación de calor en la etapa de decoloración y al alto contenido en ácidos grasos insaturados; pero sin sobrepasar el límite establecido en la norma COVENIN 0030 (1997), la cual establece un valor máximo de índice de peróxido de 5 meq. O_2/kg de aceite.

El resultado del perfil de ácidos grasos se muestra en la tabla 2. Allí se observa que el aceite de mesocarpo de corozo está compuesto en un 80% de ácidos grasos insaturados, donde resalta el oleico con 64,9%. La presencia de una mayor cantidad de ácidos insaturados indica que el aceite puede ser utilizado como aceite comestible, debido a que se favorecen muchos procesos de carácter biológico e industrial.

Badui (2006), infiere que desde el punto de vista de la salud, los ácidos grasos insaturados son mejores que los saturados. La presencia de la insaturación facilita los procesos biológicos dentro de los organismos al reaccionar y dar pie a la formación de otros compuestos que son necesarios, los ácidos saturados no tienen punto de reacción, por eso no son recomendables ya que no ofrecen las mismas ventajas que los otros generando el problema del colesterol (acumulación de grasa en el torrente sanguíneo). Además los aceites ricos en ácidos insaturados son menos absorbidos por los alimentos cuando se utilizan durante su cocción. Badui (2006), reporta que el porcentaje del ácido graso oleico en el aceite extraído del mesocarpo del fruto de la palma africana es de 42,5%, lo que indica que el aceite obtenido a partir del mesocarpo del corozo es mucho más rico en este ácido graso, lo que lo hace buen sustituto del aceite de palma, en frituras de ciertos productos tipo snacks y en la elaboración de margarinas.

Tabla 2. Perfil de ácidos grasos del aceite crudo y refinado del mesocarpo del corozo

Ácido graso	Aceite crudo, %	Aceite refinado, %
Mirístico (C14:0)		0,4
Palmítico (C16:0)	17,6	16,5
Palmitoleico (C16:1)	2,3	2,5
Esteárico (C18:0)	2,9	3,0
Oleico (C18:1)	63,9	64,9
Linoleico (C18:2)	10,7	10,3
Linolenico (C18:3)	2,6	2,4
Porcentaje de saturados	20,5	19,9
Porcentaje de insaturados	79,5	80,1

Otros estudios sobre el potencial comestible de aceites obtenidos de palmas autóctonas de Venezuela, como los realizados por Henríquez y Vivas (2003), con el mesocarpo del fruto de la palma seje (***Jessenia batana***) y Alemán y col. (2002), con el mesocarpo de la coroba (***Jessenia polycarpa Karst***), arrojaron como resultados que los aceites obtenidos son ricos en ácidos grasos insaturados, donde mayoritariamente se encuentra el ácido graso oleico con 80,49% y 46,06%, respectivamente.

CONCLUSIONES

Fue aplicada una refinación química, realizando una etapa de neutralización de los ácidos grasos libres con hidróxido de sodio y una etapa de decoloración con tierras de blanqueo. Después de la refinación no se evidencian cambios importantes en el índice de yodo, sin embargo, el índice de saponificación se hace menor debido a la reducción de los ácidos grasos libres después de la aplicación de la neutralización química. La acidez libre del aceite del mesocarpo de corozo disminuye una vez realizada la purificación del mismo, no así el índice de peróxido, el cual aumenta ligeramente; pero sin sobrepasar el límite establecido en la norma COVENIN para los aceites vegetales comestibles. El aceite del mesocarpo del corozo es rico en ácidos grasos insaturados, donde resalta la presencia mayoritaria del ácido graso oleico con 64,9%, convirtiéndolo en un posible sustituto del aceite de palma en aplicaciones alimenticias, como la fabricación de mayonesa, margarinas, entre otros.

AGRADECIMIENTOS

Al CDCH-UC por subvencionar la divulgación de estos resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alemán R., Belén DR., Zorrilla M., Bastardo L., Álvarez F., Álvarez M. "Características fisicoquímicas del aceite del mesocarpo de la coroba (***Jessenia polycarpa Karst***)" *Grasas y Aceites*. 53(4), (2002) 396-399.

Arveláez, A. (2003) "Aplicación de un diseño de experimentos para la extracción de aceites de la almendra de la palma corozo". Trabajo de Grado. Departamento de Química, FACYT. Universidad de Carabobo. Valencia, 2003.

Badui, S. "Química de los alimentos". Longman de México Editores. México, 2006.

Belén, D., Herrera, S., Castillo, A., Moreno, M., Garcia, D., Medina, C., "Physical and chemical characteristics of coroba (***Jessenia polycarpa Karst***) fruit: a venezuelan oleaginous specie", Grasas y Aceites, 56(4), (2005) 317-323.

Comisión venezolana de normas industriales COVENIN 0030-1997. "Aceites y grasas vegetales. Norma general". Ministerios de industrias ligeras y comercio - COVENIN. Venezuela, 1997.

Comisión venezolana de normas industriales COVENIN 3218-1996. "Aceites y grasas vegetales. Extracción de aceite con solvente". Ministerios de industrias ligeras y comercio - COVENIN. Venezuela, 1996.

Henríquez J., Vivas L. "Extracción y refinación del aceite del fruto de la palma seje (***Jessenia batana***) a nivel de laboratorio, su caracterización y posible industrialización". Trabajo de grado. Ingeniería de Alimentos, Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez, Canoabo (Venezuela), pp. 35-95, 2003.

Hoyos, J. y Braun, A. "Palmas en Venezuela". Caracas: Editorial Sociedad de ciencias naturales La Salle, Caracas, 2002.

ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE CARGA EN UNA UNIDAD DE MOLIENDA DE TRIGO DURUM

Alberto Mieres-Pitre, Flor Arteaga, Isabel Flores, Aníbal Garrido Galán.
Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
Valencia - Venezuela
albertopitre@intercable.net.ve

Palabras clave: trigo durum, molienda, distribución de carga

RESUMEN

La investigación desarrollada tuvo como propósito evaluar la carga en una unidad de molienda de trigo durum, a fin de conocer la distribución de flujo en cada equipo y a lo largo del proceso, permitiendo de este modo estimar las condiciones de operación y capacidad de producción. Para la obtención de productos fue necesario el cumplimiento de estándares de calidad y porcentajes de extracción establecidos, lo que conlleva a modificaciones y consideraciones en la operación de equipos que generó variaciones en los flujos manejados, que al ser muestreados in situ se observó que manteniendo una carga de alimentación en un rango de (8480-8490) kg/h el molino operó estable, continuo y en estado estacionario con distribuciones de flujo constantes que permitió mayor producción de sémola como producto de principal interés y disminución de harina fina de trigo durum como coproducto, manteniendo el equilibrio entre calidad y cantidad.

INTRODUCCIÓN

La imperiosa necesidad de conocer y controlar los procesos industriales y en especial la molienda del trigo durum, conllevan a la aplicación de conocimientos y herramientas de la ingeniería que permitan mejorar y optimizar los sistemas de producción, más aún, a solucionar problemas como el desconocimiento de los flujos másicos con los que opera una línea de producción, necesarios para estimar la capacidad de producción real que maneja actualmente la planta o en su defecto determinar la máxima capacidad con la que pueden operar los equipos sin afectar la calidad del producto terminado (Medina, 1990). La molienda en la industria alimenticia requiere de tres etapas bien definidas como la trituración, cernido y purificación las cuales permiten romper, triturar, separar y limpiar el producto obtenido de los diferentes cortes del grano previamente limpiado y acondicionado en el proceso (Brennan y col., 1998). La molienda de trigo durum tiene como objetivo la obtención de sémola la cual debe cumplir con las siguientes especificaciones: granulometría homogénea, mínimos de puntos negros y cafés, bajo en cenizas, buen olor, y alto porcentaje de proteínas. El éxito de la rotura radica en la máxima extracción del endospermo del trigo sin dañar los almidones y propiedades vitamínicas de la sémola, es por ello que hoy por hoy la molinería representa un punto de especial interés e importancia en la ingeniería ofreciendo mejoras a las condiciones reales de operación de los equipos y sistema en general (Cenzano y col., 1993).

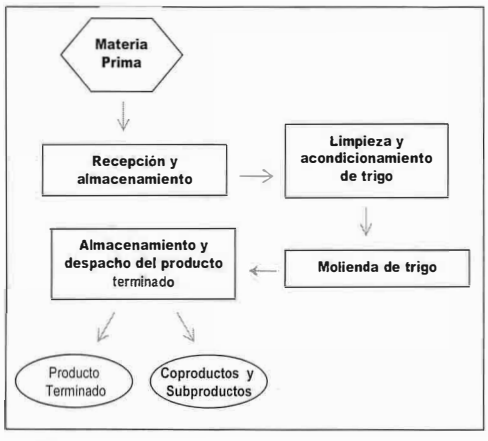


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de manufactura de productos de molienda

MATERIALES Y MÉTODOS.-

Para el cumplimiento de los objetivos trazados en la investigación, luego del estudio del proceso y selección del método de muestreo, se tomaron por espacio de 2 meses 5 muestras en intervalos de diez segundos cada una a la salida de los equipos de trituración (bancos de cilindros), cernido (sifters) y purificación (sasores) haciendo un total de 995 muestras, a fin de obtener muestras representativas de la totalidad del sistema y garantizar la data experimental confiable y necesaria para el planteamiento de los balances de masa globales y por equipos (Valiente y Noriega, 1993). Se comparan los resultados obtenidos en el balance de masa con el molino antes y después de las modificaciones en su diseño y específicamente en los sasores a fin de observar que condición representa la vía más factible para el incremento de la producción (González, 2003).

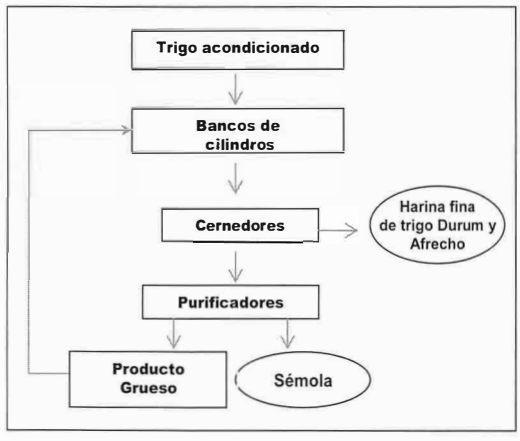


Figura 2. Diagrama de flujo de la etapa de molienda

Resultados y discusión.-

Luego de realizar el balance global del sistema de molienda, se observó que la carga de alimentación del molino varía entre (8480-8490) $^{kg}/_{h}$, distribuida en un 50,83% en el banco de rotura *B1A*, el otro 49,17 % al banco *B1B* (*ver tabla 1*). Ésta variación en parte es debida al tipo de cosecha de trigo alimentado al proceso y a la cantidad de agua que es agregada durante la etapa de acondicionamiento. Cuando el trigo está muy húmedo tiende a compactarse en la esclusa dosificadora, siendo necesario

graduar la chapa que permite el paso de la materia
prima al depósito de tercer reposo y de allí al primer banco de rotura, cuya actividad es realizada a criterio del molinero operador (Hayes, 1992).

La variación de la distribución de la carga en los equipos en de la línea de producción se debe principalmente la falta de carga o recargas producidas en los bancos de molienda, por lo cual al introducir cambios de ajustes a la alimentación de los pares de cilindros estos manejan mayor o menor cantidad de flujo; además el flujo de aire en los equipos de purificación también juega un papel de importancia debido a que el arrastre de productos livianos por parte de la corriente de aire es graduada a criterio y experiencia del molinero quien puede modificar las salidas aumentando o disminuyendo su flujo másico. Además, los atranques en el sistema de aspiración ocasionan colapsos en tuberías, así mismo cuando el sistema de filtrado opera ineficientemente por saturación de producto en su interior, modificando el flujo másico en poca proporción (Felder y Rousseau, 1986).

Por otra parte, durante el estudio y reconocimiento del sistema, se deduce que las condiciones de operación actual del molino durum, han sido modificadas en la distribución de los productos y colas de los equipos de purificación, además de la estructura de algunas cribas en los equipos de cernido con la finalidad de obtener un producto con los requerimientos a los cuales se ha ajustado el mercado consumidor.

Tabla 1. Flujos másicos obtenidos del balance de masa global al molino de trigo durum.

Carga del molino ($^{kg}/_{h}$)	Flujo másico de sémola (Producto principal) ($^{kg}/_{h}$)	Flujo másico harina fina de trigo durum (Coproducto) ($^{kg}/_{h}$)	Flujo másico de afrecho (Subproducto) ($^{kg}/_{h}$)	% de Acumulación de producto
8480- 8490	4621,12	2303,21	1173,85	4,55

Del balance se obtiene que el diferencial de masa respecto al tiempo (la acumulación del sistema), representa un 4,55%. Teóricamente este valor remanente de producto representa el producto de retención en los equipo, más la de masa de agua que fue perdiendo la materia prima por el calentamiento y abrasión en la molturación y compresión del grano del trigo en los bancos de cilindros (Brennan y col., 1998).

Los flujos manejados por los equipos de cernido y de purificación obtenidos del balance de masa por equipos se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Flujo másico de operación de los cernedores y purificadores de la etapa de molienda.

Equipo	Sección	Flujo másico ($^{kg}/_{h}$)	Sección	Flujo másico ($^{kg}/_{h}$)	Sección	Flujo másico ($^{kg}/_{h}$)
CERNEDOR	B1A	4133,77	B5	1932,51	D3F/DD5	1090,21
	B1B	3941,47	B6	2175,05	D1G	3204,29
	B2A	3173,40	C1/D4	2322,63	D2G	281,13
	B2B	4545,44	D1F	985,49	DD1	1941,54
	B3	4698,62	D2F/D3G	2199,91	R1	2344,09
	B4	2629,47	DD2/DD4	1445,77	R2/DD3	2280,28
PURIFICADOR	S1	702,83	SB3	1646,71	SD1G	1128,06
	S2	709,58	SB4	569,98	SD2G	109,71
	S3	222,04	SB5	209,09	SD3G	171,23
	S4	284,57	SB6	434,69	SD4	739,85
	S5	563,98	SD1F	1348,04	SR1	755,24
	S6	728,10	SD2F	702,53	SR2	1081,03
	SB2	1310,95	SD3F	432,46	_	_

CONCLUSIONES.-

Al introducir cambios en el ajuste de los bancos de cilindros se pueden incrementar o disminuir los flujos másicos en los equipos. La óptima graduación de la corriente de aire en el equipo de purificación, permite mantener estable la rata de producción de sémola con bajas cenizas y granulometría homogénea. Por otra parte, el banco encargado de la primera rotura en el proceso de molturación distribuye la carga en 50,83% al banco B1A y en 49,17% al B1B. Finalmente, al operar el molino en condiciones originales de diseño, se tiene que según el tipo de trigo manejado se obtienen menores flujos de sémola.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

BRENNAN. J.G., BUTTERS, J.R., COWELL N.D. y LILLEY A.E.V. (1998). Las operaciones de la ingeniería de los alimentos. Editorial Acribia, S.A. 3^{era} edición. Zaragoza. España.

CENZANO, I., MADRID, A. y VICENTE, J.M. (1993). Nuevo manual de industrias alimentarias. Ediciones AMV. Madrid. España.

FELDER, R. y ROUSSEAU, R. (1986). Principios elementales de los procesos químicos. Editorial Addisson-Wesley Iberoamericana. 2da edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

GONZÁLEZ, Carlos (2003). Balance de masa y energía de la planta de urea de la empresa Servifertil S.A. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.

HAYES, G.D. (1992). Manual de datos para ingeniería de los alimentos. Editorial Acribia, S.A. 1^{era} edición. Zaragoza. España.

MEDINA, M. B. (1990). Historia de la industria molinera del trigo en Venezuela. Asotrigo. Caracas. Venezuela.

VALIENTE, A. y NORIEGA, J. (1993). Manual del ingeniero químico. Editorial Limusa. 1^{era} edición. México.

APLICACIÓN DEL MODELO DE WEIBULL A LA MODELIZACIÓN DEL SECADO DE RASPÓN DE UVA.

[1]García-Pérez, J.V., [1]Cárcel, J.A., [1]Acosta, M., [2]García-Reverter, J., [1]Mulet, A

[1]Grupo ASPA, Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera, s/n, Valencia, España; jogarpe4@tal.upv.es, jcarcel@tal.upv.es, amulet@tal.upv.es.
[2]ainia, Centro Tecnológico. Parque Tecnológico de Valencia, Benjamín Franklin 5-11, 46980, Paterna, España; jgarcia@ainia.es

Palabras clave: Procesos con transferencia de calor, masa y combinados, deshidratación, subproductos, velocidad de aire, resistencia externa.

RESUMEN

El raspón de uva es un subproducto de la industria vinícola con un alto contenido en compuestos de interés, principalmente fenólicos. El secado del raspón es necesario para etapas posteriores de extracción. La velocidad de secado puede afectar a la degradación de algunos compuestos. Una de las principales variables a considerar durante el secado por aire caliente es la velocidad de aire utilizada. La modelización de las cinéticas de secado puede aportar información muy útil para determinar la influenza de esta variable. El raspón de uva es un producto de forma muy irregular, en estas circunstancias, la utilización del modelo empírico de Weibull puede considerarse interesante.

El principal objetivo de este trabajo fue determinar la influencia de la velocidad del aire en las cinéticas de secado de raspón de uva a partir de su modelización con el modelo de Weibull. Para la consecución de este objetivo, se realizaron experiencias de secado de raspón a 40 ºC y diferentes velocidades de aire (1, 2, 3, 5 y 7 m/s). Todas las experiencias se realizaron al menos por triplicado.

El modelo de Weibull fue muy útil para la modelización de las cinéticas de secado de raspón de uva, proporcionando en todos los casos porcentajes de varianza explicada superiores al 99 %. Se identificó una clara influencia de la velocidad del aire sobre el parámetro cinético de Weibull ($1/\beta$) para velocidades inferiores a 3 m/s. Dicha influencia desapareció para velocidades superiores, lo que indica un control de la cinética de secado por la resistencia interna. Por lo tanto, la velocidad de aire de 3 m/s se considera un umbral que limita la zona de secado controlada por la resistencia interna a la transferencia de materia.

INTRODUCCIÓN

El subproducto raspón de uva aparece durante la producción de vino en el momento que los granos de uva son separados para su estrujado, representando entre un 3 y 6 % del peso total de la uva (Cabanis et al., 2000). Actualmente, el raspón presenta un escaso valor añadido, considerándose más como un residuo que como un subproducto de la industria vinícola.

El raspón de uva presenta una elevada cantidad de compuestos polifenólicos, que se caracterizan por presentar una elevada capacidad antioxidante (Makris et al., 2006). La extracción de los compuestos antioxidantes del raspón de uva se podría considerar como una alternativa interesante para su revalorización. Este aprovechamiento no sólo repercutiría de forma positiva a nivel económico si no también a nivel medioambiental, disminuyendo el impacto que conlleva la eliminación del raspón.

La etapa de secado resulta necesaria antes de cualquier proceso de extracción, puesto que evita la degradación del producto antes de su procesado, disminuye los costes de transporte y reduce la cantidad de solvente necesaria para la extracción (Blasco et al., 2006). Una de las principales variables a tener en cuenta durante el secado será el consumo energético. Una manera de ahorrar energía durante el secado es mantener un flujo de aire no demasiado elevado en el secadero. Una velocidad de aire baja conlleva no sólo un ahorro de la energía necesaria para la recirculación del aire, si no también de los requerimientos de calefacción. Sin embargo, la disminución de la velocidad del aire puede conllevar un incremento del tiempo de secado como consecuencia del aumento de la resistencia externa a la transferencia de materia y de calor (Mulet, 1994). Si la transferencia de materia durante el secado está controlada por la resistencia interna, la velocidad de secado es independiente de la velocidad de aire. Por el contrario, si la etapa limitante es la resistencia externa, localizada en la capa límite, un aumento de la velocidad del aire conllevará un incremento de la velocidad de secado. Así, la optimización de la velocidad del aire de secado conllevará un ahorro de energía, una reducción del impacto medioambiental y un descenso del tiempo de secado.

La modelización de las cinéticas de secado aportará información muy útil tanto para el análisis de procesos de secado como para el diseño de secaderos. Dos tipos de modelos pueden utilizarse para la descripción de la pérdida de agua durante el secado: teóricos y empíricos. La aplicación de modelos teóricos, como los difusionales, al secado de raspón puede resultar bastante compleja (García-Pérez et al., 2006) debido a la forma irregular de este producto (Figura 1). Los modelos empíricos pueden ser muy útiles para aplicaciones industriales o para simplificar fenómenos complejos, por lo que su utilidad está fuera de toda duda en este trabajo (Mulet, 1994).

El modelo empírico de Weibull está basado en una función probabilística usada para describir el comportamiento de sistemas complejos variantes (Cunha et al., 1998). Inicialmente se utilizó para predecir fallos por fatiga de materiales. Su utilización en tecnología de alimentos se centra en la descripción de procesos degradativos, ya que la degradación del alimento se puede considerar como un fallo del sistema alimento al someterse a unas condiciones determinadas de estrés. En el caso del secado convectivo, el proceso degradativo (pérdida de agua) aparece cuando se somete al producto a una corriente de aire caliente (estrés). Así, este modelo se ha utilizado para la modelización de cinéticas de secado de diversos alimentos, entre otros; higos, pasas y ciruelas (Karathanos y Belessiotis, 1999), lechugas y coliflores (López et al., 2000), manzanas (Cunha et al., 2001), rizomas de cúrcuma (Blasco et al., 2006) y kiwi (Simal et al., 2005).

El objetivo de este trabajo fue determinar la influencia de la velocidad del aire en el secado de raspón a partir de la modelización de las cinéticas de secado con el modelo de Weibull.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

El raspón de uva (*Vitis vinifera* var. Bobal) (Figura 1) fue recogido en la bodega "Viticultores de Los Ruices Coop. Vitic." (Requena, España). La recogida del raspón se realizó directamente a la salida de la despalilladora con el objetivo de disponer de producto fresco, y evitar en lo posible la pérdida de agua antes de su procesado. El raspón fue almacenado en condiciones de refrigeración (4±1 ºC) hasta su procesado.

El contenido inicial de humedad fue medido a 70 ºC y condiciones de vacío de acuerdo con el procedimiento de la AOAC número 934.06 (AOAC, 1997).

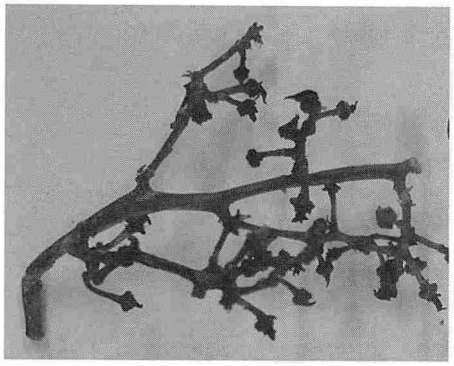


Figura 1. Raspón de uva.

Experiencias de secado

Se realizaron experiencias de secado de raspón a 40 ºC y diferentes velocidades de aire (v): 1, 2, 3, 5 y 7 m/s, utilizándose una carga inicial de muestra de 28 g. Debido a la heterogeneidad del raspón, y con el objetivo de obtener resultados significativos se realizaron, al menos, tres repeticiones a cada una de las diferentes condiciones experimentales.

Las experiencias de secado se realizaron en un secadero convectivo de flujo vertical a escala de laboratorio previamente descrito en la literatura (Bon et al., 1994). El secadero está completamente automatizado, registra a tiempos preestablecidos la velocidad y la temperatura del aire de secado y las condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa). Un algoritmo de control PID permite controlar la temperatura y la velocidad del aire. El secadero dispone de un sistema de pesada de las muestras. Un ordenador, mediante una aplicación realizada en Visual Basic, permite monitorizar y supervisar el proceso de secado.

Modelización

Las cinéticas se modelizaron con el modelo empírico de Weibull (Eq. 1) (Cunha et al., 1998; Cunha et al., 2001):

$$W(t) = W_e + (W_0 - W_e)\exp\left(-\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}\right) \qquad (1)$$

Donde W (kg agua/kg materia seca) es el contenido de humedad medio, W_0 es el contenido inicial de humedad, W_e es el contenido de humedad de equilibrio, t (s) es el tiempo y α (adimensional) y $1/\beta$ (s^{-1}) son, respectivamente, los parámetros de forma y cinético del modelo de Weibull. Los valores del contenido de humedad de equilibrio (W_e) fueron determinados a partir de isotermas de sorción obtenidas en trabajos previos (García-Pérez et al., 2007).

Los parámetros del modelo de Weibull se identificaron conjuntamente utilizando el método de optimización del gradiente reducido generalizado (GRG). La función objetivo a minimizar fue la suma de las diferencias cuadráticas entre los valores de humedad medios experimentales y los calculados con el modelo de Weibull. La bondad de los ajustes obtenidos fue determinada calculando el porcentaje de varianza explicada (VAR) (Eq. 2) (García-Pérez et al., 2006).

$$VAR = \left[1 - \frac{S^2_{xy}}{S^2_y}\right] 100$$

Donde S_y es la desviación estándar de la muestra y S_{yx} de la estimación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cinéticas de secado

El raspón de uva presentó un contenido de humedad medio inicial de 2.64 (kg agua/kg de materia seca), que coincidió con el contenido de humedad crítica al no encontrarse ningún periodo de velocidad de secado constante (Figura 2).

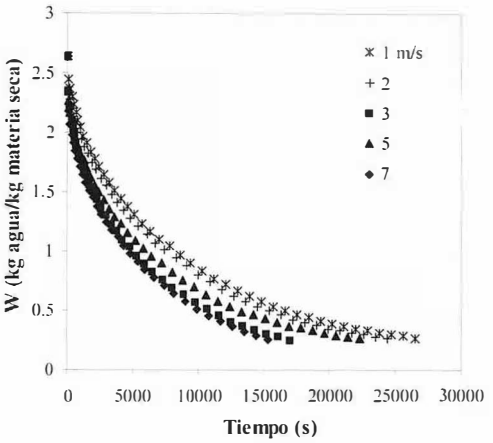


Figura 2. Cinéticas de secado de raspón de uva realizadas a diferentes velocidades de aire (m/s).

En la Figura 2, por una lado se puede apreciar como la velocidad de secado fue menor para las experiencias realizadas a bajas velocidades de aire (1-2 m/s) respecto aquellas realizadas a altas velocidades (7 m/s). Por otro lado, a partir de 3 m/s la influencia de la velocidad del aire no fue tan evidente. Resulta muy difícil obtener más información a partir del análisis visual de las cinéticas de secado (Figura 2), ya que éstas presentaron una elevada variabilidad como consecuencia de la propia heterogeneidad de este producto (Figura 1). En estas circunstancias, la modelización de las cinéticas puede ser muy útil para clarificar la influencia de la velocidad del aire a partir del análisis de los parámetros identificados de los modelos.

Tabla 1. Parámetros del modelo de Weibull identificados en las cinéticas de secado de raspón de uva y porcentajes de varianza explicada obtenidos.

v (m/s)	α (adimensional)	1/β (10^{-4} s^{-1})	VAR (%)
1	0.70±0.02	1.30±0.16	99.7
2	0.67±0.02	1.65±0.21	99.4
3	0.66±0.01	1.90±0.27	99.4
5	0.61±0.04	1.94±0.16	99.2
7	0.62±0.02	1.88±0.20	99.5

Modelización

El modelo de Weibull resultó muy útil para la modelización de las cinéticas de secado de raspón, proporcionando porcentajes de varianza explicada superiores al 99 % en todos los casos (Tabla 1).

La elevada capacidad de ajuste de este modelo en diferentes condiciones experimentales ha sido mostrada en la bibliografía en multitud de ocasiones (Simal et al., 2005; Blasco et al., 2006).

El parámetro de forma (α) del modelo de Weibull fue menor a altas que a bajas velocidades de aire (Tabla 1). El parámetro de forma está relacionado con la velocidad inicial de la cinética de secado, su disminución puede relacionarse con un aumento de la velocidad inicial de secado. La bibliografía resulta un tanto ambigua a la hora de determinar la influencia de las variables de proceso en este parámetro. Así, se pueden encontrar trabajos que consideran la influencia significativa (Simal et al., 2005) y otros que no (Blasco et al., 2006). En cambio, la bibliografía si que coincide en mostrar que el parámetro cinético del modelo de Weibull ($1/\beta$) está directamente relacionado con las variables de proceso. Así, a priori puede resultar más útil el análisis del parámetro cinético para determinar la influencia de la velocidad de aire.

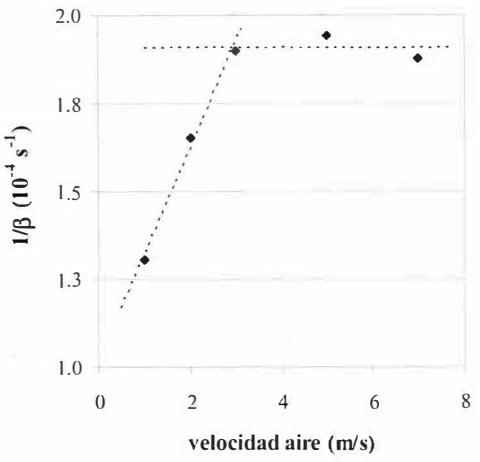


Figura 3. Influencia de la velocidad de aire en el parámetro cinético del modelo de Weibull ($1/\beta$).

La velocidad del aire influyó en el parámetro cinético ($1/\beta$) del modelo de Weibull (Tabla 1; Figura 3). Los valores de este parámetro aumentaron a medida que la velocidad del aire se incrementó, aunque esta relación fue únicamente apreciable hasta 3 m/s (Figura 3). Para velocidades superiores, el parámetro cinético fue independiente de la velocidad del aire de secado. Por lo tanto, la velocidad de 3 m/s representa un umbral que limita el control de la cinética de proceso por la resistencia interna. Este umbral resulta similar a otros mostrados en la bibliografía para el secado de diversos productos (Mulet et al., 1999; Blasco et al., 2006). Por debajo de 3 m/s, la influencia de la resistencia externa resulta significativa, de manera que un incremento de la velocidad del aire se traduce en una reducción de la capa límite de difusión y por tanto un aumento de la velocidad de secado (Figura 3). Por encima de 3 m/s, la velocidad de secado no aumentará por incrementar la velocidad del aire (control por la resistencia interna). Por lo tanto, de cara a aplicaciones a nivel industrial no será conveniente utilizar velocidades superiores a 3 m/s, ya que conllevarán un mayor consumo de energía sin producir una reducción apreciable del tiempo de secado.

CONCLUSIONES

El modelo de Weibull ajustó de forma adecuada las cinéticas de secado de raspón de uva (var. Bobal) realizadas a diferentes velocidades de aire. El análisis del parámetro cinético de este modelo ($1/\beta$) permitió identificar el umbral de velocidad del aire (3 m/s) que limita el control de la cinética de secado por la resistencia externa e interna.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación recibida del Ministerio de Educación y Ciencia de España a través del proyecto de investigación AGL2005-08093-C02-01/ALI para la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

AOAC (1997). Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemist, Arlington, Virginia, EEUU.

Blasco, M., García-Pérez, J.V., Bon, J., Carreres, J.E. y Mulet, A. (2006). Effect of blanching and air flow rate on turmeric drying. Food Science and Tecnology Internacional, 12:315-323.

Bon, J., Sanjuán, N., Tarrazó, J. y Mulet, A. (1994). Drying kinetics of broccoli. Proceedings ISOPOW Practicum II, Universidad de las Américas, Puebla, México.

Cabanis, J.C. (2000). Ácidos orgánicos, sustancias minerales, vitaminas y lípidos en Enología: Fundamentos científicos y tecnológicos. Editorial Mundi Prensa y AMV Ediciones, París, Francia.

Cunha, L.M., Oliveira, F.A.R. y Oliveira, J.C. (1998). Optimal experimental design for estimating the kinetic parameters of processes described by the Weibull probability distribution function. Journal of Food Engineering, 37:175-191.

Cunha, L.M., Oliveira, F.A.R., Aboim, A.P., Frías, J.M. y Pinheiro-Torres, A. (2001). Stochastic approach to the modelling of water losses during osmotic and improved parameter estimation. International Journal of Food Science and Technology, 36:253-262.

García-Pérez, J.V., Blasco, M., Cárcel, J.A., Clemente, G. y Mulet, A. (2006). Drying kinetics of grape stalk. Defect and Diffusion Forum, 258-260: 225-230.

García-Pérez, J.V., Cárcel, J.A., Clemente, G., García-Reverter, J. y Mulet, A. (2007). Modelling sorption isotherms of grape stalk. Proceedings of the Congress of the Association Française de Séchage pour l'Industrie et l'Agriculture (AFSIA), Biarritz (Francia)

Karathanos, V.T. y Belessiotis, V.G. (1999). Application of a thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. Journal of Agricultural Engineering Research, 74:355-361.

Makris, D.P., Kallithraka, S. y Kefalas, P. (2006). Flavonols in grapes, grape products and wines: Burden, profile and influential parameters. Journal of Food Composition and Analysis, 19:396-404.

Mulet, A. (1994). Drying modelling and water diffusivity in carrots and potatoes. Journal of Food Engineering, 22:329-348.

Mulet, A.; Sanjuán, N.; Bon, J. y Simal, S. (1999). Drying model for highly porous hemispherical bodies. European Food Research and Technology, 210: 80-83.

Simal, S., Femenia, A., Garau, M.C. y Rosselló, C. (2005). Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. Journal of Food Engineering, 66:323-328.

López, A., Iguaz, A., Esnoz, A. y Virseda, P. (2000). Thin-layer drying behaviour of vegetable wastes from wholesale market. Drying Technology 18:995-1006.

INFLUENCIA DE LA OSMODESHIDRATACION PREVIA AL SECADO SOBRE EL PROCESO DE REHIDRATACION DE MANGO

Maldonado Silvina, Bertuzzi María A., Arnau Enrique
Centro de Investigación en Tecnología de Alimentos (CITA). Facultad de Ingeniería.
Universidad Nacional de Jujuy. Av. Italia y Martiarena. (4600) S. S. de Jujuy, Jujuy, Argentina. e-mail: smaldonado@fi.unju.edu.ar

Palabras Clave: cinética, solutos; impregnación; difusión, indicadores

RESUMEN

Cuando un producto deshidratado llega al consumidor, éste habitualmente lo rehidrata, a fin de restaurar parte de sus características organolépticas originales. Los pretratamientos realizados sobre el producto, antes del secado, influyen sobre las características y la composición del producto rehidratado. En este trabajo se evaluó el efecto de la deshidratación osmótica como pretratamiento de secado sobre la cinética de rehidratación de mango. La fruta se osmodeshidrató en soluciones de sacarosa y glucosa hasta a_w=0,97. Luego se deshidrató con aire a 60±1°C y 3,5 m/seg hasta a_w 0,51±0,02; 0,48±0,01 y 0,53±0,01 para fruta tratada con sacarosa, con glucosa y fruta sin pretratamiento, respectivamente. Se rehidrató en agua a 25°C. Se realizó un ensayo control con fruta sin pretratamiento. Se evaluó ganancia de peso (GP), ganancia de agua (GA) y pérdida de sólidos (PS). El coeficiente de difusión del agua para el proceso, se evaluó utilizando la 2° ley de Fick. Se calculó la relación experimental entre el agua absorbida en la rehidratación y el agua perdida durante la deshidratación: WAC, la retención de sólidos: DHC y la habilidad de rehidratación: RA. Se encontró que el comportamiento respecto a ganancia de peso, absorción de agua y velocidad de incorporación de agua, de las muestras pretratadas con solución de sacarosa no difiere del comportamiento de las muestras sin pretratamiento. Las tratadas con glucosa presentaron mayor ganancia de peso a partir de los 50 minutos de proceso, equilibrándose en valores superiores a los otros sistemas. Se observó disminución de la velocidad de incorporación de agua a partir de los 60 minutos de proceso, lográndose mayor incorporación en las muestras pretratadas con glucosa. Los valores de equilibrio alcanzados, para cada sistema son: GP=2,3±0,3; 1,99±0,01; 2,1±0,2; GA=3,7±0,3; 3,0±0,1; 2,8±0,1; PS=1,4±0,3; 0,99±0,03; 0,72±0,03; para muestras pretratadas con glucosa, sacarosa y sin pretratamiento, respectivamente. La velocidad de rehidratación disminuyó con el tiempo de proceso y consiguientemente con el aumento en el contenido de agua de las muestras. Se observó un aumento de la difusión, en muestras previamente impregnadas, representada por los coeficientes de difusión D=2,3E-10±2E-11; 1,9E-10±3E-11; 1,24E-10±3E-12, para muestras pretratadas con glucosa, sacarosa y sin pretratamiento, respectivamente. Se encontró que la difusión de agua diminuye con el contenido de humedad, según una relación lineal. Se obtuvo mayor capacidad de absorción de agua, de retención de sólidos y mayor habilidad de rehidratación en muestras pretratadas con glucosa.

INTRODUCCIÓN

La remoción de agua por secado como técnica de conservación de alimentos basa su efectividad en la prevención del crecimiento y reproducción microbiana y minimiza la mayor parte de las reacciones de deterioro influenciadas por el agua. Una vez que el producto llega al consumidor, éste habitualmente lo rehidrata a fin de restaurar parte de sus características organolépticas originales.

Durante el estudio de la transferencia de materia, ocurrida durante el fenómeno de rehidratación, es importante considerar que la rehidratación no es el proceso inverso a la deshidratación, ya que ambos fenómenos tienen diferentes mecanismos de transferencia de materia y dependen de factores distintos. La deshidratación a altas temperaturas provoca cambios que son irreversibles en el alimento: pérdida de textura, disminución de vitaminas, color y aroma, entre otros. Las variables operacionales del secado: temperatura, velocidad de aire, humedad relativa y tiempo afectan significativamente la calidad final del producto rehidratado. Para analizar este efecto se utilizan índices o indicadores como la capacidad o habilidad de rehidratación, la capacidad de absorción de agua, que tienen que ver con la estructura, el tejido y la capacidad de mantener el agua absorbida por el alimento y el índice o capacidad de retención de sólidos (Sanjuán, 2001). La rehidratación se considera como una medida del daño ocurrido durante la deshidratación. Como medios de rehidratación pueden utilizarse agua, como el más simple, soluciones de solutos como glucosa, sacarosa y en algunos casos jugos de frutas (Rastogi, 1998). Durante el proceso de rehidratación, la difusión de agua es mayor al inicio del proceso y luego disminuye gradualmente hasta que el contenido de humedad alcanza el equilibrio, es decir cuando los espacios inter o intracelulares quedan saturados con la solución hidratante. Durante el proceso, el agua absorbida aumenta el volumen de los tejidos y se produce salida de sólidos desde el interior (Krokida, 2003). La interpretación de este fenómeno permite inferir la existencia de tres procesos simultáneos: a) la absorción de agua dentro del material deshidratado, b) la lixiviación de solutos y c) el hinchamiento del material (Lewicki, 1998 b).

La velocidad de rehidratación puede usarse como medida de la calidad del producto deshidratado, por lo que el estudio y conocimiento de la cinética de los procesos resulta de interés tecnológico (Krokida, 2001). La velocidad de rehidratación varía con el medio de rehidratación, obteniéndose mayores velocidades con el uso de agua con respecto a soluciones rehidratantes de azúcares, debido a su mayor viscosidad. Sin embargo las soluciones no sólo neutralizan la pérdida de sólidos sino que proporcionan la posibilidad de incluir en al alimento otros sólidos de interés nutricional (Lewicki, 1998). Se sabe además que el proceso se ve favorecido por agitación del sistema, mejorando la transferencia de materia.

Los pretratamientos realizados, el método de secado empleado, la temperatura y la velocidad de secado, así como las condiciones de almacenamiento y de rehidratación afectan el proceso (Lewicki, 1998; Bilbao-Sáinz, 2005). Las características de calidad de un alimento deshidratado, que ha sido rehidratado, pueden mejorarse aplicando pretratamientos antes del proceso de secado, por ejemplo deshidratación osmótica por inmersión en soluciones azucaradas, salinas (NaCl) e inmersión en soluciones ácidas (ácido cítrico y/o ascórbico), escaldado, entre otros (Marin, 2006). Ciertos azúcares presentan un comportamiento protector sobre la estructura celular durante la deshidratación y posterior rehidratación, al modificar las condiciones de transición de fase de los lípidos de la membrana, responsables de la rotura de la bicapa lipídica (Lewicki, 1998; Aguilera, 2001). Algunos pretratamientos permiten disminuir las pérdidas de sólidos solubles, ya que contribuyen a mantener la integridad de los tejidos (Lewicki, 1998).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la deshidratación osmótica, en soluciones de sacarosa y glucosa, como pretratamiento de secado sobre la cinética de rehidratación de mango (*Mangifera indica*), en agua a 25°C.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó mango, producido en la localidad de Yuto, provincia de Jujuy, Argentina. La fruta se mantuvo bajo refrigeración a 13°C hasta el ensayo. Se determinó la humedad de las muestras por el método AOAC N° 925.45 o 44.1.03 (1995) en estufa de vacío (Shel lab, modelo 1410) a 60° ± 1°C y 25 pulg Hg de vacío. La fruta se cortó en placas de 4 x 4 x 0,4 cm, se osmodeshidrató en soluciones de sacarosa (60% p/p) y glucosa (40 % p/p), hasta a_w=0,97 y se deshidrató térmicamente en secadero de bandejas con convección forzada de aire a 60±1°C y 3,5 m/seg, hasta alcanzar el equilibrio. El estudio de rehidratación se llevó a cabo sumergiendo las muestras deshidratadas, en agua en una relación 30:1. Los recipientes se colocaron en un baño de agua termostatizado a 25°C con agitación continua (105 r.p.m.), en un equipo Vicking. El ensayo se llevó a cabo utilizando el método continuo para lo cual se extrajeron muestras a diferentes tiempos de inmersión, se secaron con papel absorbente para eliminar el agua superficial y se pesaron para evaluar la ganancia de peso. A cada tiempo se evaluó además la ganancia de agua, determinando el contenido de humedad de las muestras. Se realizó balance de masa del sistema para calcular la pérdida de sólidos totales ya que el bajo contenido de humedad inicial de la fruta dificulta la lectura de los sólidos solubles por refractometría.

Se estudió la cinética del proceso utilizando la 2° ley de Fick que, para placa infinita, responde a la siguiente ecuación:

$$w = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \frac{8}{\pi^2} * \exp\left(\frac{D * \pi^2 * t}{4 * L^2}\right) \qquad (1)$$

donde

M: contenido de agua a cada tiempo de proceso t [g]

M_e: contenido de agua de equilibrio [g]

M_o: contenido de agua inicial [g]

D: coeficiente de difusión [m^2/seg]

L: mitad del espesor [m]

A partir de la representación gráfica de log (M/M_o) vs. t, se evaluó el coeficiente de difusión D para el proceso.

Se calculó la relación experimental entre el agua absorbida en la rehidratación y el agua perdida durante la deshidratación, mediante la siguiente relación:

$$WAC = \frac{\text{g agua producto rehidratado} - \text{g agua producto seco}}{\text{g agua inicial del producto} - \text{g agua producto seco}} \qquad (2)$$

El índice DHC se evaluó a partir de:

$$DHC = \frac{\text{g sólidos en el producto rehidratado}}{\text{g sólidos en el producto seco}} \qquad (3)$$

La habilidad de rehidratación se calculó a partir de:

$$RA = WAC \times DHC \qquad (4)$$

Se evaluó la influencia de la variación del contenido de humedad durante el proceso, sobre el coeficiente de difusión D.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La fruta presentó inicialmente una humedad de 3,7±0,4 [g/gMS] y 15,9±0,5 °Brix. Los parámetros de equilibrio obtenidos como resultado de la deshidratación osmótica se muestran en la Tabla I

Tabla 1: Valores de equilibrio de muestras de mango sometidas a osmodeshidratación a 25°C

SOLUTO	%PP	%GS	%PA	%RA
Glucosa	17,93	7,49	24,26	51,11
Sacarosa	34,75	13,06	47,84	20,88

PP: pérdida de peso, GS: ganancia de sólidos, PA: pérdida de agua, RA: retención de agua

El secado se realizó hasta alcanzar la humedad de equilibrio: 0,57±0,07; 0,134±0,006; 0,047±0,007 [g/gMS] con una velocidad inicial (1° hora) de 0,06±0,01; 0,022±0,001; 0,144±0,017 [g/gMS.min]; para muestras pretratadas con glucosa, con sacarosa y sin pretratamiento, respectivamente. Las muestras tratadas se sometieron luego a rehidratación en agua a temperatura constante de 25°C. En el Gráfico 1 se observa la evolución temporal del peso de las muestras. El inicio de la estabilización de los sistemas evaluados se presentó alrededor de los 80 minutos de proceso, coincidentemente con lo reportado para otras matrices (Mastrocola, 1997) (Lewicki, 1998) (Lee, 2006). Se observa que el comportamiento de las muestras tratadas previamente con solución de sacarosa no difiere del de las muestras sin pretratamiento. Aquellas tratadas con glucosa presentan mayor ganancia de peso a partir de los 50 minutos de proceso, equilibrándose en valores superiores a los obtenidos para muestras sin pretratamiento y para las tratadas con sacarosa. Esto complementa lo informado por Bilbao-Sainz (2005) quien afirma que el pretratamiento bajo vacío no afecta las propiedades de rehidratación en términos de masa recuperada.

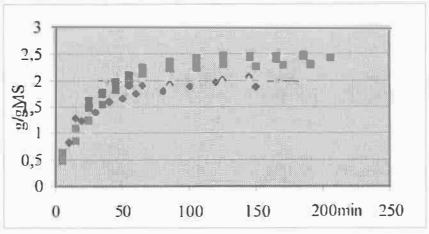


Gráfico 1: Ganancia de Peso, durante la rehidratación en agua a 25°C ■ tratadas c/glucosa ▲ tratadas c/sacarosa ◆ sin pretrat.

Los valores de equilibrio alcanzados son 2,3±0,3; 1,99±0,01; 2,1±0,2 [g/gMS], para glucosa, sacarosa y fruta sin pretratamiento, respectivamente.

En el Gráfico 2 se presenta la cinética de absorción de agua durante el proceso de rehidratación. Durante el secado las células se encogen fuertemente, por lo que al rehidratar el sólido, las células absorben agua, en función de la relajación de las paredes celulares. Se observa que alrededor de los 60 minutos de proceso comienza a disminuir la velocidad de incorporación de agua, lográndose mayor incorporación en las muestras pretratadas con glucosa.

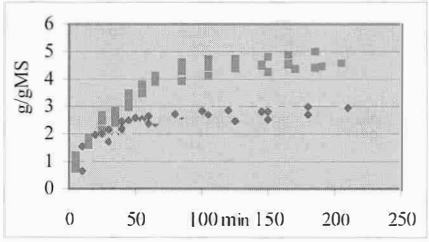


Gráfico 2: Incorporación de agua, durante la rehidratación a 25°C ■ tratadas c/glucosa ▲ tratadas c/sacarosa ◆ sin pretrat.

Las muestras pretratadas con sacarosa así como aquellas sin pretratamieto presentan comportamiento similar a lo largo de todo el proceso. Los valores de equilibrio son 3,7±0,3; 3,0±0,1; 2,8±0,1 [g/gMS], para muestras pretratadas con glucosa, sacarosa y sin pretratamiento, respectivamente. En el Gráfico 3 se muestra la cinética de pérdida de sólidos durante la rehidratación.

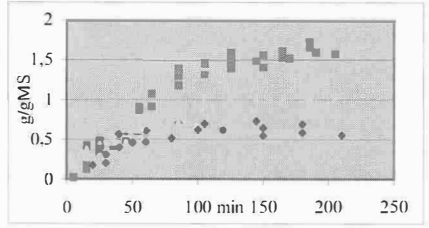


Gráfico 3: Pérdida de sólidos, durante la rehidratación a 25°C. ■ tratadas c/glucosa ▲ tratadas c/sacarosa ◆ sin pretrat.

Se observa que el contenido inicial de sólidos solubles influye en la pérdida durante la rehidratación, lo que se hace evidente al cabo de la primera hora de proceso, coincidiendo con lo informado por Marabi (2004). Se encontró mayor efecto en las muestras pretratadas con glucosa. Los valores alcanzados en el equilibrio

respectivamente. El Gráfico 4 muestra la velocidad de incorporación de agua durante el proceso de rehidratación en función del contenido de humedad de las muestras. La velocidad de rehidratación disminuye con el tiempo de proceso y consiguientemente con el aumento en el contenido de agua de las muestras. La alta velocidad inicial se debe al rápido llenado de capilares y cavidades sobre la superficie. Se considera que la concentración de agua en la superficie alcanza la saturación instantáneamente, al sumergir la muestra. coincidentemente con lo expresado por Lewicki (1998), Krokida (2001) y otros. En las etapas siguientes el agua se mueve hacia el interior, libremente por las cavidades grandes, pero en las pequeñas, la presencia de burbujas atrapadas de aire, influyen sobre el movimiento del agua dentro del material, disminuyendo la velocidad de rehidratación. El cambio en la velocidad de incorporación de agua es similar en las muestras pretratadas con sacarosa y con glucosa, con lo que puede afirmarse que ambas incorporan agua al mismo ritmo.

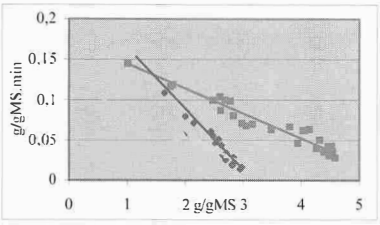


Gráfico 4: Velocidad de rehidratación. Efecto del contenido de humedad. ■tratadas c/glucosa ▲tratadas c/sacarosa ◆sin pretrat

El pretratamiento modifica el comportamiento del mango durante la rehidratación. Analizando la velocidad de rehidratación de la fruta sin pretratamiento, en función del tiempo, se tiene una menor velocidad inicial, la que al cabo de 80 minutos se iguala a la de los sistemas con sacarosa, creciendo luego hasta equipararse a la velocidad de las muestras con glucosa, alrededor de los 200 minutos de proceso. Esto indica una aceleración mayor, respecto de los sistemas pretratados, de acuerdo a las pendientes de las curvas de incorporación de agua (Gráfico 2). La razón es la concentración de soluto en las capas superficiales y, si bien el proceso de impregnación se llevó a cabo bajo agitación para minimizar el efecto, la migración de soluto en el interior de la fruta produjo estratificación con concentración decreciente hacia el centro. La velocidad de incorporación de agua varía con la composición inicial de las muestras. En las muestras impregnadas se observa mayor velocidad en aquellas con menor incorporación inicial de sólidos. Sin embargo el cambio en la velocidad de rehidratación con el contenido de agua de las muestras es similar en ambos casos. La fruta sin pretratamiento presenta una menor velocidad de rehidratación a medida que aumenta el contenido de agua, hasta alcanzar valores por debajo de los obtenidos con los pretratamientos realizados. Presenta una aceleración negativa mayor en todo el rango.

La difusión es el fenómeno que prevalece durante el proceso. La 2º ley de Fick ajustó adecuadamente los datos experimentales, en forma similar a los informado para otras matrices (Lewicki, 1998) (lee, 2006) (Krokida, 2003) (Bilbao-Sáinz, 2005) (García-Pascual, 2006). Los coeficientes de difusión obtenidos por ajuste de los datos experimentales con el modelo fickiano, son: 1,9E-10±3E-11; 2,3E-10±2E-11 y 1,24E-10±3E-12 para fruta tratada con sacarosa, glucosa y sin pretratamiento, respectivamente. Se observa un aumento de la difusión en muestras previamente impregnadas. El coeficiente de difusión varía considerablemente con el contenido de humedad, lo que se evidencia a través de la forma no lineal de las curvas del proceso. Este comportamiento es similar al observado durante la eliminación de agua por deshidratación, coincidentemente con lo reportado por otros autores (Krokida, 2003; Giraldo, 2006). La variación del coeficiente de difusión, con la concentración de agua en las muestras, responde a una relación lineal del tipo: $D = c1 * M + c2$; donde c1 y c2 son constantes. Los coeficientes de ajuste de los datos experimentales, del coeficiente de difusión de agua durante al rehidratación de mango en agua a 25ºC, son c1: $-2{,}5*10^{-10} \pm 7{,}1*10^{-11}$; $-2{,}0*10^{-10} \pm 0$; $-7{,}6*10^{-11} \pm 5{,}77*10^{-12}$ y c2: $7{,}5*10^{-10} \pm 7{,}07*10^{-11}$; $6{,}0*10^{-10} \pm 0$; $5{,}0*10^{-10} \pm 0$, para fruta sin pretratamiento, fruta tratada con sacarosa y fruta tratada con glucosa, respectivamente. Se observa mayor influencia del contenido de humedad en muestras sin pretratamiento, reforzando la efectividad de realizar tratamiento previo a la deshidratación térmica.

La evolución de los índices WAC, DHC y RA muestra mayor incorporación de agua en muestras tratadas con glucosa, así como estabilización más temprana. La fruta pretratada con sacarosa presenta, índice de incorporación de agua similar a la fruta sin pretratamiento WAC_{sac}=0,696; $WAC_{s/trat}$=0,726; WAC_{glu}=0,980

La retención de sólidos es menor en los sistemas tratados que en los no tratados y entre éstos últimos es mayor en los tratados con glucosa. mostrando un efecto protector de la glucosa sobre la matriz DHC_{sac}=0,052; $DHC_{s/trat}$=0,312; DHC_{glu}=0,386. La habilidad de rehidratación de las muestras con sacarosa es considerablemente inferior a las obtenidas para los otros dos sistemas. A partir de los 60 minutos de proceso la habilidad de rehidratación de las muestras tratadas con glucosa se hace mayor, aún respecto a la encontrada para mango sin pretratamiento. Los valores de equilibrio son RA_{sac}=0,036 $RA_{s/trat}$= 0,227 RA_{glu}=0,378

CONCLUSIONES

La impregnación con sacarosa, como pretratamiento de secado no produce efectos significativos sobre el proceso de rehidratación de mango, en agua a 25ºC, en términos de ganancia de peso y ganancia de agua. La impregnación disminuye la velocidad de rehidratación debido a la concentración superficial de soluto, producida durante la osmodeshidratación previa. La velocidad de rehidratación disminuye con el tiempo de proceso y con el aumento del contenido de humedad de las muestras. La difusión prevalece durante el proceso con lo que la 2º ley de Fick ajusta adecuadamente los datos experimentales. La impregnación previa produce aumento del coeficiente de difusión de agua, el que varía linealmente con el contenido de humedad de la fruta. Se obtiene mayor capacidad de absorción de agua, retención de sólidos y mayor habilidad de rehidratación en muestras pretratadas con glucosa.

REFERENCIAS

Aguilera, J.M. Stanley, D.W. 2001. Simultaneous Heat and Mass Transfer: Dehydration. Microstructural Principles Food Proc Eng., 9:373-407.

Bilbao-Sáinz, C. Andrés, A. Fito, P. 2005. Hydration kinetics of dried apple as affected by drying conditions, J Food Eng., 68:369-376.

Garcia-Pascual, P. Sanjuán, N. Melis, R. Mulet, A. 2006. Morchella esculenta (morel) rehydration process modelling, J.F Eng.,72:346-353.

Giraldo, G., Vázquez, R., Martín-Esparza, M.E., Chiralt, A. 2006. Rehydration kinetics and soluble solids lixiviation of candied mango fruit as affected by sucrose concentration. J.Food Eng., 77:825-834.

Krokida, M.K. Marinos-Kouris, D. 2003. Rehydration kinetics of dehydrated products, J Food Eng., 57:1-7.

Krokida, M.K. Maroulis, Z.B. 2001. Structural properties of dehydrated products during rehydration, Int. J Food Sc. Technol., 36:529-538.

Lee, K.T. Farid, M. Nguang, S.K. 2006. The mathematical modelling of the rehydration characteristics of fruits. J Food Eng.; 72:16-23.

Lewicki, P. 1998. Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: a review. J.F.Prop., 1(1):1-22.

Lewicki, P.P. 1998 b. Some remarks on rehydration of dried foods. J Food Eng., 36:81-87.

Marabi, A. Dilak C. Shah, J. Saguy, I. 2004. Kinetic of solids leaching during rehydration of particulate dry vegetables. J Food Sc., 69:3.

Marin, B. E. Lemus, M. R. Flores, M. V. 2006. La Rehidratación De Alimentos Deshidratados. Rev. chil. nutr., 33,(3):527-538.

Mastrocola, D. Dalla, R. M. Massini, R. 1997. Freeze-dried strawberries rehydrated in sugar solutions: mass transfers and characteristics of final products. Food Res. Int., 30(5):359–364.

Rastogi, N.K. Nayak, C.A. Raghavarao, M.S. 2004. Influence of osmotic pre-treatments on rehydration characteristics of carrots. J Food Eng., 65:287-292.

Sanjuán, N. Andrés, J. Clemente, G. Mulet, A. 2001. Modeling of the Rehydration process of broccoli florets, Eur. Food Res Technol, 212:449

ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DE UM *MIX* RECONSTITUÍDO E SUA POLPA *IN NATURA*

Medeiros, M. de Fátima Dantas; Souza, Josilma S; Araújo, Vanessa P. U; Rocha, Sandra C. S. (*).
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
Campus Universitário - CEP: 59072-970 E-mail: mariadefatima@eq.ufrn.br
NATAL – RN – BRASIL (*) FEQ/CAMPINAS

Palavras chave: secagem, reconstituição, polpas de frutas

RESUMO

A técnica de secagem em Leito de Jorro com partículas inertes tem se mostrado viável para secar polpas de frutas, desde que modificações na composição destas sejam promovidas. De acordo com resultados encontrados por diferentes autores, Martinez et al (1995), Lima et al (2000) elevados teores de açúcares, principalmente de frutose e glicose, ambas de caráter higroscópico, prejudicam a performance de secagem de sucos e polpas no leito de jorro e em outros tipos de secadores, como o *spray dryer*. Por outro lado, os teores de gordura, amido e pectina foram apontadas por Medeiros (2001) como favoráveis ao desempenho do processo. Neste trabalho, avaliou-se a reconstituição de um produto em pó produzido em leito de jorro a partir da desidratação de uma mistura de polpas de frutas (umbu, seriguela e manga) acrescida de amido de milho, gordura de palma em pó e pectina. Foram feitas avaliações através de testes de solubilidade e de reidratação, comparando-se as características do produto reidratado com às da mistura original. Determinações das propriedades físicas e termodinâmicas (densidade, tensão superficial, condutividade e difusividade) além de testes de solubilidade e tempo de reconstituição da polpa foram realizadas. O produto em pó foi caracterizado determinando-se a densidade aparente, ângulo de repouso e granulometria. Foram realizadas as análises de pH, acidez, sólidos solúveis, umidade e atividade de água nas polpas *in natura* e reconstituída e no pó obtido. De acordo com os resultados a polpa reconstituída recupera suas características originais e o pó obtido encontra-se dentro dos padrões recomendados para armazenamento e conservação, apresentando, todavia, problemas de escoabilidade e aglomeração A análise sensorial da polpa, reconstituída e adicionada a iogurte natural, quando comparada a um produto industrializado, mostrou boa aceitação.

INTRODUÇÃO

As condições climáticas da região nordestina favorecem o cultivo de frutas tropicais com reconhecido sabor e valor nutricional. A industrialização de culturas agrícolas, onde o cultivo está adaptado às condições de clima e solo, é apontado como uma alternativa viável para a melhoria das condições sociais e econômicas desta região (Medeiros, 2001). Dentre as possíveis técnicas de transformação da fruta *in natura* em produtos em pó, tem-se a secagem de polpas em secadores do tipo Leito de Jorro com partículas inertes cujo produto apresenta qualidade similar ao secador *Spray* comumente utilizado pela indústria de alimentos, que tem como desvantagens o elevado custo e dependência tecnológica internacional. A secagem em leito de jorro tem se mostrado viável para secar polpas de frutas com adição de componentes (amido, gordura de palma em pó e pectina) em proporções que venham a aliar a otimização do processo de secagem ao funcionalismo nutricional do pó obtido. A preocupação em se obter produtos de aceitação nutricional e sensorial advém do desafio atual da indústria alimentícia, de buscar o desenvolvimento de novos produtos com alto valor nutricional e características sensoriais iguais ou superiores aos alimentos naturais ou processados tradicionalmente. A escolha por um *mix* de polpas de frutas tropicais é justificada pela funcionalidade da mistura promovida pela sinergia das composições individuais. Esta mistura em pó, portadora de sabores e aromas naturais e componentes funcionais, pode resultar em produtos de alta qualidade sensorial e nutricional que venha a conquistar espaço no mercado consumidor. A formulação deste *mix* foi definida, com base na composição das polpas de frutas e dos aditivos a serem incorporados para viabilizar a secagem no leite de jorro, conforme MEDEIROS (2001). Araújo *et al* (2007) realizaram diversos ensaios de secagem no leito de jorro de misturas de polpas com adição de amido e pectina, para diferentes tipos de gordura (óleo de linhaça e de gérmen de trigo; azeites de oliva e de castanha do pará; leite de coco, creme de leite e gordura da palma em pó). A partir da avaliação dos resultados da análise sensorial de amostras de iogurtes naturais enriquecidas com os produtos em pó, do desempenho da secagem das diferentes misturas e das características dos pós os autores definiram a formulação da polpa constituída de umbu, seriguela, manga. amido de milho, pectina e gordura da palma em pó como ótima. Todavia para se avaliar a qualidade do produto desidratado se faz necessário promover sua reidratação e comprovar a preservação de suas características no produto reconstituído. Este trabalho tem como objetivo o estudo da reconstituição do *mix* de frutas mediante comparação das propriedades do produto reconstituído com as da mistura *in natura* original, a avaliação do pó obtido através da determinação de suas propriedades físicas e físico-químicas e a análise sensorial de iogurte natural enriquecido com o *mix* em pó comparativamente a um iogurte industrializado enriquecido com polpas de frutas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

A matéria prima utilizada neste trabalho consiste de uma mistura de polpa de frutas (polpa de umbu, seriguela e manga) acrescida de amido (maisena), gordura de palma em pó e pectina; desidratada a 70°C no leito de jorro com partículas inertes de polietileno de alta densidade.

O *mix* em pó foi caracterizado mediante determinações de umidade, acidez total (g de ácido cítrico/100g de amostra), sólidos solúveis e pH, de acordo com os métodos apresentados por Adolf Lutz (1985), determinações de atividade de água, densidade aparente, ângulo de repouso, granulometria e a obtenção da curva de sorção do pó na temperatura ambiente. O ensaio para determinação da densidade aparente do leito de partículas em pó seguiu a metodologia proposta por Hahne (2001) citada em Birchal (2003), sendo a mesma medida em duas condições específicas, a de empacotamento livre e a de compactação máxima. A escoabilidade do *mix* em pó foi avaliada através da medida do ângulo de repouso estático, cuja metodologia consistiu em fixar um funil a uma dada altura **h** de uma superfície horizontal, despejando vagarosamente a amostra do *mix* em pó através do funil. A partir das medidas do raio e da altura do cone formado pela amostra, determinou-se o ângulo de repouso. O tamanho das partículas tem grande importância na reconstituição do *mix*. A distribuição granulométrica do *mix* em pó foi obtida no granulômetro a *laser*, do tipo CILAS 1180. Todas as medidas e determinações foram efetuadas em triplicata.

A reconstituição da polpa foi realizada através da reidratação do pó, com determinação do tempo de reconstituição da

destilada ao pó em quantidade suficiente para se obter uma polpa com 12 °Brix, (teor de sólidos solúveis característicos de algumas polpas comerciais). A polpa era submetida à agitação a 200 rpm. O desaparecimento do pó aglomerado foi acompanhado em intervalos de 30 s.

O método para determinação da solubilidade para o *mix* em pó consistiu em adicionar um grama da amostra para cem mililitros de água destilada sob agitação de 250 rpm por 5 min. A solução foi transferida para um tubo e centrifugada a 2600 rpm por 5 min. Uma alíquota do sobrenadante foi transferida para uma placa de Petri, previamente pesada e submetida à secagem. O percentual de solubilidade foi calculado a partir da diferença entre o peso final e o inicial do pó na placa. A densidade foi determinada através da picnometria, utilizando-se picnômetros padrões de 50mL previamente calibrados com água. As medidas de Tensão Superficial foram efetuadas no Tensiômetro Krüss – Processor Tensiometer K-100 que se baseia no método do anel. As leituras da difusividade e condutividade eram feitas diretamente no instrumento KD2 – Decagon sendo este previamente calibrado. A Capacidade Calorífica das polpas analisadas foi calculada a partir da definição de difusividade térmica, através da seguinte expressão:

$$C_p = \frac{k}{\rho \cdot d} \qquad (1)$$

C_p = Capacidade calorífica, (kj/kg°C)
k = Condutividade Térmica (W/m°C)
d = Difusividade Térmica (m^2/s). 10^{-7}
ρ = Densidade (kg/m^3)

Processo de secagem

O equipamento de secagem utilizado para secagem das polpas consiste de um secador de leito de jorro cônico-cilíndrico de aço inoxidável com visor em acrílico. A base cônica, com ângulo incluso de 60°, tem altura de 13 cm e diâmetro de entrada de 3 cm. A coluna cilíndrica tem 18 cm de diâmetro e altura de 100 cm, O ciclone do tipo Lapple, construído em aço inox, promove a separação e coleta do pó.

Avaliação sensorial

As amostras foram preparadas com uma hora de antecedência e servidas, para serem avaliadas sensorialmente, em temperatura de aproximadamente 10 ± 2°C. Esta preparação consistia em reconstituir a polpa a partir do pó obtido e misturar com iogurte natural comercial e açúcar em concentrações proporcionais aos iogurtes de polpas de frutas industrializados.

Na análise sensorial, foi utilizada, para efeito de comparação com a amostra formulada com gordura da palma em pó (**A**), uma amostra (**B**) constituída de iogurte semidesnatado de polpa de cajá industrializado.

Na avaliação foram analisados os seguintes atributos: cor, textura, aparência, sabor e odor, pelo método da escala Hedônica, atribuindo-se notas de um a nove. O índice de aceitabilidade (I.A.) foi calculado considerando a nota máxima como 100% e a pontuação média, em %, como sendo o Índice de Aceitabilidade. O produto é considerado aceito quando o I.A. for maior que 70% (TEIXEIRA et al., 1987). Utilizou-se um painel composto de 25 provadores, não treinados.

RESULTADOS

A caracterização das amostras da mistura de polpa de frutas *in natura* e do pó reconstituído estão apresentadas na Tabela 1. Verifica-se que não houve alterações significativas entre as propriedades físico-químicas da polpa formulada *in natura* e da polpa reconstituída. As pequenas variações observadas podem ser justificadas pelo maior conteúdo de água na polpa reconstituída e, provavelmente, devido ao processo de secagem com perdas de voláteis. Alterações também podem ter ocorrido devido às condições do armazenamento do *mix* em pó.

Tabela 1 - Caracterização físico-química do *mix in natura* do *mix* em pó reconstituído.

Determinações físico-químicas	*Mix in natura*	*Mix* em pó reconstituido
Umidade da polpa (%)	82,17 ± 0,07	86,13 ± 0,5
°Brix (%)	13,07 ± 0,03	12,8 ± 0,03
Acidez (% ácido cítrico)	0,86 ± 0,01	0,92 ± 0,02
pH	3,28 ± 0,03	3,41 ± 0,02
a_w	0,985 ± 0,02	0,985 ± 0,001
Densidade (kg/m^3)	1062 ± 0,001	1057 ± 0,001
Tensão Superficial (Pa.s)	47,72 ± 0,46	42,66 ±± 0,47
Condutividade Térmica (W/m°C)	0,47 ± 0,01	0,44 ± 0,01
Difusividade Térmica (m^2/s). 10^{-7}	1,1 ± 0,01	1,0 ± 0,01
Capacidade Calorífica (kj/kg°C)	4,02	4,16

Nos ensaios de reconstituição da polpa, constatou-se que o tempo médio para se obter amostras de pastas reconstituídas foi de 300 s. Esse resultado foi semelhante ao encontrado por Kachan (1988) quando estudou a reconstituição de pós de tomate obtidos no leito de jorro. O autor verificou que a temperatura de secagem interferia no tempo médio de reconstituição da pasta de tomate, mais longo quando o pó era obtido em temperaturas mais elevadas. Dacanal (2005) ao estudar o efeito da temperatura sobre a solubilidade de suco de acerola desidratado verificou que ao se utilizar temperaturas mais elevadas, as pontes ligantes formadas durante a aglomeração de partículas podiam tornar-se mais rígidas e provocarem alterações na solubilidade do produto final. O *mix* em pó, produzido no leito de jorro a temperatura de 70°C apresentou boa solubilidade, em torno de 99,15%, faixa compatível com a solubilidade encontrada por Moreira (2007) e Cano-Chauca et al (2005) para o extrato obtido do resíduo de acerola e para o suco de manga microencapsulado com maltodextrina, respectivamente, ambos processados em *spray dryer*.

Caracterização do pó

A caracterização físico-química do *mix* em pó foi a seguinte: umidade (b.u.) 6,27%, teor de sólidos solúveis de 5%, acidez (expressa em g de ácido cítrico por 100 g da amostra) 0,39, pH 3,16 e atividade de água de 0,429. Por se tratar de um produto desenvolvido a partir de uma mistura de polpas de frutas ácidas, o *mix* em pó apresenta baixo pH e elevada acidez. A baixa umidade e atividade de água conferem ao *mix*, a característica de um produto com longa vida de prateleira. As densidades aparentes nas condições de empacotamento livre e de compactação máxima apresentaram valores médios de 201,3 e 353,5 kg/m^3, respectivamente, sendo observado um aumento de 75,8%, do empacotamento livre para a compactação máxima. Este resultado pode ser explicado pela formação de grânulos que segundo Dacanal (2005) acarretou aumento da porosidade do leito de partículas de suco de acerola seco em *spray dryer*. O ângulo de repouso apresentou um valor médio de 42,9° indicando coesividade ou problemas de escoamento. Moreira (2007), também identificou problemas de escoabilidade no extrato seco extraído da casca de acerola Várias características dos materiais influenciam a escoabilidade, podendo-se citar, entre outras o tamanho das partículas, a aglomeração e umidade do material. O diâmetro médio das partículas do mix em pó ficou em torno de 255,60mm, compatível com o pó obtido por e Dacanal (2005) e Moreira (2007).

Análise sensorial

Uma análise sensorial foi realizada com a participação de vinte e cinco provadores, cada um recebendo duas amostras identificadas, sendo uma delas o iogurte natural composto pelo pó da referida formulação, e a outra, um iogurte industrializado com sabor de polpa de cajá. O iogurte foi preparado mantendo-se a mesma proporção polpa/iogurte/açúcar do produto industrializado.

Tabela 2 - Index of Acceptability

Atributos	Amostra A %	Amostra B %
Aparência	77,77	86,47
Cor	78,26	90,82
Odor	71,43	90,48
Sabor	78,94	87,13
Textura	83,33	79,17

De um modo geral, o iogurte composto com a formulação (amostra **A**) foi considerado aceitável entre os provadores em relação à amostra comparativa (**B**), havendo diferenças significativas entre ambas nos quesitos sabor, odor e cor (Tabela 3).

Sabe-se que, durante o processo de secagem em ar quente, há alterações químicas nos pigmentos. O uso do corante foi o fator que mais influenciou na comparação entre as amostras. A amostra **B**, matizada por urucum, apresentou maior aceitabilidade quanto à cor e à aparência.

A amostra **A** apresentou também as menores médias de aceitação para os atributos sabor e o odor. O calor causa a perda de componentes voláteis que identificam o odor e o sabor de determinados alimentos. Este fato pode ter feito com que os provadores não conseguissem identificar as frutas utilizadas na amostra **A**. A amostra **B** continha na sua composição aromas artificiais.

Já em relação à textura, a amostra **A** apresentou maior índice de aceitabilidade devido à constituição pouco espessa do "iogurte semidesnatado com adição de polpa de cajá" (amostra **B**).

CONCLUSÕES

A caracterização do pó permitiu a determinação de propriedades cujo conhecimento é essencial para a definição das condições de armazenamento e posterior manipulação do produto. Este apresentou umidade e atividade de água baixas, indicando longa vida de prateleira, elevada acidez e baixo pH, distribuição granulométrica uniforme, dificuldade de escoamento, elevado grau de compactação e, por conseguinte, elevada porosidade no escoamento livre.

A reconstituição da polpa objetivou confirmar a preservação das características físicas e físico-químicas da mistura de frutas reconstituídas, outro requisito básico para o consumidor. Não houve diferenças significativas das propriedades físico-químicas e termodinâmicas na polpa *in natura* e a polpa reconstituída, após o processo de secagem em leito de jorro. O *mix* em pó apresentou boa solubilidade e um excelente tempo de reconstituição da pasta. Confirmou-se o baixo pH e elevada acidez do *mix*. O baixo teor de umidade e o nível de atividade de água do pó são compatíveis com a de produtos com longa vida de prateleira. O pó apresentou distribuição granulométrica uniforme, dificuldade de escoamento, e elevado grau de compactação, o que demonstra elevada porosidade no escoamento livre, devida principalmente à facilidade de formar grânulos.

A análise sensorial foi fundamental para mostrar que o pó na formulação ideal pode perfeitamente ser empregado como matéria-prima em indústrias alimentícias. Incorporado aos produtos, além de enriquecê-los com os nutrientes das frutas ainda confere aos mesmos as características das frutas que o compõem, substituindo aditivos e ingredientes artificiais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Capes e a FAPERN/CNPq/SINTEC pelo apoio financeiro à pesquisa e ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, V. P. U; SOUZA, J. S; ROCHA, S. C. S; MEDEIROS, M. F. D. (2007), Estudos de secagem de misturas de polpas de frutas tropicais. Anais do VII COBEQ – IC. São Carlos – SP, **no prelo**.

BIRCHAL, V. S. (2003), Modelagem e simulação da secagem de leite em secadores spray. Tese de Doutorado, Belo Horizonte/MG.

CANO-CHAUCA, M., STRINGHETA, P. C., RAMOS, A. M., CAL-VIDAL, J. (2005). Effect of the carries on the microstructure of mango powder spray drying and its functional characterization. Innovative Food Science & Emerging Technologies, v-6 n.4, p. 420-428.

DACANAL, G. C. (2005), Estudo da granulação de suco de acerola desidratado em leito fluidizado. Dissertação de Mestrado, Campinas/SP.

KACHAN, G. C. (1988). Contribuição ao estudo da desidratação da pasta de tomate (*Licopersicum esculento*) em secador de leito de jorro. Tese de Livre Docência. Campinas/SP.

LIMA, M. F. M., ROCHA, S. C. S., ALSINA, O. L. S., JERONIMO, C. E. M; DA MATA, A. L. M. (2000) Influência da composição química dos materiais no desempenho do processo de secagem de polpas de frutas em leito de jorro. XIII COBEQ, Campinas/SP

MARTINEZ, O. L. A., BRENNAM, J. G., NIRAJAM, K. (1995). Estudo Del secado de alimentos em um secador de fuente com partículas inertes. Anais do I Congresso Ibero América de Alimentos, Campinas/SP, p. 73-81.

LUTZ, A. (1985), Normas analíticas do Instituto Adolf Lutz – métodos químicos e físicos para análise de alimentos. São Paulo/SP.

MEDEIROS, M. F. D. (2001), Influência da composição química dos materiais no desempenho do processo de secagem de polpa de frutas em leito de jorro. Tese de Doutorado. Campinas/SP.

MOREIRA, G. E. G. (2007). Obtenção e caracterização de extrato microencapsulado de resíduo agroindustrial de acerola. Dissertação de Mestrado. Natal/RN.

TEIXEIRA, E., MEINERT, E. M., BARBETTA, P. A. (1987), Análise Sensorial de Alimentos. Editora da UFSC. Florianópolis/SC.

SECADO DE RODAJAS DE PIÑA (*Ananas comosus)* PREVIAMENTE DESHIDRATADAS EN SOLUCIONES OSMÓTICAS DE SACAROSA-AGUA-ETANOL

Aguilar-Paz, Selfa; Mendieta-Taboada, Oscar; Bardales, Clarissa; Medina-Vivanco, Mari
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN-TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
Jr. Maynas 179. E. mail: mariluz_mv@yahoo.es
TARAPOTO-SAN MARTIN-PERÚ

Palabras clave: cinéticas de secado, deshidratación osmótica, soluciones ternarias

RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objetivo obtener rodajas de piña (*Ananas comosus*) secas de la variedad cayena lisa; utilizando procesos combinados de deshidratación osmótica y secado. Fueron utilizados como osmodeshidratantes sacarosa y etanol. Rodajas de Piña sin corazón de 1 cm de espesor, fueron sumergidas en soluciones osmóticas de diferentes concentraciones de agua-etanol-sacarosa durante 3 horas. En el secado fue estudiada la influencia de la concentración de las soluciones osmóticas (agua-etanol-sacarosa) y la temperatura de secado (40, 50 y 60 °C). Las cinéticas de secado mostraron que a medida que se incrementaron la concentración de sacarosa en la solución, para un mismo tiempo de secado, la humedad disminuyó, y al aumentar el etanol en la solución, la velocidad de secado aumentó. Mediante estos experimentos se determinó que no es recomendable secar a 40°C por ser este muy lento, perjudicando al producto. A 60°C, la velocidad de secado fue alta, sin embargo las rodajas de piña sin tratamiento osmótico y las que fueron deshidratadas en soluciones de agua-etanol-sacarosa (33-33-33) y (34-16-50) presentaron encostramiento y cristalización, estableciéndose que las rodajas de piña secadas a 50 °C y deshidratadas osmóticamente en soluciones de agua-sacarosa (50-50), (60-40) y agua-etanol-sacarosa (34-16-50), como las rodajas de piña sin tratamiento tuvieron alto grado de aceptabilidad, siendo las rodajas de piña deshidratadas con soluciones de agua-etanol las que tuvieron menor grado de aceptabilidad.

INTRODUCCIÓN

La piña (*Ananas comosus*) es una especie nativa de Sudamérica, de probable origen compartido del centro y sureste de Brasil, Noreste de Argentina y Paraguay y bordes Meridionales de la Amazonia. La piña ha sido desarrollada y domesticada desde tiempos prehistóricos, pertenece a la familia de las Bromeliáceas. Algunas de ellas, como es el caso de la piña tropical, producen enzimas proteolíticas, es decir, sustancias capaces de facilitar la digestión de las proteínas. Todas las especies de esta extensa familia se crían en la América tropical.

La deshidratación osmótica y la tecnología de métodos combinados para el procesado de frutas, hortalizas, pescado, productos cárnicos y en la producción de alimentos de humedad intermedia es muy utilizada como etapa previa al secado. Los agentes osmóticos de mayor utilización son: sacarosa, glucosa, sorbitol y NaCl. Estos han sido escogidos por ser inocuos; algunos por ser efectivos en la reducción de humedad y peso, ejemplo la sacarosa **(Lerice *et al*., 1985; Welti *et al*., 1995),** otros por ser buenos reductores de la actividad de agua, ejemplo NaCl **(Medina-Vivanco, 1998).** El uso de soluciones ternarias en la deshidratación osmótica permite aprovechar las ventajas de ambos solutos **(Bohoun *et al.*, 1998 y Medina-Vivanco, 2002). Zapata y Castro (1999)** estudiaron la cinética de la deshidratación osmótica de piña con alcohol etílico como osmodeshidratante, utilizando soluciones de 80 % de etanol, a temperatura ambiente (alrededor de 25°C), en soluciones estáticas.

El secado es una técnica que se viene aplicando desde tiempos remotos, existiendo un gran numero de trabajos publicados. **Teles *et al*. (2006)** optimizaron la deshidratación osmótica de melón seguida de secado. Así mismo **Sanjinez-Argandoña *et al*. (2005)** indicaron que el tratamiento osmótico influenció en las propiedades del producto final, obteniendose un producto de mejor calidad en términos sensoriales y de contenido de vitamina C.

Los objetivos del presente trabajo fueron: evaluar la influencia del pre-tratamiento osmótico, utilizando soluciones de agua-sacarosa, agua-etanol y agua-etanol-sacarosa, y la influencia de la temperatura en la cinética y velocidad de secado en piña deshidratada osmóticamente en las soluciones mencionadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Se empleó Piña (*Ananas comosus*) de la variedad cayena lisa, cosechadas en la provincia de Lamas, departamento de San Martín.

Agentes deshidratantes: Sacarosa y Etanol.

Metodología experimental: Rodajas de Piña sin corazón de 1 cm de espesor, con humedad, proteínas, grasa, cenizas, fibra y carbohidratos totales de; 87.67 %, 0.14 %, 0.12 %, 0.30 %, 0.39 % y 11.38 % respectivamente y con contenido de ácido ascórbico de 26.85 mg/100g fueron sumergidas en soluciones osmóticas de diferentes concentraciones de agua-etanol-sacarosa (Cuadro N°1) durante 3 horas; estas rodajas fueron secadas en tres temperaturas (40, 50 y 60 °C).

Cuadro 01: Concentraciones de las soluciones osmóticas

ensayo N°	Agua (%)	Etanol (%)	Sacarosa (%)
1	100	0	0
2	0	100	0
3	0	0	100
4	84	16	0
5	50	0	50
6	34	16	50
7	76	24	0
8	60	0	40
9	36	24	40
10	33	33	33

Para analizar el efecto de las soluciones osmóticas durante el secado se utilizó un diseño experimental de mezcla de tres componentes de acuerdo con el cuadro N° 01

Este diseño experimental fue utilizado para las tres temperaturas de secado. El programa Statistica 5.0 Copyright© StatSoft, Inc (1995) se usó para el análisis del diseño experimental y para establecer las superficies de respuestas con un nivel de significancia de 95%.

El contenido de azúcar fue determinado por el método del DNS, recomendado por **Ranganna (1979);** *el contenido de etanol por*

el método del dicromato, que se basa en la oxidación de alcoholes por la presencia de éste (**Caputi *et al.*, 1968).**

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El contenido de agua, azúcar y etanol de las rodajas de piña, deshidratadas osmóticamente por 3 horas en soluciones osmóticas de Agua-Etanol–Sacarosa son mostradas en las Figuras 1 y 2.

En la Figura 01 se observa que la humedad disminuye a medida que aumenta el contenido de sacarosa en la solución, llegando a perder después de 3 horas hasta un 15 % de agua. **Vélez-Ruiz *et al.* (2000)** estudiaron la deshidratación osmótica de rodajas de piña y reportaron que después de 400 minutos de proceso, las rodajas de piña perdieron aproximadamente 29 % de agua y ganaron 9 % de azúcar; los valores de humedad menores obtenidos en el presente trabajo se debieron, posiblemente, al menor tiempo de proceso.

En la Figura 1.B se observa que el contenido de etanol en la rodaja de piña aumenta a medida que aumenta la concentración de etanol en la solución, resultado lógico porque aumenta la gradiente de concentración de etanol entre la solución y la rodaja de piña, coincidiendo con lo reportado por **Zapata y Castro (1999)**; asimismo, en la misma figura se puede notar que el contenido de etanol en la rodaja de piña, para una concentración constante de etanol en la solución, aumenta con el incremento de sacarosa en la solución, esto se podría explicar porque al ser la sacarosa insoluble en etanol, ésta compite por el agua presente en la solución, "elevando" la concentración de etanol en la solución, aumentando el gradiente de concentración entre la solución y la rodaja de piña. Según **Cussler (1976)**, cuando existe la presencia de dos osmodeshidratantes, el flujo difusivo de cada componente es afectado por el otro.

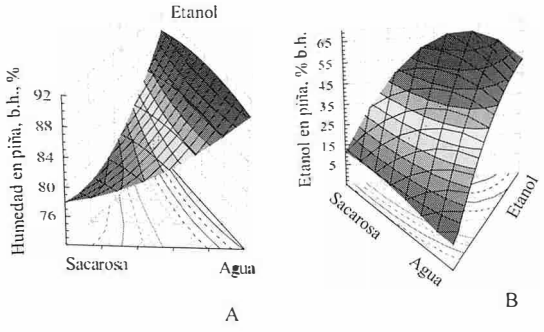


Figura N° 1. Influencia de la concentración de sacarosa y etanol de la solución en la humedad y etanol contenidos en la piña.

La Figura 2 nos muestra que conforme aumenta la sacarosa en la solución, el contenido de azúcares totales en la piña también aumenta; comportamiento similar fue observado por **Kaymak – Ertekin y Sultanoglu (2000)** quienes trabajaron con manzana utilizando soluciones de sacarosa que variaron desde 40 a 66% (p/p) a una temperatura de 30° C.

Secado. Las cinéticas de secado de las rodajas de piña deshidratadas osmoticamente en soluciones acuosas de etanol (Figura 3A), sacarosa (Figura 3B) y soluciones de agua–etanol-sacarosa (Figura 3C) a 50°C son presentadas en la Figura 03. En la figura se observa que la humedad, de todas las rodajas de piña, disminuyó a medida que aumentó el tiempo de secado, resultado esperado y que concuerda con lo reportado por **Park (1998),** quienes estudiaron la cinética de secado del cacao.

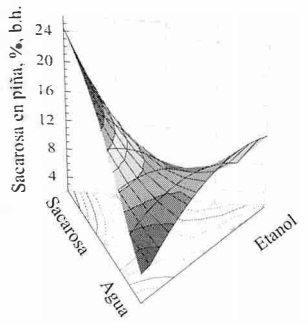


Figura N° 2: Influencia del etanol y la sacarosa en la solución en el contenido de sacarosa.

Las muestras deshidratadas en soluciones de agua-etanol, mostraron un contenido de humedad inicial más alto que las rodajas de piña no tratadas o las deshidtratadas en soluciones de sacarosa, esto porque en el contenido de humedad determinado, además de cuantificar el agua presente, también midió el etanol ganado durante la deshidratación osmótica. En la Figura 03-B se aprecia que la humedad inicial es inversamente proporcional al incremento de la concentración de sacarosa en la solución, asimismo se observa que las humedades iniciales de las rodajas de piña deshidratadas osmóticamente en soluciones de agua-sacarosa son más bajas que las rodajas de piña no tratadas y deshidratadas osmoticamente en soluciones agua-etanol y agua-etanol-sacarosa; esto debido a que la sacarosa es un buen agente osmodeshidratante **(Bohuon *et al.* 1998; Kaymak – Ertekin y Sultanoglu 2000).**

En la Figura 3-C se observa el efecto combinado de la sacarosa y el etanol: la velocidad de secado de las rodajas de piña deshidratadas osmóticamente en soluciones ternarias es mayor que las deshidratadas osmóticamente con soluciones de agua-sacarosa y la humedad inicial es menor que las deshidratadas en soluciones de agua etanol, ya que la sacarosa disminuye la humedad y la presencia del etanol aumenta la velocidad de secado. Las rodajas de piña que tuvieron menor humedad inicial y mayor velocidad de secado fueron las rodajas deshidratadas en soluciones de agua-etanol-sacarosa de 36-24-40 %.

Para poder apreciar con mayor claridad el comportamiento de los osmodeshidratantes, se evaluaron las rodajas de piña deshidratadas osmóticamente a las 8,50 horas de iniciado el proceso de secado tal como se observa en la Figura 4, la misma que nos muestra cómo afectan las concentraciones de las soluciones deshidratantes en la humedad de la rodaja de piña secada durante el lapso mencionado. Se observa que la humedad aumenta con el incremento de sacarosa en la solución hasta llegar a un máximo después del cual, ésta disminuye con el aumento de sacarosa en la solución. En la misma figura se observa que la humedad disminuye con el aumento de etanol.

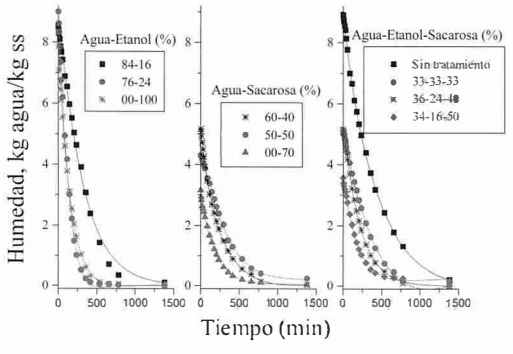


Figura N° 3. Cinética de secado a 50°C y 3 horas de D.O.

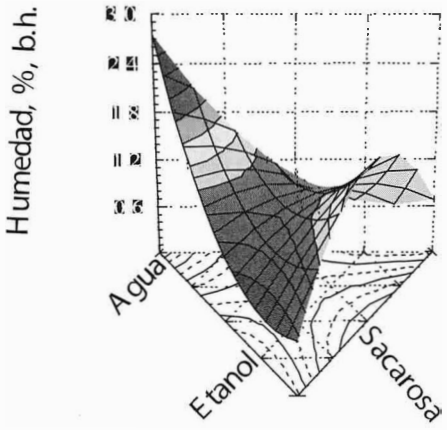


Figura N°4. Influencia de la concentración de la solución en la humedad de la rodaja de piña D.O. 3 horas y secada 8,5 horas.

Efecto de la temperatura

En la Figura 5, se muestra la influencia de la temperatura en la cinética de secado de las rodajas de piña deshidratadas osmóticamente en soluciones de agua-etanol-sacarosa; en la figura se observa que cuando existe un tercio de cada uno de los osmodeshidratantes, la velocidad de secado es baja para la temperatura de 40°C; teniendo mejor comportamiento las rodajas que fueron secadas a 60 °C y 50 °C. Con las temperaturas de 50 y 60 °C se observa que las velocidades de secado aumentan considerablemente obteniéndose por tanto humedades menores y disminución en el tiempo de secado; resultados similares reportaron **Sankat *et al.* (1996)** y **Uddin *et al.* (1990)** quienes trabajaron con rodajas de banana y piña al natural y deshidratada osmóticamente en soluciones de sacarosa., respectivamente, y observaron que la temperatura influyó en las cinéticas de secado, disminuyendo el tiempo de secado. La temperatura es un factor muy importante en los procesos de secado y actúa de manera muy efectiva favoreciendo la quiebra de resistencia a los procesos de transferencia de masa. **Bain y Mcbean (1969)** trabajaron con ciruela seca, y observaron cambios en la fina estructura superficial de la cáscara, cuando la temperatura aumentó de 49 a 63°C.

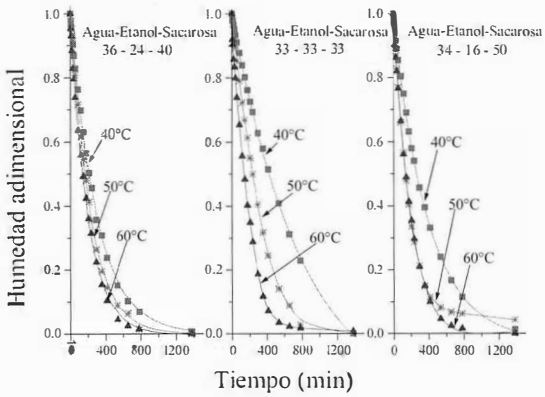


Figura N° 5: Efecto de la temperatura en la cinética de secado de rodajas de piña D.O. en soluciones de agua-etanol-sacarosa.

CONCLUSIONES

La deshidratación osmótica de piña en soluciones de agua-etanol, dio como resultado humedades más altas, con soluciones de agua-sacarosa las humedades más bajas, y con soluciones de agua-etanol-sacarosa, humedades intermedias.

En el proceso de secado, la humedad disminuye a medida que se incrementa la temperatura y el tiempo de secado.

El efecto combinado de la sacarosa y el etanol determina que a medida que se incrementa la concentración de sacarosa en la solución, la humedad inicial disminuye, mientras que cuando se aumenta la concentración del etanol, la velocidad de secado aumentó.

Las muestras de mejor aceptación, determinadas a través del análisis sensorial, fueron las rodajas de piña secadas a 50 °C y deshidratadas osmóticamente con soluciones de agua-etanol-sacarosa (50-0-50), (60-0-40), (34-16-50) y sin tratamiento osmótico. Las rodajas de piña secadas a 40 °C no tuvieron aceptación, ya que presentaron oscurecimiento y humedad en la superficie.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Bain, J. M. & Mcbean, D. M. 1969. The development of the cuticular wax layer in prune plums and the changes occurring in it during dring. Australian J. of Biological Science, 22, 101-110.
- Bohuon, P.; Collignan, A.; Rios, G.M.; Raoult-Wack, A.L. 1998. "Soaking Process in Ternary Liquids: Experimental Study of Mass Transport Under Natural and Forced Convection", Journal of Food Engineering, 37, 451-469.
- Kaymak-Ertekin, F. & Sultanoglu, M. 2000. Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. Journal of engineering, 46, 243-250.
- Lerici, C. R., Pinnavaia, G., Dalla Rosa, M. & Bartolucci, L. 1985. Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behaviour and product quality; Journal of food Science; vol. 50, pp. 1217 – 1226.
- Medina-Vivanco, M.; Sobral, J. P. And Hubinger, M. 1998. Mass transfer during dewatering and salting of tilapia for different volume ratios of brine and fillets. Proceeding of 11th International Symposium Drying, Greece, and v. A, p. 852-859.
- Medina-Vivanco, M.; Sobral, J. P. And Hubinger, M. 2002. Osmotic dehydration of tilapia fillets in limited volume of ternary solutions. Chem. Eng. J., v. 86, p. 199-205.
- Ranganna, S. 1979. Manual of analysis of fruit and vegetables products. New delhi: Mc-Graw Hill Publishing Caompany,. 634p.
- Sanjinez-Argandoña, E.J.; Cunha, R.L.; Menegalli, F.C. A and Hubinger, M.D. 2005, Evaluation Of Total Carotenoids And Ascorbic Acid In Osmotic Pretreated Guavas During Convective. Drying. Ital. J. Food Sci. N. 3, Vol. 17, 305-314.
-Sankat, C. K; Castaigne, F. & Maharaj, R 1996. The air dring behaviour of fresh and osmotically dehydrated banana slices. International Journal of Food Science and Technology, 31, 123-135.
- Uddin, M. S.& Hawlander, M. N. A. 1990. Evaluation of drying chaacteristics of pineapple in the production of pineapple powder. J. of Food Processing and Preservation, 14, 375-391
- Ulisses M. Teles, Fabiano A. N. Fernandes, Sueli Rodrigues, Andre´a S. Lima, Geraldo A. Maia & Raimundo W. Figueiredo. 2006, Optimization of osmotic dehydration of melons followed by air-drying.International Journal of Food Science and Technology 2006, 41, 674-680.
- Velez Ruiz, J.F. Kosegaten-Conde, C. And Lopez –Malo A., 2000 "Study of the osmotic dehydration of pineapple rings. 12th international Drying Symposium.
- Welti, J.; Palou, E.; Lopez-Malo And Balseira, A. 1995. Osmotic Concentration Drying of Mango Slices; Drying Technology, vol 13 (1&2), pp. 405 -416.
- Zapata, José Y Castro, Gilberto. 1999. Cinética de la deshidratación osmótica de piña con alcohol etílico como osmodeshidratante. Revista Facultad de Ingeniería, URL:http://jaibana.udea.edu.co/grupos/revista/nro018/articulos.html.

EFECTO DE DIFERENTES VARIABLES DE PROCESO EN LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE PIÑA (*Ananas comosus*)

Rosas M., Marta Elvia; Meléndez P., Rosalía; Cruz D., Benito
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN – UNAM
Av. 1º de mayo s/n, Col. Atlanta, Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, cp 54740, México
merosas@servidor.unam.mx

Palabras clave: Transferencia de masa, presión osmótica, difusión, vacío, piña

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue el de evaluar la influencia de las variables mas importantes sobre la cinética de deshidratación osmótica de piña (*Ananas comosus.* v. cayene), su textura y la calidad estructural. Se manejaron 7 variables a dos niveles cada una: Temperatura (20 y 50 °C), Solución osmótica (sacarosa y glucosa), Concentración de la solución (30 y 60%), Presión (25 y 54 cm Hg), Espesor (1 y 2 cm), Corte de las muestras (longitudinal y transversal), con agitación (1380 rpm) y sin ella. La experimentación, así como la evaluación del efecto de las variables, se realizó mediante la metodología Taguchi, de la cual se obtuvieron los mejores niveles de las variables involucradas para mejorar el proceso.

La deshidratación osmótica (D.O.) se realizó en una cámara diseñada para este propósito, colocada sobre una parrilla eléctrica con agitación, en su caso, para controlar la temperatura y la agitación misma. Se colocaron placas de piña en la celda de deshidratación y se registraron los datos necesarios para construir las cinéticas de deshidratación correspondientes durante 5 horas de proceso. Con los datos obtenidos se calcularon los coeficientes de difusión efectiva del líquido para cada combinación de variables, y se realizaron pruebas mecánicas de penetración para conocer los cambios de textura en el alimento después del proceso. Se utilizó un producto comercial conocido como "fruta cristalizada", también de piña, para establecer los parámetros y niveles experimentales. Los cambios estructurales en el producto fueron evidenciados por fotografías tomadas con un microscopio electrónico de barrido (MEB).

Las mejores condiciones de proceso se determinaron como aquellas que resultaran en una combinación de mayor pérdida de agua y ganancia de solutos, así como la que presentara la menor humedad final y mayor coeficiente de difusión, conservando una textura similar a la de un producto comercial.

INTRODUCCIÓN

La deshidratación es uno de los principales métodos de conservación que se aplica a las frutas, puesto que de esta menera es posible controlar su vulnerabilidad causada por el alto contenido de agua. La deshidratación osmótica es una operación que comúnmente se aplica para conservar la calidad y estabilidad de frutas y hortalizas, sin tener grandes pérdidas en compuestos aromáticos (Anzaldua, 1994); puede ser utilizada como una operación previa a procesos como el secado y la liofilización, disminuyendo los costos energéticos. Es un tratamiento de eliminación parcial de agua, donde se sumerge la materia prima en una solución hipertónica que tiene una alta presión osmótica y baja actividad de agua, siendo ésta la fuerza impulsora para que el agua del alimento se difunda en el medio, originándose así una transferencia de masa desde la región de mayor concentración hacia la de menor concentración (Kaymak y Sultanoglu, 2000).

En los productos deshidratados osmóticamente, la mayor resistencia a la transferencia de masa, debida a la composición, características y morfología de los productos, se localiza en la membrana celular semipermeable, a través de la cual es posible la transferencia de agua, sales, y azúcares naturales.

Las variables de proceso, como son: la concentración, el tipo de soluto, la temperatura, presión, tiempos de residencia, geometría y tipo de tejido, han sido estudiadas extensamente (Pan et al., 2003; Kaymak y Sultanoglu, 2000; Mújica-Paz et al., 2003; Rastogi y Raghavarao, 2004), ya que todas ellas afectan a la velocidad de transferencia de masa. El aumento de la temperatura en el sistema va a producir cambios en la permeabilidad de la membrana celular y en la fluidez de la solución. Cuando se aplica una presión de vacío se favorece el proceso de transferencia de masa ya que permite retirar los gases ocluidos en espacios intracelulares, característicos del tejido parenquimatoso, y ser ocupados por la solución osmótica, incrementando el área disponible para la transferencia de masa. La concentración de la solución afecta a la cinética de la deshidratación, ya que si se mantiene el gradiente de concentraciones, se favorece la velocidad de transferencia (Rastogi et al., 2002).

La textura de los alimentos depende fundamentalmente de su estructura, esto es, las frutas y hortalizas son organismos vivos compuestos de células cuyas paredes imparten un grado de rigidez al fruto y mantienen la forma del tejido, todo esto es debido al agua que actúa como plastificante en los tejidos vegetales. Muchos de los cambios de la estructura de la planta están en función del contenido de agua, en algunos alimentos la rigidez o la plasticidad aumenta en contenidos menores a 20% en base seca debido a la desaparición de agua libre. La estructura de estos alimentos es uno de los contribuyentes principales de las características de textura final en los alimentos procesados (Bourne, 1982).

El método de análisis de la estructura celular más directo y objetivo que existe, es la observación de los tejidos a nivel celular mediante la utilización de uno o varios lentes que proporcionen el aumento necesario para hacerlos visibles. Este tipo de análisis se ha logrado a través de la microscopia.

El microscopio electrónico ha sido empleado en estudios de deshidratación osmótica de frutas (Nieto et al., 2004; Chiralt y Fito, 2003). En estos estudios se ha demostrado que muchos de los aspectos de la estructura celular se ven afectados durante el proceso de D.O. como son la alteración de la pared celular, la descomposición del centro de la lamela, la muerte de la membrana, el encogimiento de tejidos, etc. Estos cambios tisulares, alteran fuertemente la estructura celular, la matriz de la pared celular y la permeabilidad de la membrana, por lo que pueden influir enormemente en las propiedades de transporte durante el proceso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las piñas fueron adquiridas en un mercado local y seleccionadas por su grado de madurez (firmeza, uniformidad de tamaño y forma) así como el que estuvieran libres de pudriciones, de quemaduras de sol, agrietamientos, magulladuras y daños por insectos; se buscó que las hojas de la corona fueran de color verde, longitud media, y erguidas.

El jarabe de sacarosa se encontró en el mercado, utilizándose el de la marca "La Madrileña". El jarabe de glucosa se preparó en el laboratorio utilizándose glucosa grado alimenticio "Baker", la cual fue disuelta en agua destilada hasta obtener las concentraciones deseadas de 30 y 60 grados Brix (°Bx).

Se utilizaron placas infinitas de piña, de 1 y 2 cm de espesor, cortadas longitudinal y transversalmente al eje de la fruta (fig. 1); fueron sumergidas en las soluciones osmóticas, bajo los distintos niveles de variación, durante 5 horas, dentro de una celda de vidrio con tapa que se mantuvo a la temperatura de experimentación con una parrilla eléctrica, con o sin agitación y/o vacio. La humedad inicial de la muestra, así como a cada tiempo experimental, se determinó por el método de estufa (AOAC 14.003), y la diferencia en peso de las muestras se registró cada 15 minutos.

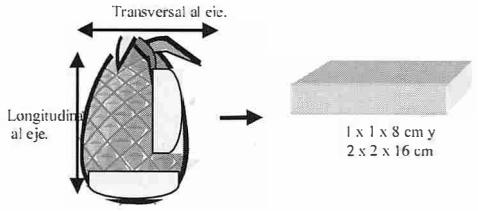


Figura 1. Obtención de muestras en forma de placas

El diseño experimental se llevó a cabo bajo un arreglo ortogonal L8 $(2)^7$, según la metodología de Taguchi (1987) que se presenta en la tabla 1. Los resultados se analizaron bajo el criterio "mayor es mejor", para obtener los mejores niveles recomendados por este método en la deshidratación osmótica de piña. Las variables de respuesta fueron la menor humedad alcanzada, mayor pérdida de agua, ganancia de sólidos y coeficiente de difusión del líquido.

Tabla 1- Diseño ortogonal L8 $(2)^7$ de Taguchi

No.	Sol'n	°Bx	°C	cm Hg	Corte	(cm)	(rpm)
1	GLU	30	20	25	L	1	0
2	GLU	30	20	54	T	2	1380
3	GLU	60	50	25	L	2	1380
4	GLU	60	50	54	T	1	0
5	SAC	30	50	25	T	1	1380
6	SAC	30	50	54	L	2	0
7	SAC	60	20	25	T	2	0
8	SAC	60	20	54	L	1	1380

El cálculo de los parámetros osmóticos, se realizó a partir de las siguientes ecuaciones (Mújica-Paz et al., 2003):

$$SG = \frac{(W_{St} - W_{So})}{(W_{So} + W_{Wo})} x100$$

$$WL = \left[\frac{(W_{Wo}) - (W_t - W_{So})}{(W_{So} + W_{Wo})} \right] x100$$

$$WR = WL - SG$$

Donde SG, WL y WR representan la ganancia de sólidos, pérdida de agua y reducción en peso, respectivamente; W_{W0} es el peso del agua y W_{S0} es el peso de los sólidos inicialmente presentes en la muestra; W_t y W_{St} son los pesos de la fruta y de los sólidos presentes al final del tratamiento.

Los coeficientes de difusión efectiva para el líquido se obtuvieron de la solución analítica a la segunda ley de Fick, para la geometría de placa infinita y en estado inestable (Crack, 1975; Barbosa, 2000), considerando difusión constante en el proceso y humedad inicial uniforme:

$$M_t - M_e = 8 \; e^{-\frac{D_e t \pi^2}{x^2}}$$

donde los subíndices 0, *e* y *t* representan las concentraciones iniciales, en equilibrio y a cualquier tiempo, respectivamente; x se refiere a la mitad del espesor de cada placa. Para encontrar la humedad de equilibrio (M_e), se obtuvo la velocidad de cambio de contenido de humedad (-dM/dt) en función del contenido promedio de humedad en base seca (Rastogi y Raghavarao, 2004).

Para la determinación de las propiedades texturales se utilizo una máquina universal de textura Instron (modelo 1125), donde se corrió la prueba de penetración, de la cual se obtiene la fuerza máxima requerida, que es el esfuerzo que un objeto soporta antes de que se rompa. Se utilizo un instrumento de penetración recto a manera de varilla de ¼ de pulgada de diámetro. El parámetro de referencia para la textura final de la piña se obtuvo de un producto comercial (piña cristalizada), el cual fue de 0.649kN.

En la preparación de muestras para el Microscopio Electrónico de Barrido Jeol (JSM-25 SII), se requirieron muestras de $1 cm^3$; la fijación se realizó inmediatamente después del corte de la muestra, con glutaraldehído, tetroxido de osmio ó una combinación de ambos para obtener un mayor contraste en el momento de la observación. Una vez fijada la muestra se realizó un lavado con solución buffer de fosfatos para eliminar el exceso del fijador. Posteriormente se llevó acabo una deshidratación gradual del 40 al 100 % en forma ascendente, para esto se utilizó alcohol etílico. El secado se realizó a temperatura y presión crítica, utilizando CO_2, de modo que al ponerlas en contacto este retiró el exceso de solvente. Para poder observar la muestra en el MEB, las muestras fueron cubiertas con una capa fina de oro.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2 se muestra la cinética de deshidratación de la piña para las 8 diferentes corridas.

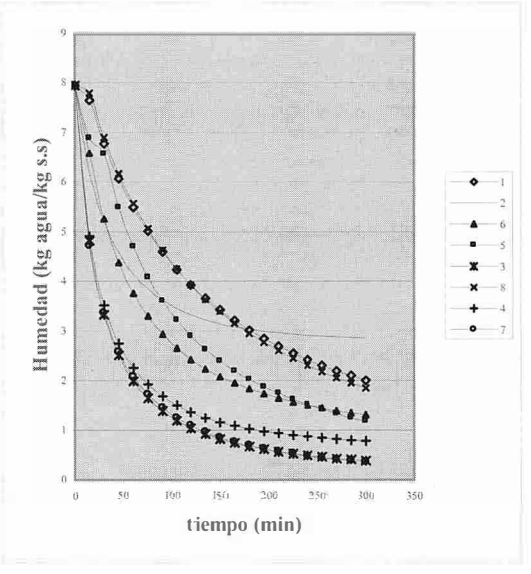


Figura 2- Cinética de la deshidratación osmótica de piña

Una vez terminada la experimentación, los resultados fueron analizados en el programa ANOVA 2003-Taguchi method, en el cual se logró el análisis estadístico con el cual se obtuvieron los niveles recomendados (tabla 2) para mejorar el proceso de deshidratación osmótica de piña.

La corrida número 7 fue la que presentó los mejores resultados del proceso osmótico; a partir de la recomendación del análisis estadístico, se realizó una corrida con estos niveles y los resultados obtenidos para ambas se presentan en la tabla 3.

Se puede observar que la diferencia entre la mejor corrida y la recomendada por el método Taguchi, está en el tipo de corte la presión y la agitación.

La mejoría observada en los parámetros de la corrida ideal es atribuida al tipo de azúcar utilizada en la solución, la cual es de menor peso molecular que la sacarosa, y a la temperatura que influye en su viscosidad y en la resistencia de la membrana (o de los espacios intracelulares) para la transferencia de masa.

Tabla 2- Valores recomendados por la metodología Taguchi

Factor	Nivel recomendado	Valor
Concentración	Alto	60°Bx
Temperatura	Alto	50°C
Tipo de solución	Bajo	Glucosa
Presión en el sistema	Bajo	25 cm Hg
Tipo de corte	Bajo	Longitudinal al eje de la fruta
Espesor	Bajo	1 cm
Agitación	Alto	1380 rpm

Tabla 3- Resultados de la corrida 7 y la recomendada por el método Taguchi

Humedad final(kg agua/ kg s.s)	SG (%)	WL (%)	De (m^2/s) X10^{-9}	Fuerza (kN)
0.3554	0.4512	0.6879	5.0660x10^{-10}	0.575
0.115	0.635	0.5991	3.2610x10^{-9}	0.584

El análisis estadístico muestra que la ganancia de sólidos se ve afectada principalmente por la concentración de la solución, el espesor de la placa y la interacción °Bx–temperatura; éstas tienen un 65% de influencia general en el proceso. La pérdida de agua se ve afectada también por la concentración de la solución y la interacción °Bx–espesor; éstas tienen un 71% de influencia. El 45% de influencia sobre la difusión del líquido lo tienen el tipo de solución, la agitación y el espesor de la muestra; este último es el que más afecta a la prueba de penetración. En todos los casos, el tipo de corte contribuyó solo con un 5 a 7%. En general, para este análisis, la presión del sistema no es determinante para el proceso de deshidratación.

Del análisis estructural se presenta la figura 3, que muestra las fotografías de un corte longitudinal de piña, obtenidas por MEB a 200x, donde se pueden observar los cambios durante la deshidratación osmótica en comparación con un producto sometido a secado convectivo. Con esto se demuestra que el proceso osmótico tiene grandes ventajas en lo referente a la conservación de ciertas propiedades del alimento, ya que su estructura interna no es deformada por el calor, lo cual también favorece a los procesos de transferencia de masa. Además las figuras 3-A y 3-D, nos muestra la diferencia entre cortes, de las cuales se intuye porqué se da más fácilmente la difusión en un corte longitudinal.

CONCLUSIONES

La penetración de sólidos en el alimento depende tanto de parámetros del producto (especie, madurez, variedad, etc.) como de los parámetros del proceso (tamaño molecular del soluto, concentración de la solución, temperatura, agitación, etc.). Los primeros tienen un efecto significativo en la estructura natural del tejido, en la estructura de la membrana celular, en la cantidad de sólidos solubles, espacios intercelulares, aire atrapado, etc. La densidad del tejido es la característica material más importante en las propiedades termofísicas y de transporte; por lo tanto, las diferencias estructurales afectan substancialmente el intercambio másico difusional entre el producto y el medio osmótico. Especialmente la porosidad del material fresco tiene un efecto significativo tanto en los fenómenos de encogimiento como en la velocidad de transferencia de masa.

Fenómenos como las pérdidas de agua o solutos nativos, penetración/difusión de solutos externos o solución, así como alteraciones fisiológicas de las células, debidas a la ocurrencia de reacciones químicas o bioquímicas, son los que producen los cambios en las propiedades del producto.

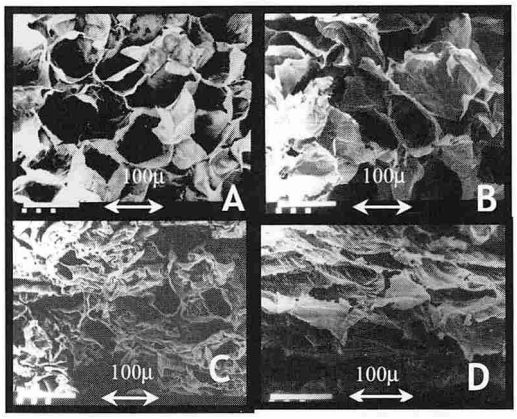


Figura 3- A) piña fresca, 96% de humedad, B) piña después de 4h de deshidratación osmótica, 28% de humedad, C) piña después de 10h de secado convectivo, 26% de humedad, D) piña fresca en corte transversal

Con la correcta selección de las variables de proceso, es posible obtener la textura deseada del alimento y resaltar el sabor natural y retención del color del producto final, permitiendo diseñar ingredientes para usos particulares. En este sentido, la metodología Taguchi es una herramienta muy útil para optimizar procesos.

REFERENCIAS

-Anzaldua, M.A. 1994. "La evaluación sensorial de los alimentos; teoria y practica". Ed. Acribia. España. 216 p.

-A●AC. 1990. "●fficial method of analysis" . Association of ●fficial Analytical Chemists. Washington, DC

-Barbosa-Canovas, V. y Vega-Mercado, H. 2000. "Deshidratación de alimentos". Ed. Acribia. España. 279 p.

-Bourne, M. 1982. "Food texture and viscosity; concept and measurement". Ed. Academic Press. EUA. 325 p.

-Chiralt, A. and Fito, P. 2003 Transport mechanisms in osmotic dehydration, the role of the structure. Food Sci. and Tech. Int. 9: 179 – 186.

-Crank, J. 1975. "The Mathematics of Diffusion". ●xford Science Press Inc. N.Y. EUA. 411p.

-Kaymak, F. and Sultanoglu, M. 2000. Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apple. J. Food Eng. 46: 243-247

-Le Maguer, M., Shi, J. and C. Fernandez. 2003. Mass transfer behavior of plant tissues during osmotic dehydration. Food Sci. and Tech. Int. 9:187 – 192.

-Mújica-Paz, H., Valdez-Fragoso, A. López-Malo, A., Palou, A. and J. Welti-Chanes. 2003. Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration. J. Food Eng. 57:305-314.

-Nieto, A.B., Salvatori, D.M., Castro, M.A. and Alzadora, S.M. 2004. Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density and microscopic features. J. Food Eng. 61:269–278

-Rastogi N.K., Raghavarao K.S.M.S., Niranjan K. and Knorr D. 2002. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. Trends in Food Sci. & Tech. 13: 48–59

-Rastogi N.K. and Raghavarao K.S.M.S. 2004. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie. 37:43–47

-Pan, Y.K., Zhao, L.J., Zhang, Y., Chen, G. and Mujumdar, A. S. 2003. ●smotic Dehydration Pretreatment in Drying of Fruits and Vegetables. Drying Tech. 21:1101–1114.

-Taguchi, G. and Konishi, S. 1987. Taguchi methods : orthogonal arrays and linear graphs. Tools for quality engineering. American Supplier Institute. EUA . 72 p.

-Taguchi, G.. 1987. System of Experimental Design. Vols 1 y 2. ASI & Quality Resources. 1189p.

CINETICA DE SECADO EN BANDEJAS DE ARROZ INTEGRAL PRECOCIDO

Colina, Jhoana; Guerra, Marisa.
UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DEPARTAMENTO DE PROCESOS BIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS
Apdo. 89000. E-mail: 04-83907@usb.ve, mguerra@usb.ve
CARACAS- VENEZUELA

Palabras Clave: Cinética, Secado en Bandejas, Arroz Integral

RESUMEN

En Venezuela, los cereales más consumidos son el maíz, trigo y arroz, siendo este último el que tiene mayor rendimiento y mejor valor nutricional, el cual se disminuye al procesarlo para obtener el arroz blanco. El arroz integral a pesar de ser más nutritivo que el pulido, tiene un bajo consumo debido principalmente a su largo tiempo de cocción (45 – 60 min). En los últimos años ha existido un auge en el desarrollo de productos saludables y de rápida preparación que permitan diversificar los existentes en el mercado nacional, razón por la cual el propósito de este trabajo fue estudiar la cinética de secado de un arroz integral precocido a diferentes temperaturas de trabajo (82 y 93 °C), mediante aire caliente. La velocidad de aire se mantuvo constante. Se utilizó una estufa de convección forzada y se registró la masa de la muestra en el tiempo. En la curva de velocidad de secado vs. humedad, se muestran tres etapas, una primera de calentamiento; una segunda de secado constante y otra etapa decreciente, en la que la velocidad de secado se da en dos formas. El tiempo de secado para alcanzar una humedad de 0,11 g agua/g sólidos secos, la cual asegura la estabilidad del producto, a la temperatura de 82 °C fue de 3 horas y 20 minutos, para la de 93 °C fue de 2 horas y 50 minutos, sin embargo, cabe destacar que aunque se necesita menos tiempo a 93 °C el gasto energético es mayor que a 82 °C, por lo que se recomienda utilizar esta temperatura para el secado del arroz integral precocido.

INTRODUCCIÓN

A escala mundial, el arroz (*Oryza sativa* L.) es la cosecha de cereales más importante, ya que se produce en todos los continentes, además es el alimento principal de 2/3 de la población mundial. En Venezuela, los cereales más consumidos son el maíz, trigo y arroz, siendo éste último el segundo cereal en producción del país, sin embargo, su rendimiento es mayor al del maíz y trigo (FAO, 2000; 2005).

El arroz integral es el que menos se consume, a pesar de sus beneficios en nutrientes y antioxidantes naturales (Mohapatra y Bal, 2006), debido principalmente a que tiene la desventaja de que se necesita un tiempo prolongado de cocción (45 - 60 minutos) (Castillo, 1990). Esto puede ser mejorado con el desarrollo de un proceso de precocción que permita la obtención de un producto de cocción rápida, el cual generalmente se lleva a cabo en tres etapas: remojo, cocción y secado (Roberts y col., 1980; Smith y col., 1985).

El secado es un proceso de conservación de alimentos que a través de la eliminación de agua limita las reacciones químicas de degradación posibles, así como el desarrollo de los microorganismos responsables de su deterioro (Sharma y col., 2003).

En el desarrollo de arroces de cocción rápida, el secado a altas temperaturas (80 – 100 °C) permite la obtención de arroces con una mejor capacidad de rehidratación que aquellos secados a baja temperatura, debido a que se producen excesivas fisuras (Ghosh y Mukherjee, 1988).

El propósito de este trabajo fue estudiar la cinética de secado de un arroz integral precocido a dos temperaturas de trabajo (82 y 93 °C).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó arroz integral precocido con una humedad de 1,12 g agua/g sólidos secos. Las curvas de secado se elaboraron a dos temperatura (82 y 93 °C) con el fin de determinar el tiempo de secado necesario para que el arroz integral alcanzara una humedad de 0,11 g agua/g sólidos secos, la cual asegura la estabilidad del mismo (COVENIN, 1986). Para esto, el arroz precocido se dispuso en una bandeja de 30 x 20 cm, con un espesor de capa de 1 cm aproximadamente. El arroz fue distribuido uniformemente. Se registró el peso inicial de la muestra. El proceso se llevó a cabo por 5 horas y 30 minutos, durante el cual se registró:

- La variación del peso utilizando una balanza de precisión electrónica, en intervalos de 1 minuto hasta los 5 minutos, luego en intervalos de 5 minutos hasta los 25 minutos, después en intervalos de 15 minutos hasta los 85 minutos y a intervalos de 30 minutos hasta alcanzar las 5,5 horas de proceso. Se determinó la masa final de la muestra después de 18 horas para calcular el contenido de humedad en equilibrio.
- La temperatura ambiente, en intervalos de 30 minutos.
- La temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo, en intervalos de 30 minutos.

La determinación de la humedad inicial se realizó según el método oficial 925.10 (AOAC, 1990).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestran las curvas de secado del arroz integral precocido a las dos temperaturas.

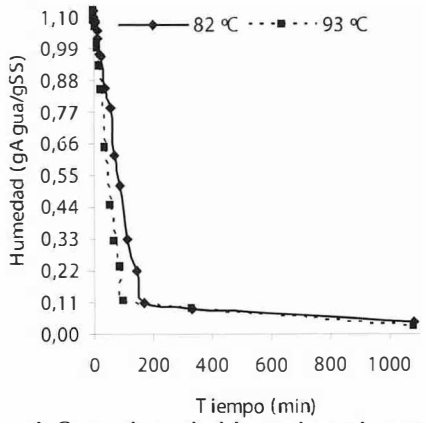


Figura 1. Curvas de secado del arroz integral precocido.

Se puede observar en la Figura 1 que para la temperatura de 82 °C, el tiempo necesario para alcanzar la humedad deseada fue de 167 minutos, esto es equivalente a 2 horas y 47 minutos, mientras que para 93 °C se requieren 133 minutos, es decir, 2 horas y 13 minutos, por lo que a menor temperatura mayor es el tiempo de secado a un flujo de aire constante.

En las Figuras 2 y 3 se muestran las curvas de la velocidad de secado vs. el contenido de humedad del arroz integral precocido a 82 y 93 °C, respectivamente.

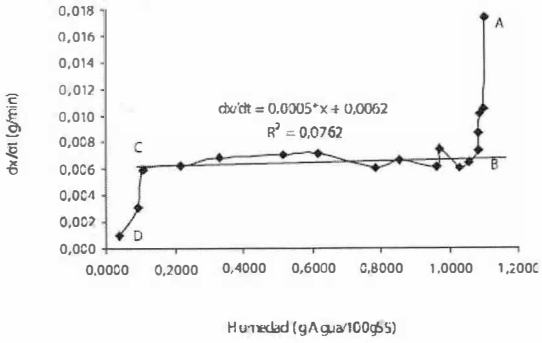


Figura 2. Velocidad de secado del arroz integral precocido a 82 °C.

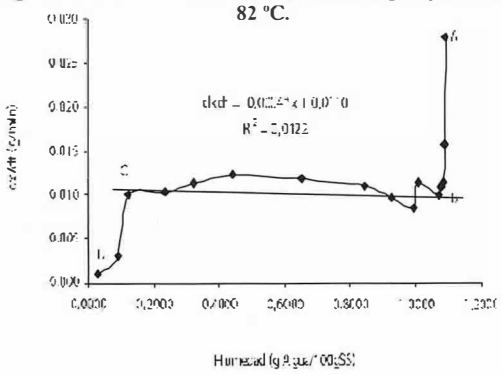


Figura 3. Velocidad de secado del arroz integral precocido a 93 °C.

En estas se observan tres etapas típicas del secado hecho en bandejas. La primera es una etapa de calentamiento inicial (A – B) del sólido de poca duración en la cual la evaporación no es significativa por su intensidad ni por su cantidad. En esta etapa el sólido se calienta desde la temperatura ambiente hasta que se alcance el equilibrio entre el enfriamiento por evaporación y la absorción de calor de los gases (Treybal, 1965; Contreras, 2004).

La segunda etapa o periodo de secado de velocidad constante (B – C) donde se evapora la humedad libre o no ligada del material y predominan las condiciones externas. La velocidad de secado se mantiene constante si el aire tiene un estado estacionario y en general depende sólo de las propiedades y velocidad del mismo. Durante este periodo la temperatura del sólido se mantiene igual a la de bulbo húmedo del aire, ya que se mantiene el equilibrio alcanzado al final de la etapa de calentamiento (Treybal, 1965; Contreras, 2004).

La tercera etapa o periodo de velocidad de secado decreciente (C – D); donde se evapora la humedad ligada del material y predominan las condiciones internas, o simultáneamente las características internas y externas del producto. Durante este periodo, la temperatura del material sobrepasa la de bulbo húmedo debido a que el descenso de la velocidad de secado rompe el equilibrio térmico que mantiene estable la temperatura y una parte considerable del calor se emplea en un calentamiento del sólido. Ahora la humedad deberá ser extraída del interior del material con el consiguiente incremento de la resistencia a la evaporación (Treybal, 1965; Contreras, 2004).

Este periodo de velocidad decreciente puede dividirse en dos partes, con diferentes comportamientos de la velocidad de secado, la cual decrece cada vez más al disminuir la humedad del sólido. En este caso se observan dos zonas, característica típica de alimentos higroscópicos (Sharma y col., 2003).

Un parámetro muy importante a determinar en los materiales a secar es la humedad a la cual se cambia del primero al segundo período, llamada humedad crítica. En esta investigación la humedad crítica fue de 0,21 y 0,23 g agua/ g sólidos secos para las temperaturas de 82 y 93 °C, respectivamente.

Por otra parte, la humedad de equilibrio obtenida después de 5,5 horas de secado fue de 0,04 y 0,03 g agua/g sólidos secos para 82 y 93 °C, respectivamente.

Otro elemento importante es el gasto energético que se lleva a cabo durante el proceso de secado. Para esto, se tomó en cuenta sólo el periodo de velocidad constante, ya que en este es donde se necesita más tiempo para alcanzar la humedad deseada, siendo despreciable el periodo de velocidad decreciente, el cual es de alrededor 15 minutos, además el espesor de capa es pequeño.

En la condición de estado estacionario, la velocidad de evaporación esta relacionada con la transferencia de calor por convección forzada en el periodo de velocidad constante (Sharma y col., 2003), por lo que:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{hA(T_e - T_s)}{\lambda} \qquad \text{(ec. 1)}$$

siendo dx/dt = el contenido de humedad, en base seca, en el tiempo t, h = coeficiente de transferencia convectiva de calor, T_s = temperatura de bulbo húmedo o superficial, T_e = temperatura del aire. Si despejamos el coeficiente de convección de la ecuación 1 se tiene:

$$h = \frac{\lambda(dx/dt)}{A(T_e - T_s)} \qquad \text{(ec. 2)}$$

Al ajustar los puntos de la etapa de velocidad constante se obtiene que la velocidad de secado es 0,0062 y 0,0110g/min para las temperaturas de 82 y 93 °C, respectivamente. Se observa que la velocidad de secado es mayor a la temperatura de 93 °C, esto es de esperarse debido a que aumenta la fuerza impulsora ($T_e - T_s$) (Treybal, 1965).

Los valores de los parámetros medidos a las dos temperaturas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de secado a dos temperaturas.

Parámetro	82 °C	93 °C
Área (m^2)	0,2	0,2
T_e (°C)	81	93
T_s (°C)	36	50
λ (J/g)	2416,2	2382,8
H_R (%)	6,0	12,5

Al sustituir los valores en la ecuación 2, se tiene que el coeficiente de convección fue de 1,66 y 3,05 J/min.m^2.K para 82 y 93 °C, respectivamente, por lo que el calor transferido por convección por unidad de tiempo es:

$$q = Ah(T_e - T_s) \qquad \text{(ec. 3)}$$

Finalmente, para la temperatura de 82 °C, el calor fue de 14,98 J/min, si multiplicamos este calor por el tiempo de secado (167 min) a esta temperatura, se tiene que para alcanzar la humedad deseada se necesitan 2501,66 J, mientras que para 93 °C el calor fue de 26,21 J/min y el gasto energético de 3485,93 J, en consecuencia el secado es más eficiente a 82 °C, recomendando dicha temperatura para el proceso de secado del arroz integral precocido en un secador de bandejas.

CONCLUSIONES

El secado del arroz integral precocido en un secador en bandejas se lleva a cabo en tres etapas, la primera de calentamiento, la segunda de velocidad constante y la tercera de velocidad decreciente donde se observan dos zonas típicas de alimentos higroscópicos. El secado a 82 ºC resultó ser más eficiente a pesar de que se necesita un tiempo de secado mayor, por lo que se recomienda utilizar esta temperatura para el secado del arroz integral precocido.

AGRADECIMIENTO

Al Decanato de Estudios de Postgrado de la Universidad Simón Bolívar por el financiamiento del presente trabajo de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.O.A.C. 1990. Official methods of analysis vitamins and other nutrients. p 5 – 15.

Castillo R. 1990. Precocción del arroz. En: Procesos tecnológicos en el aprovechamiento integral del arroz. Yaracuy: Fundación CIEPE. 28 p.

Contreras ML. 2004. Aspectos teóricos de la operación de secado y su aplicación en productos sólidos. Cuba: Centro Universitario José Martí. 12 p.

FAO. 2000. Perfiles nutricionales por países-Venezuela. Roma.

FAO. 2005. Bases de datos estadísticos de la FAO. FAOSTAT. Disponible en: www.fao.org, consultada el 15/07/2005.

Ghosh AK, Mukherjee S. 1988. Studies on the development of methods for production of quick cooking rice. J Food Sci Technol 25(4): 182 – 185.

Mohapatra D, Bal S. 2006. Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions. J Food Eng 73: 253 – 259.

Norma COVENIN 2384. 1986. Arroz blanco para uso industrial. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas: FONDONORMA.

Roberts RL, Carlson RA, Farkas DF. 1980. Preparation of a quick-cooking brown rice product using a centrifugal fluidized bed drier. J Food Sci 45: 1080- 1081.

Sharma SK, Mulvaney SJ, Rizvi SS. 2003. Ingeniería de alimentos. México: Editorial Limusa, S.A. p 216 – 224.

Smith DA, Rao RM, Liuzzo JA, Champagne E. 1985. Chemical treatment and process modification for producing improve quick-cooking rice. J Food Sci 50: 926 – 931.

Treybal E. 1965. Operaciones de transferencia de masa. 2da edición. México: Mac Graw Hill. p 723 – 758.

STUDY OF PRE-TREATMENTS ON THE OSMOTIC DEHYDRATION BEHAVIOR OF CARROTS (*Daucus carota* L. cv. Nerac)

Mayra Paredes Escobar[a], Federico Gómez Galindo[b], Lars Wadso[c], Jenny Ruales Nájera[a], Ingegerd Sjohölm[b]

[a]Food Science and Biotechnology, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
[b]Food Engineering, Lund University, P.O. Box 124, SE-221 00 Lund, Sweden
[c]Building Materials, Lund University, P.O. Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden

Keywords: Process, Cell vitality; Structural changes, Long-term storage, Efective difusion

ABSTRACT

The effect of postharvest long-term storage and pre-treatments on the mass transfer rates during osmotic dehydration of carrots was investigated. Four blanching times were used and the carrots were sampled during 12 weeks of storage. Cell vitality was measured by isothermal calorimetry on cores taken from blanched slices. During the storage period, effective diffusion coefficients for water and sucrose transport were determined in the non-blanched and blanched carrot parenchyma. For every time point during long-term storage, the effective diffusion coefficients increased with an increase in blanching time which caused the death of cells in the tissue. This increase showed to be dependent on the storage time of the carrots. It was inferred that structural changes in the cell wall of the carrot parenchyma during storage substantially decreases the effect of blanching on the effective diffusion coefficients.

INTRODUCTION

Osmotic dehydration is a term used to describe the process that involves partial dehydration of water-rich, solid foodstuffs, which are immersed in an hypertonic aqueous solution (e.g. 40-60% solution of sugars, salts, sorbitol or glycerol). Immersion of a tissue in the hypertonic solution gives rise to two mass transfer flows due to chemical potential gradients. Water from cells is transported to the outside solution and solute is transferred into the tissue (intercellular spaces, cell walls and cells) until equilibrium is reached (Mavroudis, 2003).

From a macroscopic perspective, the rates of mass transfer of water and solute have been shown, following a classical approach, to be dependent on parameters such as temperature, concentration and composition of the osmotic solution, size and geometry of sample, degree of agitation and sample to solution ratio (Mavroudis, Gekas, & Sjo¨holm, 1998; Panagiotou, Karathanos, & Maroulis,1999; Rastogi, Raghavarao, & Niranjan, 1996). Composition and concentration dictate the water lowering capacity of the medium and the temperature strongly influences the diffusion coefficients of the migrating components (water and solute).

Over the last few years, osmotic processing research has made considerable progress through a better understanding of the phenomena taking place at the cellular level during osmotic dehydration. In fruit and vegetables, the cellular barriers to mass transport are the cell membrane and the cell wall. Mavroudis, Dejmek, and Sjohölm (2004) suggested that upon immersion of plant tissue in the osmotic medium the first layers of cells, 1-2 mm underneath the product's surface, die due to the severity of the osmotic pressure gradient, creating a volume near the surface of the product where the resistance to mass transport decreases substantially.

Furthermore, the osmotic solute movement can take place by diffusion into the cell wall area or by penetration of the osmotic medium into the pores of the tissue. The water movement is expected to occur mainly following the apoplastic pathway, where water crosses the plasmalema and then diffuses through the cell wall until it reaches that area of tissue where the pores are filled with the osmotic solution. Therefore, factors affecting both cell membrane permeability and cell wall structure prior the osmotic treatment should be understood in the light of possible consequences on the dehydration kinetics.

Previous studies on carrots have reported structural changes on the cell wall during long-term storage at optimal conditions of temperature (0°C) and relative humidity (saturation) that might influence cell wall porosity, directly affecting the mass transfer rates (Gómez, Brathen et al., 2004). In the industry, the use of pre-treatments affecting membrane integrity and functionality such as ultra high hydrostatic pressure (Rastogi & Niranjan, 1998), high intensity pulse electric fields (Rastogi, Eshtiaghi, & Knorr, 1999) and blanching (Taiwo, Angersbach, ade-Omowaye, & Knorr, 2001) has shown to increase mass transfer coefficients during the osmotic process.

The purpose of this investigation has been to study the effect of both long-term storage and tissue damage caused by blanching pre-treatment on the mass transfer rates during osmotic dehydration of carrots. Effective diffusion coefficients of water and sucrose were experimentally determined to evaluate these effects. The cell vitality was determined using isothermal calorimetry. Calorimetric measures of the rate of heat production are proportional to metabolic rates and provide a direct indication of integrated metabolic responses such as respiration and reaction to wounding stress (Criddle, Breindenbach, & Hansen, 1991). Gómez, Toledo, Wadso, Gekas, and Sjoholm (2004) suggested the potential of this technique for quantifying cell damage occurring during processing operations such as blanching.

MATERIALS AND METHODS

Raw material, handling and storage

Carrots (Daucus carota L. cv. Nerac), grown in the south of Sweden, were used. The carrots, 400 kg, harvested in the second Week of October 2001, were washed, hydrocooled to about 3 °C and stored in one large polyethylene plastic bag at 0 C and approx. 100% relative humidity, as routinely practiced by the producer.

Preparation of samples

Carrots were manually peeled, the top and tip removed and the remainder was cut into slices. Slices 30 mm diameter and 7 mm thick were selected and used for the blanching experiments.

Blanching

Carrot slices were immersed in water at 100 C for periods of 10, 20 or 30 s and immediately cooled in ice water to minimise over processing. Non-blanched slices of the same dimensions were used as control.

Isothermal calorimetry

Isothermal calorimetry was performed with a prototype of the TAM Air isothermal calorimeter. The samples were placed in 20 ml

glass ampoules sealed with teflón-coated rubber seals and aluminium caps. Each sample was placed in a numbered ampoule that was immediately weighed and sealed.
The isothermal measurements were performed at 20 C for a period of about 24 h. Baselines were recorded before or after each measurement. The primary output from the heat flow sensors in the calorimeters (a voltage) was recorded by computer from the digitized output of the calorimeters.

Osmotic treatment

Following blanching, the cores were placed on blotting paper to remove the excess of water and weighted. The specimens were then placed in a plastic basket and immersed in a 50% (w/w) sucrose solution. The solution was stirred at 260 min^{-1} and its temperature was set at 40 °C. Commercial food grade sucrose was used as the osmotic agent at the ratio 1:45 sample to syrup (w/w) to avoid significant dilution of the medium by water removal, which would lead to local reduction of the osmotic driving force during the process. The samples were then weighted for dry matter determination. All experiments were done 4 times.

Dry matter

The dry matter was determined after drying the samples (ca. 0.5 g) for 16 h in a vacuum oven (Forma Scientific, Germany) at 70°C and 100 Pa of absolute pressure.

Determination of effective diffusion coefficients of water and solute

Fick's second law for diffusion for a finite cylinder of diameter 2r and height 2l was solved by superposition of the solution for an infinite cylinder and a semi-infinite slab (Rastogi et al., 1999).

$$M_r = \frac{(m_t - m_\infty)}{(m_0 - m_\infty)} = \sum_{n=1}^{\infty} C_{pn} C_{cn} \exp\left[-D_{ef} t\left(q_{pn}^2/l^2 + q_{cn}^2/r^2\right)\right] = \sum_{n=1}^{\infty} C_{pn} C_{cn} \exp\left[-D_{ef} t\left(q_{cn}^2/A^2\right)\right]$$

$$S_r = \frac{(s_t - s_\infty)}{(s_0 - s_\infty)} = \sum_{n=1}^{\infty} C_{pn} C_{cn} \exp\left[-D_{ef} t\left(q_{pn}^2/l^2 + q_{cn}^2/r^2\right)\right] = \sum_{n=1}^{\infty} C_{pn} C_{cn} \exp\left[-D_{ef} t\left(q_{cn}^2/A^2\right)\right]$$

where M_r and S_r are the moisture loss and solid gain rates; m and s represent the moisture and solid content (kg/kg of initial dry matter); the subscripts 0, t and 1 represent the relevant concentration at t = 0, t = t and t = 1 respectively. C_{pn} and C_{cn} are defined by:

$$Cpn = 2\alpha(1+\alpha)/(1+\alpha+\alpha 2 qpn2) \qquad Ccn = 4\alpha(1+\alpha)/(4+4\alpha+\alpha 2\ qcn)$$

where q_{pn} and q_{cn} are the non-zero positive roots of the equations: $tanq_{pn} = \_aq_{pn}$ and $aq_{cn}J_0(q_{cn}) \div 2J_1(q_{cn}) = 0$ respectively. Here, a is the ratio of volume of solution to that of each piece of tissue. The terms $J_0(q_{cn})$ and $J_1(q_{cn})$ are the roots of Bessel function of zero and first order, respectively.

Statistical analysis

Statistical analyses were carried out by ANOVA analysis using STATGRAPHICS Plus software Version 5.1 (Statistical Graphics Corp, USA, 2001).

RESULTS AND DISCUSSION

Effect of blanching pre-treatments on cell vitality and osmotic dehydration kinetics.

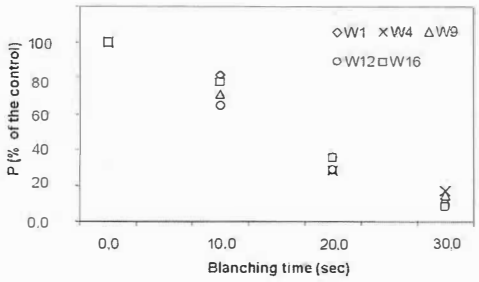


Fig. 1. Relative thermal power (heat production rates) of carrot parenchyma with increasing blanching time during long-term storage. The thermal power, P, calculated with Eq. (1) was normalized by dividing values with those of the non-blanched carrot (control). Means of two measurements are shown.

Fig. 1 shows the decrease of thermal power of the blanched carrot tissue. The thermal power decreased sharply during the 30 s of treatment with no significant variations due to long-term storage. Since thermal power is a parameter related with metabolic activity of cells in the tissue (Criddle et al., 1991).

Our results suggest that the amount of living cells by that time is around 12%. This result is in agreement with that reported by Gómez et al. (2004). The authors suggested that the decrease in thermal power is correlated with cell membrane damage as measured by the inactivation of plasma membrane

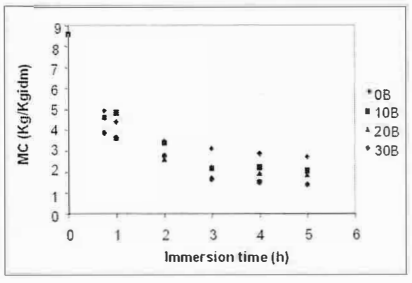


Fig. 2. Variation of moisture content with time during osmotic dehydration at 40 C.

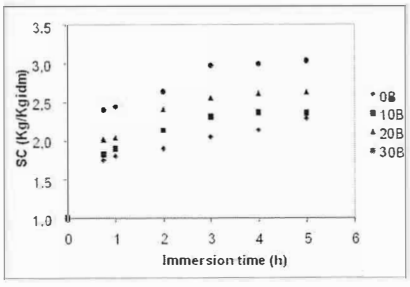


Fig. 3. Variation of solid content with time during osmotic dehydration at 40 C.

H^+-ATP-ase. It has been demonstrated that cell damage causes a substantial decrease of the resistance to mass transfer during osmotic dehydration (Mavroudis, 2003; Rastogi et al., 1999).

The lower resistance to mass transfer is reflected by the faster decrease of moisture content and increase in solid content of the pre-treated, blanched samples shown in Figs. 2 and 3. Similar curves were obtained at selected times during long-term storage (not shown),

from which the different effective diffusion coefficients were calculated.

Effect of long-term storage and blanching pre-treatments on effective diffusion coefficients

For each time point during long-term storage, the effective diffusion coeffcient of water (D_{ew}) and solute (D_{es}) increased with longer blanching times (Fig. 4). Interest ingly, this increase shows to be dependent on the storagetime of the carrots. The values reported in Fig. 4. Effect of blanching pre-treatments and long-term storage on effective diffusion coeffcients during osmotic dehydration of carrot parenchyma. Fig. 4 indicate that if a 30 s blanching pretreatment is applied to carrots during the first week of storage, D_{ew} is 90% and D_{es} is 50% higher than that of the un-blanched samples, whereas if the same blanching pre-treatment is applied to carrots that have been stored for 12 weeks, D_{ew} and D_{es} are only 30% higher and than that of the un-blanched samples.

During the time scale of our pre-treatments, as blanching increases in intensity and the amount of available cells progressively decreases, the cell wall barrier to mass transfer during osmotic dehydration becomes more important than the cell membrane barrier. As the cell wall barrier was unlikely affected by the 30-s blanching treatment (Greve, McArdle, Gohlke, & Labavitch, 1994), we suggest that structural changes of the cell wall during long-term storage may afect the influence of blanching on efective difusion coeffcients during osmotic dehydration.

CONCLUSIONS

This study has focus attention on the influence of long-term storage and blanching pre-treatments on the osmotic dehydration kinetics of carrots. The effective diffusion coefficients of water as well as sucrose increased after blanching treatments which cause the death of cells in the tissue. The evaluation of the effect of long-term storage on osmotic dehydration kinetics suggest that metabolic structural changes in the carrots during long-term storage will substantially decrease the effect of blanching on the effective diffusion coefficients.

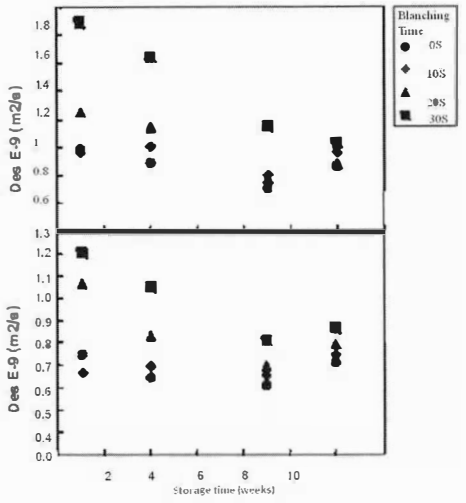


Fig. 4. Effect of blanching pre-treatments and long-term storage on effective diffusion coeffcients during osmotic dehydration of carrot parenchyma.

REFERENCES

Gómez, F., Brathen, E., Knutsen, S., Sommarin, M., Gekas, V., Sjo'holm, I. (2004). Changes in the carrot cell wall during storage. Foo Research International, 37, 225-232.

Mavroudis, N., Dejmek, P., & Sjohölm, I. (2004). Osmoti treatment- induced cell death and osmotic processing kinetics apples with characterised raw material properties. Journal of Foo Engineering, 63, 47-56.

Rastogi, N. K., Eshtiaghi, M. N., & Knorr, D. (1999). Accelerat mass transfer during osmotic dehydration of high intensi electrical field pulse pretreated carrots. Journal of Food Science, 6 1020- 1023

ISOTERMAS DE SORCIÓN DE HUMEDAD DE GRANO REVENTADO DE AMARANTO

Cangás Adriana [1, 2] y Lara Nelly [1]*

[1] DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD, ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA, INIAP, QUITO ECUADOR, Telefax: 3007134.

[2] ESCUELA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL, UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, IBARRA, ECUADOR. E-mail: adrycanreal@hotmail.com

*** Directora Proyectos IFS E/2468-2F y PFN 016: Moisture sorption isotherm, shelf life and nutritional quality of popped amaranth grain-based products, E-mail: nlara@interactive.net.ec**

Palabras clave: Isotermas de sorción, amaranto, grano reventado, valor de peróxido, textura instrumental.

RESUMEN

Las isotermas de sorción fueron determinadas al mantener muestras de producto a 14, 20, 26 y 32 ° C en soluciones saturadas de 0.2 a 0.8 de actividad de agua (a_w). En función de la a_w se determinó el valor de peróxidos y la resistencia a la ruptura instrumental (TA-TX2i) como medida de perdida de crocancia, asumiendo plastificación del producto.

La ecuación de GAB (Guggeheim–Anderson–Boer), se utilizó al ajustar la tendencia de las isotermas y determinar el valor de monocapa de agua (m_o). El ajuste se evaluó mediante el error relativo medio (Me). En el rango de 14 a 32 °C, los valores de humedad de monocapa (m_o) fueron determinados entre 6.7 y 6.11 % bs a 0.27–0.29 $a_w$para grano reventado de amaranto.

La oxidación de lípidos varió con la humedad de equilibrio (He) y actividad de agua (a_w). El índice de peróxidos (mEq/Kg grasa) fue menor en la región de la monocapa a 14, 20,26 y 32 °C. Se determinó un incremento significativo de la resistencia a la ruptura en la isoterma de 32 °C.

INTRODUCCIÓN.

El reventado del grano de amaranto es una alternativa interesante de procesar el grano; por este efecto el poder de hinchamiento, la capacidad de absorción y biodisponibilidad de nutrientes aumenta significativamente (Lara, 1999).

La principal desventaja en la elaboración de productos tipo "snacks", es el corto tiempo de vida después de procesados, debido probablemente a dos formas de deterioro como: oxidación lipidica y pérdida de crocancia (característica de textura en cereales secos y productos elaborados a base de almidón), provocando rancidez y desarrollo de olores y sabores indeseables (Lara, 2004; Lara and Cangás, 2007).

El comportamiento de un alimento después de ser procesado depende de la relación existente entre el contenido de agua y su perecibilidad. El contenido de agua por si solo no es un buen indicador de deterioro, debido en parte a los diferentes grados de asociación del agua con el resto de constituyentes no acuosos del alimento. De este modo, la actividad de agua (a_w) es el término utilizado para explicar estos factores de asociación y la susceptibilidad del alimento al deterioro por actividades degradantes tales como desarrollo de microorganismos y reacciones de oxidación química (Fenema, 1985).

La principal forma de deterioro químico en productos de baja humedad es la oxidación de lípidos, existiendo dos razones fundamentales. La actividad de agua de los productos muy secos está por debajo del valor de la monocapa de agua (m_o), que esencialmente interfiere con los tipos de reacciones causantes de deterioro. El contenido graso a niveles muy bajos de agua ayuda a la oxidación de lípidos (Roberson, 1993).

El objetivo de este trabajo son los aspectos relacionados con las formas principales de deterioro de grano reventado de amaranto, debido a su importancia se determinó las isotermas de sorción de humedad, evaluado los niveles principales de deterioro y generando información referencial del nivel de agua permisible en el alimento para obtener máxima estabilidad de lípidos sin pérdida de intensidad en la crocancia requerida, asegurando el tiempo de vida de estantería adecuado en estos productos contribuyendo a fortalecer su utilización y consumo en la población ecuatoriana.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Materiales.

Los experimentos de sorción fueron conducidos por muestras de grano reventado de amaranto

Métodos.

Isotermas de sorción.

Muestras presecadas en estufa a 65°C por 4 horas, fueron llevadas a temperatura ambiente en desecadores con desecante (P_2O_5) hasta obtener valores de humedad cercanos a cero (Spiess and Wolf, 1983).

Los recipientes con muestras previamente pesadas se colocaron sobre soportes de cristal dentro de frascos herméticos de vidrio, conteniendo en la base soluciones saturadas diferentes (LiCl, CaCl, CKNS, $NaNO_2$, NH_4Cl_2 y K_2CO_3) para obtener valores de humedad de equilibrio desde 0.2 a 0.8 de a_w. Los experimentos fueron conducidos por triplicado a cuatro temperaturas de equilibrio: 14, 20, 26 y 32 °C ± 1 °C (Labuza, 2000).

Se consideró 21días como periodo requerido para alcanzar el equilibrio entre la muestra y el ambiente del frasco (Spiess and Wolf, 1983, Labuza, 1998). Se determinó la humedad de equilibrio en base seca, se midió la intensidad de crocancia y se cuantificó el índice de peróxidos.

Humedad de equilibrio. Porcentaje expresado en base seca (% b.s), confirmado mediante el método de la AOAC adaptado en el Departamento de Nutrición y Calidad del INIAP.

Intensidad de crocancia.- Medida de la fuerza de compresión (Kgf seg^{-1}) en el texturómetro TA-TX2i provisto de software XTRAD Dimension de la Stable Micro Systems, expresado como resistencia a la ruptura.

Índice de peróxidos. Medida volumétrica (Harold, 1988), expresado en miliequivalentes de oxígeno como peróxidos por kilogramo de grasa (mEq/ Kg).

Actividad de agua. Determinaciones mediante el medidor de actividad de agua (AquaLab, modelo PawKIT).

Modelo Matemático.

Modelo de GAB.

Para ajustar la tendencia de isotermas se utilizó la ecuación de GAB Guggenheim-Anderson-de Boer (Timmermann, *et al.*, 2001). Esta ecuación se calculó en Excel mediante la herramienta solver (resuelve y optimiza ecuaciones mediante el uso métodos matemáticos).

$$m = \frac{m_o C k a_w}{(1 - k a_w)[1 - k a_w + C k a_w]} \quad \text{Ec. 1.}$$

Donde **m** contenido de humedad de equilibrio, $\mathbf{m_o}$ valor de monocapa de agua, $\mathbf{a_w}$ actividad de agua, **k** factor de multicapa, **C** parámetro de Guggenheim.

Energía de interacción o calor isotérico total de sorción. Mediante la ecuación Clausius-Clayperon.

$$\frac{\partial \ln a_w}{\partial 1/T} = \frac{-Qs}{R} \quad \text{Ec. 2.}$$

Donde $\mathbf{a_w}$, es actividad de agua, **T** temperatura absoluta (°K), **Qs**, calor isoterico total de sorción (KJ/mol), y **R** es la constante de gases (8.314 J mol-1 K-1).

Optimización de parámetros.

El ajuste de datos experimentales de humedad de equilibrio por medio de la ecuación de GAB, se evaluó mediante el error relativo medio (Me %).

$$Me = \frac{\sum Re}{N} \quad \text{Ec. 3.}$$

$$m = \frac{m_o C k a_w}{(1 - k a_w)[1 - k a_w + C k a_w]} \quad \text{Ec. 3.1.}$$

Donde: **Re** error relativo en porcentaje, **N** número de puntos experimentales; **Xi** humedad de equilibrio experimental; **Xij** humedad de equilibrio calculada (Turhan and Gunasekaran, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Isotermas de sorción de humedad

Las isotermas de grano reventado de amaranto (Fig.1) presenta una forma sigmoidea (isoterma tipo II)) (Bell and Labuza, 2000).
Mediante la ecuación de GAB se realizó buen ajuste de datos experimentales de humedad de equilibrio (Tabla 1) (Turhan and Gunasekaran 2002).

Tabla 1. Parámetros de la ecuación de GAB

Parámetros GAB	Grano reventado de amaranto
Me (%)	5.38
Valor de la monocapa de agua m_o (% b.s)	
Temperatura máx. 32 °C	6.07 ± 0.07
Temperatura min. 14 °C	6.57 ± 0.05
Parámetro GuggenheimC	
Temperatura máx. 32 °C	11.93 ± 0.80
Temperatura min. 14 °C	13.65 ± 0.94
Factor de multicapa k	
Temperatura máx. 32 °C	0.76 ± 0.01
Temperatura min. 14 °C	0.75 ± 0.01

n = 3 ± desviación estándar

Los parámetros C y k (ecuación GAB) determinan la pronunciación de la primera y segunda curvatura de la isoterma (valores bajos de a_w y altos de a_w respectivamente), (Fig. 1). E parámetro C de Guggenheim aumenta al disminuir la temperatura (Tabla 1), en concordancia a lo indicado por (**Timmermann, *et al.*, 2001**).

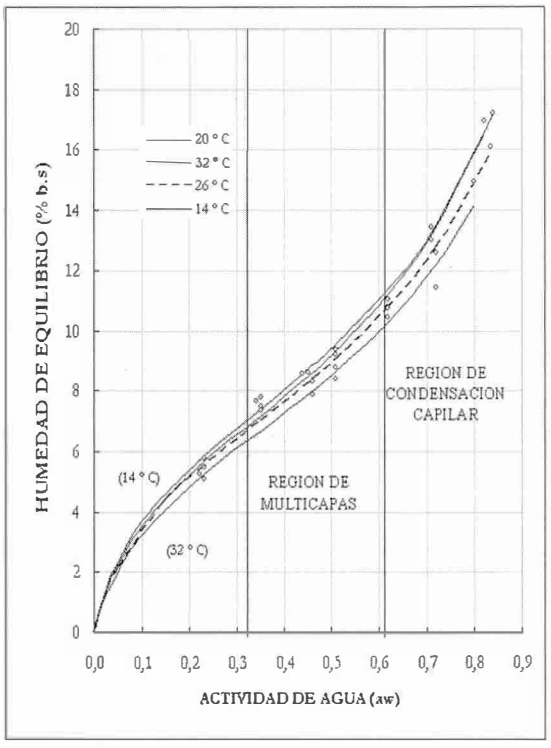


Figura 1. Isotermas de sorción de humedad de grano reventado de amaranto a cuatro temperaturas de equilibrio.

El parámetro k en las temperaturas de equilibrio de 14, 20, 26 y 32 ° C se encuentran alrededor de 0,75 y 0,76 a_w (tabla 1) se ha confirmado que valores de k para proteínas y almidón, se encuentran en el rango de 0.65 a 0.85 (Timmermann, *et al.*, 2001).
La región de multicapas (Figura 1), aumenta la proporción de casi todas las reacciones de degradación (Fennema, 1985), en grano reventado de amaranto se encuentra sobre a_w de 0.32, generalmente esta región se encuentra en el rango de 0.2-0.6a_w (Pierre, 1994). En la región de condensación capilar esta a partir de actividad de agua 0,72 (Figura 1), donde se encuentra la agua libre en estado líquido retenida en la superficie del sustrato seco únicamente por las fuerzas de capilaridad (Lewis, 1997).

Contenido de humedad de monocapa (m_0).

El contenido de humedad de monocapa indica que desde 14°C a 32°C, la saturación de todos los sitios de absorción por una molécula de agua se da entre 6.11% y 6.57% en grano reventado de amaranto (Tabla 2). A medida que la temperatura aumenta existe disminuciones mínimas del contenido de humedad de monocapa (Bell and Labuza, 2000). La actividad de agua a nivel de monocapa varía significativamente de 0.27 a 0.29. Sin embargo, al comparar los resultados obtenidos con los reportados en (Tosi, et al., 1997), entre 10 y 30°C, se puede indicar que el efecto de la temperatura es menor. Posiblemente, la diferencia se deba al uso de métodos diferentes para alcanzar y determinar la humedad de equilibrio.

Tabla 2. Efecto de la temperatura sobre los valores de monocapa y la actividad de agua a nivel monomolecular.

Producto	Temperatura (°C)	Monocapa (mo %b.s)	a_w
Grano reventado de amaranto	14	6.57^{a}	0.28
	20	6.38^{ab}	0.27
	26	6.25^{b}	0.28
	32	6.11^{c}	0.29

Letras diferentes por producto y por columna representan diferencias significativas ($p < 0.05$).

Energía de interacción o calor isotérico total de sorción

Usualmente el fenómeno de sorción en alimentos obedece a la relación de la ecuación de Clausius-Clayperon Ec. 2. (Iglesias and Chirife, 1982). Al graficar el ln (a_w) en función del inverso de la temperatura en °K (Fig. 2), muestra la linealidad y la tendencia de la pendiente (Qs/R) a cero a la humedad de equilibrio (He) constante más alta, de forma similar a lo indicado en (Bell and Labuza, 2000).

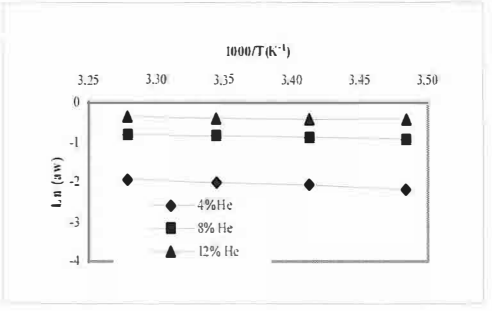


Figura 2. Influencia de la humedad de equilibrio de barras crocantes sobre el ln (a_w) en función de 1/Temperatura en °K.

La energía de interacción varia en forma inversa a la He (Tabla 3). Los valores de energía de interacción a 4 y 8 % de humedad de equilibrio corresponden a la presencia de agua fuertemente ligada al producto (Moreira, et al., 1997).

Tabla 3. Energía de interacción (Qs, KJ mol^{-1})

Humedad de equilibrio (% b.s)	Energía de interacción Qs (KJ mol^{-1}) (s±)	Correlación (%)
4	9.58 ± 1.32	0,92
8	5,39 ± 0.74	0,97
12	2.78 ± 0.60	0,86

n = 9 ± desviación estándar. R= 8.314 Jmol-1 °K-1.

Índice de peróxidos.

Al graficar el índice de peróxidos en función de la actividad de la a 14, 20, 26 y 32°C (Fig. 3), se observa que a menor temperatura menor es el incremento del contenido de peróxido. Se muestra que el efecto de la temperatura no es significativo ($p < 0.05$).
Entre a_w 0.27 y 0.4 (Fig. 3), correspondiente a la sección de monocapa de agua en las isotermas de humedad, se tiene valores bajos de índice de peróxidos, los cuales están por debajo del límite máximo permitido (20 mEq/Kg) en alimentos de baja humedad (Escobar y Estévez, 1996).
La proporción de oxidación disminuye a estos valores de actividad de agua debido probablemente a que los lípidos pueden encapsularse

y protegerse de la oxidación. Las encapsulanciones disminuye oxidación por reducción de la difusión de oxígeno (Roos, 2000).

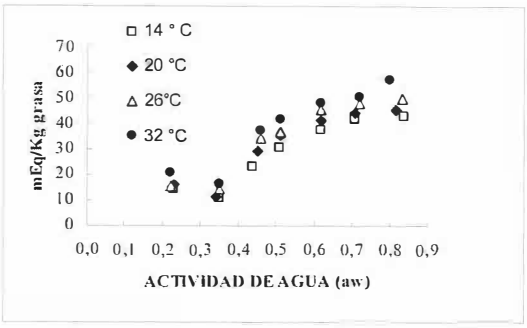


Figura 3. Índice de peróxidos en función de actividad de agua.

Evaluando la tendencia del índice de peróxidos en función de a_w mediante los diferentes modelos de regresión simple, se puede indicar que la función de mejor ajuste estadístico es lineal. En el caso de índice de peróxidos en función de la humedad de equilibrio, se tiene resultados similares a los obtenidos con a_w, pero el modelo que mejor se ajusta es logaritmo-X.

No obstante se observa (Fig. 3) a actividades mayores (0.80), el índice de peróxidos permanece estable debido al efecto de la adición de agua, la dilución de catalizadores reduce su efectividad retardando la oxidación (Roos, 2000).

Medición instrumental de textura

Al graficar las mediciones de fuerza de compresión por unidad de tiempo (Kgf seg-1) en función de los correspondientes valores de humedad de equilibrio, se observa tendencia creciente en las curvas, siendo mayor en la temperatura de 32°C. Esta tendencia creciente se ha interpretado como resistencia a la ruptura por humedecimiento de la matriz plastificada de almidón, por lo cual se puede inferir que hay pérdida de crocancia. El análisis estadístico de la tendencia de las curvas mediante regresión simple, muestra que el modelo logaritmo-X es el que mejor explica la variabilidad de los datos de resistencia a la ruptura y la dependencia entre variables. En este caso el efecto de la temperatura es significativo sobre la resistencia a la ruptura, analizada a través de la pendiente de las curvas.

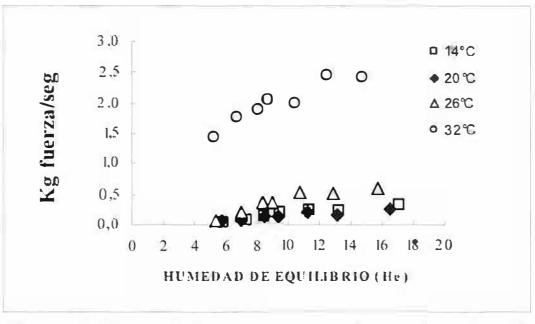


Figura 4. Efecto de la temperatura sobre resistencia a la ruptura en función de la humedad

La menor resistencia a la ruptura o menor pérdida de crocancia en función de la humedad de equilibrio, se encuentra en la región de valores de humedad de monocapa en las temperaturas de 14, 20 y 26 °C. Cuando el contenido de agua excede el valor de monocapa disminuye la interacción macromolecular y con ello las fuerzas de ligadura intermacromolar, produciendo la transición de la matriz de almidón de amaranto de crocante a plastificado con multicapas de agua en estado móvil (Katz and Labuza, 1981).

CONCLUSIONES.

La isotermas tienen una forma sigmoidea y el ajuste de las mismas a través de la ecuación de GAB con el error relativo medio (Me %), es menor al 10%. El efecto de la temperatura es significativamente diferente sobre los niveles de humedad de equilibrio en la región de monocapa. La energía de interacción crece a medida que la humedad de equilibrio constante disminuye. En la región de monocapa no se encuentra afectadas por las dos principales formas de deterioro evaluadas a través índice de peróxidos y perdida de crocancia, esta última también depende de la temperatura presentándose cambios a la temperatura de 32 °C. La región de monocapa el valor de peróxido esta bajo el límite máximo permitido en alimentos de baja humedad y la perdida de crocancia es menor que en la regiones de multicapas y condensación capilar. El modelo lineal puede ser utilizado para explicar la variabilidad del índice de peróxidos en función de la actividad de agua. La variabilidad de la resistencia a la ruptura en función de la humedad de equilibrio puede ser explicada a través del modelo logaritmo-X.

AGRADECIMIENTOS.

International Foundation for Science (IFS), Estocolmo, Suecia. Fundación para la Ciencia y Tecnología (FUNDACYT). Estación Experimental Santa Catalina (EESC) del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones agropecuarias (INIAP), Quito, Ecuador. Universidad Técnica del Norte (UTN). Ibarra, Ecuador.

REFERENCIAS.

-O. A. C. 1984. "Official Methods of Analysis". 14th. Ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
-Bell, N.L and Labuza, P.T. 2000. "Moisture Sorption Isotherm". 2nd. Ed. USA. American Association Chemists. Inc. p:33-47.
-Escobar, B y Estévez, A.M. 1996. Fomento del consumo de cultivos andinos a través de la aplicación de tecnologías de desarrollo de productos.
-Fennema, O.R. 1985. "Water and ice". In: Food Chemistry, O. R. Fennema. 2nd. Ed. New York. Maecel Dekker INC. p:46-49.
-Harold, E., Ronald, S.K. and Ronald, S. 1988. Análisis químico de alimentos de Pearson. ed. México. Compañía Editorial Continental. p:545-549.
-Iglesias, E. and Chirife, J. 1982. "Hanbook of food isotherms". New York,USA Academic Press. p:1-11.
-Katz, E.E. and Labuza, T.P. 1981 Effect of water activity on the sensory crispness and mechanical deformation of snack food products. J. Food Sci, 46:403-409.
- Labuza T. 1998. Moisture sorption isotherms properties. www.wateractivity.com
-Labuza, T. 2000 "Creation of Moisture Sorption Isotherms for Hygroscopic materials". p:2-15.
-Lara, N. 1999. "Research and development of a new amaranth-based product" Final Report, Quito, EESC, 41p.
-Lara, N and Cangás, A. 2007. Moisture sorption isotherms of popped amaranth graqin-based products. Manuscript for publishing.
- Lewis M. J. 1997. "Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado". Zaragoza .Editorial Acribia. p:360-385.
-Moreira R, Vázquez G and Chenlo F. 1997. Influence of the temperature on sorption isotherms of chickpea: evaluation of isoteric heat of sorption. ISSN.
- Pierre M. 1994. "Ingeniería Instrumental Alimentaria". Zaragoza Editorial Acribia.
-Roberson, G.L. 1993. "Food Packing, Principles and Practice". New York. Marcel Dekkeer. p:550-558.
- Roos H Y. 2000. Water activity and food stability. Lecture 2. p:2-19.
-Spiess, W.E. and Wolf, W. 1983. "Critical Evaluation of Methods to Determine Moisture Sorption Isotherms". Publ. London, New York. Science and Technology. p:215-233.
-Timmermann, E.O., Chirife, J. and Iglesias, H.A. 2001. Water sorption isotherms of foodstuffs: BET or GAB parameters?. J. Food Engng, 48:19-31.
-Tosi, E.A., Re, E.D. y Masciarelli, R. 1997. Humedad de equilibrio de rosetas de amaranto (Amaranthus cruentus). Alimentaria. Octubre 97:129-131.
-Turhan, M. and Gunasekaran, S. 2002. Water vapour adsorption properties of fuzzy and starch-coated cottonseeds. Biosystems Engineering, 83:175-184.

TIEMPOS DE VIDA ÚTIL DE NARANJILLAS RECUBIERTAS CON QUITOSANO ALMACENADAS A TEMPERATURA CONSTANTE Y VARIABLE

Alvarado, Juan de Dios; Almeida, Alba V. y Arancibia, Mirari Y.
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO (UTA). Centro de Investigaciones (CENI)
Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos (FCIAL).
Ciudadela Huachi, Casilla 18-01-0334. fcial@uta.edu.ec
AMBATO-ECUADOR

Palabras clave: vida útil, quitosano, películas, almacenamiento, naranjilla.

RESUMEN

Con el propósito de comprobar el uso de métodos de cálculo de tiempos de vida útil y conocer los efectos del recubrimiento con películas de quitosano, extraído de caparazones de camarón, en la conservación de naranjilla (*Solanum quitoense*, var. Agria), se realizaron pruebas de almacenamiento con frutos fisiológicamente maduros. Las suspensiones para el recubrimiento fueron preparadas en solución de ácido acético al 3% y con 0,75% (w/w) de quitosano, el recubrimiento se realizó por inmersión de cada fruta por 30 segundos, otras frutas sin recubrimiento sirvieron como control.

Las frutas se mantuvieron bajo condiciones de refrigeración (7,0 ± 0,5°C; 78 ± 1,6% HR), y en cámaras de maduración acelerada (20 ± 1,5°C; 66 ± 2% HR); (30 ± 1°C; 44 ± 1,5% HR) y (40 ± 1°C; 37 ± 2 HR), durante cuatro semanas en las que se registró la pérdida de peso.

Para los cálculos de vida útil a temperatura constante de las frutas sin recubrimiento, se utilizaron ecuaciones lineales que relacionan la pérdida de peso con el tiempo de almacenamiento en el cual el fruto conserva sus atributos físicos que lo hacen apto para su comercialización y consumo. Para el caso de las frutas con recubrimiento de quitosano se utilizó la ecuación propuesta por Labuza, los resultados obtenidos mediante cálculos son consistentes con los experimentales. Para el caso de temperatura variable, también se obtuvieron resultados satisfactorios con la aplicación del Método TTT.

Se concluye que el uso de métodos de cálculo de tiempos de vida útil es una herramienta adecuada para control del almacenamiento de naranjillas, las películas de quitosano retardan la pérdida de humedad y extienden el período de almacenamiento a temperaturas de 20°C o superiores, a temperaturas bajas el efecto es mínimo, a 7°C se pueden conservar las frutas durante un mes.

INTRODUCCIÓN

La determinación o el cálculo del tiempo de vida útil de alimentos, es decir el tiempo que el producto mantiene una buena condición para su comercialización y consumo, es un campo de gran importancia para la Ingeniería de Alimentos. Los datos son muy útiles para productores, comercializadores e industrias procesadoras; además en los últimos años las regulaciones legales que exigen se incluya en las etiquetas datos informativos para el consumidor, entre los cuales está la fecha de caducidad del producto, han impulsado numerosos trabajos relacionados con el tema.

Labuza (1982) presentó una extensa recopilación de datos de vida de anaquel para numerosos productos alimenticios. Señala la complejidad del tema por los numerosos factores involucrados en el deterioro, factores internos propios de cada alimento y factores ambientales, entre ellos la temperatura, la humedad relativa, el nivel de oxígeno, la luz. Señala que para el cálculo de de tiempos de vida de anaquel se requiere: fijar un estándar o condición que hacen inaceptable al alimento y determinar o predecir la pérdida que ocurre desde en punto de distribución hasta el punto de consumo.

Para incluir el efecto de la humedad en los cálculos de vida de anaquel hasta alcanzar un valor crítico, a temperatura constante y condiciones dadas de humedad relativa, Labuza (1982) presentó la ecuación siguiente para el caso de pérdida constante de humedad a través de una película.

$$\theta = (m_i - m_c)\, W_s / (k/x)\, A\, (\Delta p)$$

Donde: θ es el tiempo de almacenamiento o vida útil [días], m_i es la humedad inicial [g/g seco], m_c es la humedad crítica [g/g seco], W_s peso seco al final del tiempo de almacenamiento, k es la permeabilidad de la película de recubrimiento [g/día m Pa], x es el espesor de la película de recubrimiento [m], A es el área superficial [m^2] y Δp es la diferencia de las presiones de vapor de agua en el interior y el ambiente que rodea al producto [Pa].

Varios métodos se han desarrollado para el cálculo de tiempos de vida útil que incluyen al efecto de la temperatura de almacenamiento. Van Arsdel y Guadagni (1959) publicaron un método conocido como TTT (tolerancia tiempo-temperatura) para calcular cambios en la calidad de alimentos congelados utilizando distintas historias de temperatura a las que puede estar sometido un producto. El procedimiento involucra la determinación del área bajo la correspondiente curva irregular tiempo-temperatura, graficada en un sistema transformado de coordenadas, derivado desde y dependiente de la relación observada entre la velocidad relativa de cambio en la calidad y la temperatura.

Las películas de polisacáridos tienen buenas propiedades de barrera a los gases y pueden adherirse a la superficie de frutas y vegetales, en general no son buena barrera para la humedad. Se han elaborado películas partir de celulosa, pectina, almidón, alginatos, quitosano, carragenina, gomas y mezclas (Bosquez y colaboradores, 2000). Según lo recopilado por Devlieghere y colaboradores (2004), las películas y recubrimientos basados en quitosano protegen los alimentos de la degradación por hongos y modifican la atmósfera de frutos frescos. Las cubiertas de quitosano se usan en peras, naranjas, melocotón y ciruelas como barrera para el dióxido de carbono y el oxígeno. Dong y colaboradores (2004) obtuvieron resultados satisfactorios para mantener los atributos de calidad y extender la vida de anaquel de frutas de China (litchi) peladas y recubiertas con películas de quitosano, indicaron que debido a la propiedad de formar films se utiliza como envoltorios de productos frescos.

Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador, la naranjilla, es una fruta exótica de exquisito sabor y aroma, la cáscara de la naranjilla, de color naranja cuando madura, está cubierta de pequeñas y finas espinas o pelos. Es una fruta redonda ovalada, internamente dividida en cuatro compartimentos separados por particiones membranosas, llenos de pulpa de color verde amarillento y numerosas semillas pequeñas. La jugosa pulpa tiene un sabor ácido entre suave y fuerte, que ha sido descrito como una mezcla de cítricos o de piña con frutilla. La naranjilla es

una fruta tradicional del país y se cultiva en la zona oriental con clima cálido.
La naranjilla se comercializa como fruto fresco desde los lugares de producción hasta su consumo, sin embargo su principal problema radica en su perecibilidad. La naranjilla pertenece al grupo de frutas climatéricas, las cuales tienen una maduración organoléptica rápida durante el período conocido como climaterio, la respiración y la producción de calor aumentan significativamente al igual que la producción de etileno; durante este periodo la fruta se ablanda y desarrolla su sabor y aroma característico. El control adecuado de las condiciones ambientales durante el período preclimatérico ayudan a prolongar el tiempo de almacenamiento (Alvarado, 1998).
El propósito del trabajo fue demostrar con datos de pérdida de peso la aplicación de métodos de cálculo de tiempos de vida útil durante el almacenamiento de naranjillas, con y sin recubrimiento de películas de quitosano.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Preparación del quitosano y de las suspensiones para el recubrimiento.
El quitosano se obtuvo a partir de caparazones de camarón (*Penaeus vannamei*), según la tecnología desarrollada por Almeida y Arancibia (2005), mediante la cual se extrae la quitina de los caparazones desproteinizados y desmineralizados y luego se la desacetila, para obtener el quitosano.
Las suspensiones para el recubrimiento de las frutas, se prepararon con quitosano en proporción 0,75% (w/v) con relación a la solución de ácido acético al 3%. Las suspensiones se calentaron hasta 60°C con agitación constante para disolver la mayor cantidad de quitosano, luego fueron enfriadas a temperatura ambiente y filtradas en lienzo fino para eliminar partículas suspendidas. El recubrimiento de las frutas se realizó por inmersión de éstas en la suspensión a 20°C por 30 segundos y luego se secaron a temperatura ambiente por 24 horas.
Preparación de la fruta.
Se utilizaron naranjillas (*Solanum quitoense)* variedad Agria, cosechadas en la etapa de madurez fisiológica y sometidas a un enfriamiento para evitar un posible deterioro después de la cosecha. Se seleccionó y eliminó aquellas frutas golpeadas, maltratadas o contaminadas. Las naranjillas seleccionadas se lavaron con agua fría clorada, luego se secaron a temperatura ambiente durante 3 horas antes de ser distribuidas en las cámaras de almacenamiento. Para las determinaciones se tomó al azar 10 frutos de la muestra, la pérdida de peso durante el almacenamiento en cada fruto se registró en una balanza analítica y se utilizaron los datos promedio.
Condiciones de almacenamiento
Se prepararon cuatro condiciones de temperatura y humedad relativa controladas, de refrigeración (7,0 ± 0,5°C; 78 ± 1,6% HR), y condiciones controladas en cámaras (20 ± 1,5°C; 66 ± 2% HR); (30 ± 1°C; 44 ± 1,5% HR) y (40 ± 1°C; 37 ± 2 HR), el almacenamiento se prolongó durante cuatro semanas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracteristicas de la fruta.
Las naranjillas, presentaron un peso promedio de 65,13 ± 9,25 g.; 0,06 ± 0,01 [m] de diámetro y 82,0 ± 2,84 [g/100 g] de humedad.

Pérdida de peso.
En la Figura 1 se presentan los resultados de la pérdida de peso de los frutos expresada como porcentaje del peso inicial hasta los 28 días. Los frutos almacenados a 40°C presentaron mayor pérdida de peso con relación al resto de temperaturas de almacenamiento. Para una misma temperatura las frutas sin recubrimiento presentaron una mayor pérdida de humedad con relación a las frutas recubiertas con quitosano, estas diferencias son mayores conforme la temperatura aumenta, a 7°C las diferencias son mínimas.

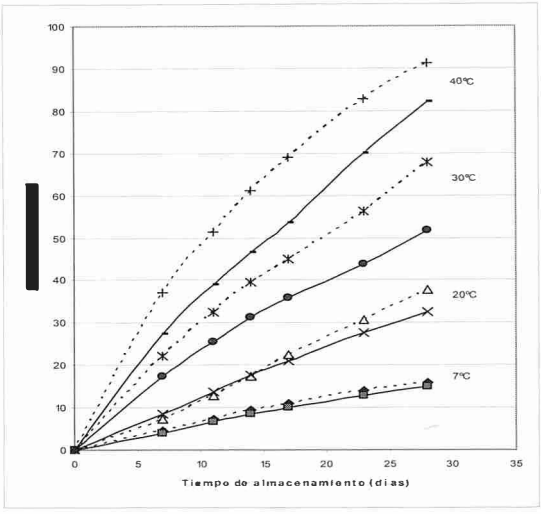


Figura 1. Pérdida de peso registrada en naranjillas almacenadas a cuatro temperaturas. (— control, frutas en su estado natural. ----- con recubrimiento de una película de quitosano).

La pérdida de peso es aproximadamente constante en especial durante los primeros días del almacenamiento, lo cual es descrito satisfactoriamente por ecuaciones lineales de regresión, las cuales presentaron coeficientes de correlación muy próximos a la unidad. Las ecuaciones correspondientes a los distintos tratamientos se presentan a continuación, en las que P es la pérdida de peso [%] y t es el tiempo de almacenamiento [días].

P = 0,5709 t + 0,7455 (r = 0,994; 7°C; control)
P = 0,5366 t + 0,4908 (r = 0,996; 7°C; recubiertas)
P = 1,3861 t - 1,4626 (r = 0,997; 20°C; control)
P = 1,1937 t + 0,3419 (r = 0,999; 20°C; recubiertas)
P = 2,3465 t + 4,2893 (r = 0,993; 30°C; control)
P = 1,7928 t + 3,8609 (r = 0,989; 30°C; recubiertas)
P = 3,1574 t + 10,974 (r = 0,974; 40°C; control)
P = 2,8579 t + 4,6275 (r = 0,995; 40°C; recubiertas)

Cálculos de tiempo de vida útil en almacenamiento.
Temperatura constante, frutas sin recubrimiento (control).
Se fijó como condición estándar límite una pérdida de peso del 12%, hasta la cual el fruto mantiene sus condiciones adecuadas para la comercialización. Para el caso de 7°C, sin recubrimiento, la ecuación utilizada es:
P = 0,5709 t + 0,7455.
t = (12 — 0,7455)/0,5709 = 19,7 [días]
Cálculos similares realizados a las otras temperaturas conducen a los resultados siguientes: 7,6 días a 20°C, 3,3 días a 30°C y 0,3 días a 40°C. Estos resultados son consistentes a los que se puede obtener mediante la Figura 1.

Temperatura constante, frutas con recubrimiento.
Según lo indicado por Labuza (1982), con la condición estándar límite de pérdida de peso del 12%, a 7°C y con recubrimiento de una película de quitosano, la ecuación utilizada aceptando que la pérdida de peso corresponde totalmente al agua, es:

$$\theta = (m_i - m_c)\, W_s / (k/x)\, A\, (\Delta p)$$

Siendo: m = (82,0/18,0) = 4,56 [g/g seco]. m_c = 0,44 [g/g seco] (Iglesias y Chirife, 1982). W_s = (70,0/18,0) = 3,89 [g/g seco]. k = 2,328 * 10^{-6} [g/día m Pa] (Alvarado y colaboradoras, 2005). x = 8,2 * 10^{-6} [m]. A = 4 * 3,1416 $(0,03)^2$ = 0,0113 [m^2]. (Δp) = (1014,2 - 1014,2 (0,78)) = 223,1 [Pa]

θ = (4,56 - 0,44) 3,89/(2,328*10^{-6}/8,2*10^{-6}) 0,0113 (223,1) = 22,4 [días].

Cálculos hechos para las temperaturas restantes, que incluyen los datos experimentales de la humedad relativa en el ambiente para la determinación de la presión de vapor de agua, conducen a establecer: 6,3 días a 20ºC, 2,1 días a 30ºC y 1,1 días a 40ºC. Estos valores son próximos a los experimentales, las diferencias se explican principalmente por los datos de la permeabilidad a temperaturas altas al no disponerse de valores específicos. Sin embargo este método presenta la mejor alternativa para profundizar y mejorar los cálculos.

Temperatura variable, frutas sin recubrimiento (control).

El Método TTT requiere utilizar los valores inversos de los tiempos de vida útil [1/día], en el presente caso: 0,0508 a 7ºC; 0,1316 a 20ºC; 0,3030 a 30ºC y 3,3333 a 40ºC. Al graficar la temperatura contra el inverso del tiempo se obtiene una curva como se observa en la Figura 2. Por proyecciones verticales de las temperaturas hasta la curva y horizontales hasta el eje de temperaturas corregidas [T*(ºC)] se construye un segundo sistema de coordenadas que incluye al tiempo. Una área de referencia para comparación se establece con una altura correspondiente a 7ºC y la base de 19,7 días de almacenamiento. En el caso de que las frutas sean cosechadas y colocadas en cajas para su transporte a 25ºC durante 2 días, el tiempo de almacenamiento restante en un mercado con una temperatura ambiente de 15ºC, se establece que es 9 días y el tiempo de vida útil a partir de la cosecha es de 11 días. Estos resultados son consistentes con los tiempos de almacenamiento conocidos para el mercadeo de naranjillas.

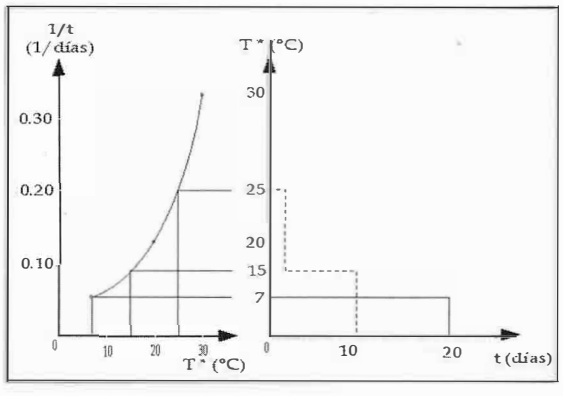


Figura 2. Gráfico TTT para tiempo de almacenamiento de naranjillas con cambios de temperatura.

Temperatura variable, frutas con recubrimiento.

Las ecuaciones de regresión lineal de pérdida de peso llevan a calcular los tiempos de almacenamiento [días] siguientes: a 7ºC, 21,4; a 20ºC, 9,8; a 30ºC, 4,5 y a 40ºC, 2,6, estos tiempos son algo mayores que los registrados en las frutas sin recubrimiento. Los correspondientes valores inversos son: 0,0467; 0,1020; 0,2222; 0,3846. Según se observa en la Figura 3, al graficar estos valores con las temperaturas se obtiene una curva que posibilita la construcción de la escala corregida de temperaturas. El área de referencia en el presente caso está definida por la altura correspondiente a 20ºC y la base de 9,8 días. En el caso que las naranjillas se mantengan a 25ºC por 2 días y luego sean colocadas en una cámara refrigerada a 5ºC, con una variación fluctuante y uniforme de ± 5ºC cada dos días, la graficación de estos datos conduce a obtener mediante integración gráfica, una área definida por la línea irregular que se iguala con el área de referencia a los 17 días luego de la cosecha, es decir el producto puede estar en la cámara refrigerada durante 15 días.

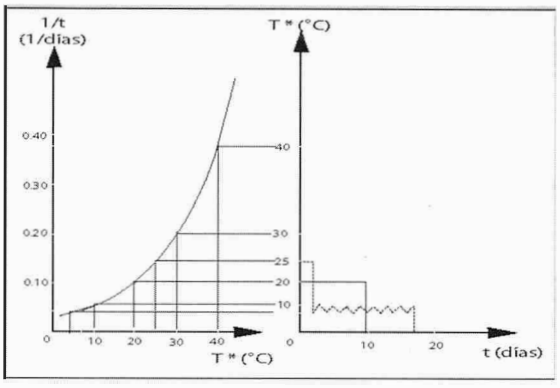


Figura 3. Gráfico TTT para tiempo de almacenamiento de naranjillas recubiertas con quitosano con cambios fluctuantes de temperatura.

CONCLUSIONES

Con el propósito de controlar el almacenamiento de naranjillas previa su comercialización o industrialización, el uso de técnicas de cálculo de tiempos de vida útil con respuestas experimentales simples, como es la medida de la pérdida de peso, conduce a obtener resultados satisfactorios en el caso de mantenerse la temperatura y humedad relativa constantes. El Método TTT lleva a estimaciones confiables para el caso de presentarse cambios en la temperatura, previo y durante el almacenamiento.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Ambato-Ecuador, su Centro de Investigaciones y a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos por el financiamiento y soporte para la realización de los trabajos, a través de proyectos de investigación internos. Al Proyecto CYTED XI.20 por facilitar el intercambio de información e investigadores.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Almeida, A.V. y Arancibia, M.Y. 2005. Desarrollo de Tecnología para la Obtención de Quitina y Quitosano a partir del Caparazón de Camarón (Penaeus vannamei). Tesis para optar por el Título de Ingeniero en Alimentos. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Ambato-Ecuador. 110p. y Anexos.
- Alvarado, J.de.D; Arancibia, M.Y. y Almeida, A.V. 2005. Permeabilidad al vapor de agua de películas biodegradables de quitosano obtenido de caparazones de camarón. *Ciencia y Tecnología*, 4(2):39-47.
- Alvarado, J. de D. 1998. Características principales relacionadas con la maduración de naranjillas (*Solanum quitoense*). *Alimentos. Ciencia e Ingeniería*, 6(2):1-11.
- Bosquez, M.E., Vernon, E.J., Pérez, L. y Guerrero, L.I. 2000. Películas y cubiertas comestibles para la conservación en fresco de frutas y hortalizas. *Industria Alimentaria*. 22(1):14-29, 32-36.
- Devlieghere, F., Vermeulen, A., Debevere, J. 2004. Chitosan: antimicrobial activity, interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. *Food Microbiology*, 21:703-714.
- Dong, H.; Cheng, L. Tan, J. Zheng, K. and Yueming, J. 2004. Effects of chitosan coating on quality and shelf life of peeled litchi fruit. *J. Food Engineering*, 64:355-358.
Iglesias, H. A. and Chirife, J. 1982. "Hand Book of Food Isotherms: Water Sorption Parameters for Food and Food Componentes". New York. Academic Press. 347p.
- Labuza, T. 1982. "Shelf-Life Dating of Foods". Westport, Connecticut. Food & Nutrition Press, Inc. 500p.
- Van Arsdel, W.B. and Guadagni, D.G. 1959. Time-temperature tolerance of frozen foods. XV. *Food Technol.*, 13(1):14-19.

MAPPING OF DAIRY CREAM SHELF-LIFE BY MEANS OF MECHANICAL MEASUREMENTS COMBINED WITH MULTIVARIATE ANALYSIS

Piazza, Laura[1]*; Gigli, Jiabril[1]; Rojas, Cristian[2]; Ballabio, Davide[3]; Todeschini, Roberto[3] and Tripaldi, Piero[2]

[1] Department of Food Science and Microbiology-DISTAM - University of Milano, Milano, Italy
[2] Faculty of Science and Technology, University of Azuay, Cuenca, Ecuador
[3] Milano Chemometrics and QSAR Research Group, University of Milano Bicocca, Milano, Italy
* Corresponding author: laura.piazza@unimi.it

Keywords: shelf-life, dairy cream, texture, multivariate analysis

SUMMARY

Mechanical measurements provide physical parameters with fundamental significance in terms of rheological properties, i.e. the materials' response to the applied force. The parameterisation of the instrumental texture attributes may differ in the way the force-deformation plot are analysed, either by extracting some parameters, or by considering the signal as a whole. In this study, back-extrusion tests were carried out for whipped dairy creams at different storage times and the obtained curves analysed by means of an advanced statistical approach. Principal Component Analysis was applied, in order to obtain the maximum content of information related to the mechanical properties of the dairy cream samples. In this case, multivariate statistical analysis proved to be able to handle large datasets produced by a consolidate analytical technique and consequently appeared as a promising tool for studying the entire mechanical profiles.
Results showed how mechanical measurements combined with multivariate analysis can represent a successful tool for shelf-life monitoring of this semi-solid material, since the mechanical profiles described the structural changes of the product during time and multivariate analysis appeared as a helpful screening method.

INTRODUCTION

Whipped dairy creams are three phases foams comprising air, fat and water. They are stabilized by hydrocolloids and emulsifiers. Depending on the structure, especially the air bubble structure, the texture of whipped dairy creams varies over a wide range: air bubbles mostly influence the mouthfeel, the melting behaviour and, in general terms, the bulk rheology [1]. Aerated systems are thermodynamically unstable with a discernible change in the size distribution or in the spatial arrangements of bubbles over the observational time-scale. The aging of a whipped cream results in an increase of the mechanical properties of the products: an increase of the fat globule connectivity due to partial coalescence is one of the main factors explaining the consolidation of whipped creams. As a consequence, the perceived texture, the mouthfeel and taste of the dairy creams-based desserts change during time.
The destabilizing phenomena occurring during the whipped cream shelf-life are typically considered both at a micro and meso-structural levels, with particular attention in the modification of bubbles morphology and rheological behaviour. As for the texture, the back extrusion (annular pumping) is useful in studying semi-solid foods, because high forces required to create flow can be generated [2]. More precisely, the back extrusion testing technique can be a very useful tool in assessing, in objective physical terms, the perceived consolidation of this non-Newtonian fluid [3] due to the ageing phenomena. The back extrusion test requires a simple equipment: a cylindrical plunger is forced down into the fluid and the fluid flows upwards through a concentric annular space. The parameterisation of the mechanical spectra taken from a mechanical test may differ in the way the force-deformation plot are analysed, either by extracting discrete parameters with precise physical meaning, or by considering the signal as a whole. Examples of these alternative approaches can be given for the evaluation of the mechanical behaviour of brittle, solid food foams during compression-crushing deformation: three main ways are reported, i.e. extracting parameters from each peak, calculating the power spectrum by using the Fast Fourier Transformation analysis and determining the fractal dimension of the signal, mainly using the Kolmogorov algorithm [4, 5].
In the case of dairy creams, the customary parameterisation of the back-extrusion stress/strain signals is relatively easy and allow to quantify in terms of discrete mechanical parameters (apparent elasticity, maximum compression force and work required to accomplish back extrusion) the texture profile of the material. For a better rheological description of semi-solid materials properties, a mathematical model was developed to determine yield stress, flow behaviour index and consistency coefficient of non-Newtonian fluids [3,4].
The objective of this study was to provide a rapid streamlined way to get, in texture terms, an overview of whipped dairy creams aging. The goal was to check if useful information could be extracted by preserving the whole signal. In this way, the analysis is simplified, since parameterisation might require subjective decisions, which can easily introduce errors or approximations. On the other hand, if the whole signal is considered, the extraction of relevant information has to face with a huge amount of available data: in these cases, multivariate analysis proved to be able to handle the large datasets produced by modern analytical techniques and consequently it appears as a promising tool for studying this kind of data, even if it has rarely been applied for the study of mechanical signals [5].
Consequently, in this study Principal Component Analysis was applied on the whole data matrix (i.e. tanking into account the whole mechanical profiles) in order obtain the maximum content of information related to the mechanical properties of whipped cream samples at different storage times.

MATERIAL AND METHODS

Materials.

An industrial-made whipped cream, which is typically used in refrigerated dessert production, was stored at 4 °C in 1 kg covered pan up to 49 days and monitored every seven days by means of an instrumental texture evaluation.
The composition of the cream was the following: carbohydrates : 24% w.b.; fat : 16%w.b.; proteins : 7% w.b. Water activity of the fresh cream was equal to 0.949, its pH was equal to 6.26 and the apparent density was 1.11 g cm^{-3}. The thermal treatment of pasteurisation was performed at 80 °C for one minute.

Methods.

Mechanical measurements

The back extrusion test was performed with the TA.XT.plus Texture Analyser (Stable Micro System, Godalming, U.K.). The measuring geometry consisted of a circular plunger (40 mm diameter), which was driven into a larger cylinder (50 mm diameter) to compress the cream samples and force it through the gap between the plunger and the container. The measuring cup was filled with cream at 8 °C and immediately tested at room temperature.
The test was carried out at 100 mm min^{-1} compression rate and the mechanical behaviour was evaluated by expressing data in

linear Force (N) vs. time (s) coordinates. A minimum of 10 replicates was carried out for each storage time.
Summarizing, one dataset was built and included 92 samples of 8 different storage times, described by mechanical signals. A summary of the characteristics of the dataset is shown in Table 1, together with the experimental conditions used for each group of samples.

Table 1. Resume of the data characteristics: number of samples, length and frequency of sampling for the measurement on each storage time.

Conservation time (days)	No. samples	Lenght of sampling (points)	Time (seconds)
0	13	20073	40.144
7	14	20175	40.348
14	12	19801	39.600
21	10	20346	40.690
28	10	20138	40.274
35	11	19421	38.840
42	10	21150	42.298
49	12	20827	41.652

Multivariate Analysis
Each sample is characterized by a mechanical profile, which describes the variation of the obtained back-extrusion during time. Consequently, each sample can be numerically described with two vectors (**s** and **t**) of the same size, i.e. the two vectors are characterized by the same number of p points. The j-th value of **s** (s_j) represents the value of back-extrusion obtained at the j-th time (t_j). Due to the experimental settings, the length of **s** and **t** was not equal for all the samples, as can be seen in Table 1. Therefore, in order to make all the samples comparable and the data suitable for multivariate analysis, all the vectors were pretreated and fixed to a unique common length by means of data interpolation.
Initially the lengths of vectors **s** and **t** of each sample were reduced by considering only times lower than 37 seconds. This threshold was selected in order to preserve the largest amount of available information. Then, each sample was linearly interpolated to a fixed length of 5000 values (p=5000). Summarizing, after interpolation, the data were arranged as a matrix (**X**) with 92 rows (samples) and 5000 columns (strain values). Each element x_{ij} of this matrix represents the back-extrusion value achieved in the j-th time for the i-th sample.
Afterwards, the data matrix was analysed by means of Principal Component Analysis (PCA). This is a well-known pattern-recognition technique commonly used to display and analyse the structure of multivariate data by projecting them into a reduced hyperspace, defined by the first significant principal components. These are linear combinations of the original variables with the first principal component having the largest variance, the second principal component the second-largest variance, and so on [7]. Usually, the results obtained by means of PCA are represented with two plots; the projection of the samples into the reduced hyperspace is represented by means of a score plot, while the linear combination coefficients of each original variable are shown in a loading plot. The loadings can be considered as the influence of each variable on each principal component, i.e. the higher is the absolute loading value of the j-th variable on the m-th principal component, the higher is the importance of the j-th variable on the m-th principal component.

RESULTS AND DISCUSSION
PCA was applied on the interpolated data matrix (92 samples times 5000 strain values). The score plot between the first and second principal components is shown in Figure 1. The label of each sample represents the number of days of storage; the borders of each group of samples were drawn in order to make the plot clearer. Since the first two principal components explain the 98% of information, the relationships between all the samples of the dairy cream can be analysed in an exhaustive way by means of this unique plot, since all the relevant information is here retained.

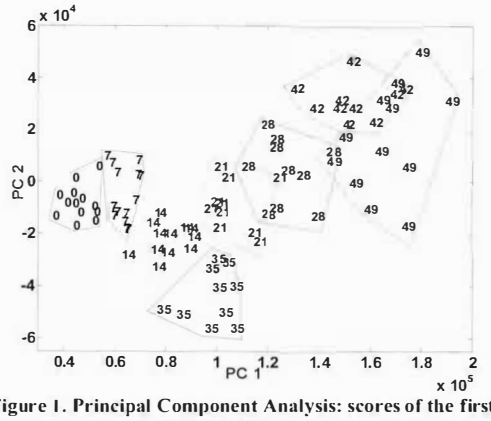


Figure 1. Principal Component Analysis: scores of the first and second principal components.

As can be seen in Figure 1, all the samples are grouped on the basis of storage times and all the groups are separated between them, i.e. the mechanical signals contain the useful information for the characterization of the cream shelf-life. Moreover, the first principal component is linked to the temporal evolution of mechanical properties, since samples are sequentially placed (from left to right) on the basis of their storage time. It is also interesting to note that the higher is the storage time, the higher is the dispersion of the samples of each group. For example, samples belonging to group 0 are close between them, while samples look scattered after 49 days. This behaviour is related to the evolution of the mechanical properties during time, due to inhomogeneous fat globules coalescence and air bubbles arrangements. In this way it could be possible to monitor the persistency of the fresh dairy cream texture attributes on the basis of the dispersion of each group up to an assigned and acceptable grade. For example, in this study, the threshold seems to be evident at 28 days of storage.
Whipped cream samples belonging to group 35 represent an exception, since on the first component they are placed between groups 14 and 21, but they are different if the second component is considered. In order to understand why group 35 has this different behaviour, the PCA loadings must be analysed.

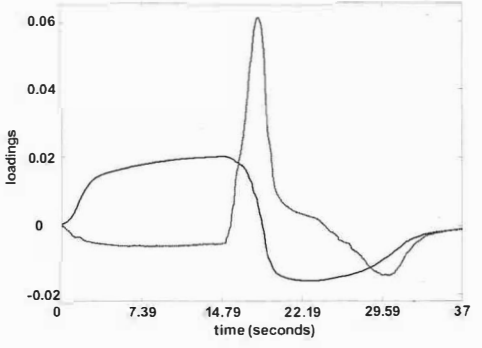


Figure 2. Principal Component Analysis: loadings of the first (black) and second (red) principal components.

In Figure 2, the loadings of the first and second principal components are shown. As can be seen, the first component describes the mechanical profile trend. After a starting brief non-linear region, the loadings are characterised by an initial increase followed by a plateau and a decrease, in the same way as the row mechanical profiles (Figure 3). This trend describes the compaction and the annular pumping: typically, the parameterisation of the back-extrusion curves deals with the

evaluation of the slope of the linear region, the maximum compression force and work required to accomplish back extrusion. As an example in Figure 4 the maximum compression force is shown; the other two texture parameter display the same trend.

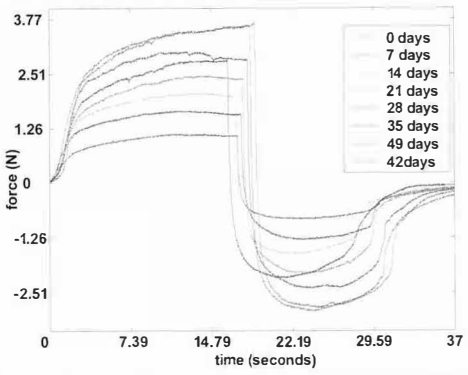


Figure 3. Comparison of mean raw back-extrusion signals of each group.

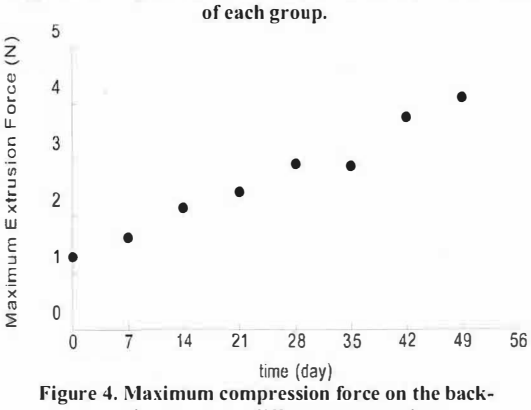


Figure 4. Maximum compression force on the back-extrusion curves at different storage times.

As a consequence, the loadings of the first component can be considered correlated with the mechanical signal intensity. In fact, as shown in the previous score plot (Figure 1), the aged samples belonging to the groups 42 and 49 have higher score values on the first component, while fresh samples (groups 0 and 7) have lower values. This behaviour is confirmed by the fact that mechanical signal intensities increase with the time: in Figure 3 the oldest samples have the highest absolute intensity values, while fresh samples the lowest ones.

Regarding the second principal component, its loadings have high values between 15 and 20 seconds, i.e. the second component describes the decreasing part of the mechanical profiles that correspond to the upward motion of the plunger at the end of the extrusion step and indirectly gives information of the adhesiveness of the tested materials. This can explain the different behaviour of group 35, which is the only group not regularly placed on the basis of storage time in the score plot (Figure 1). In fact, if group 35 and group 21 are compared, they have similar score values on the first component (i.e. similar intensity values), while they are different on the second component, i.e. on the basis of the decreasing step of the mechanical profiles, or adhesiveness attributes (Figure 5). Moreover, the decreasing step of group 35 is significantly anticipated with respect to all the other groups (Figure 3).

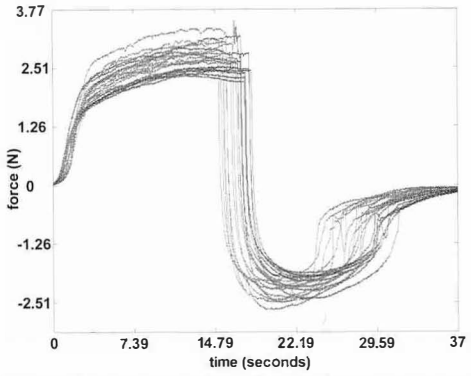


Figure 5. Comparison of raw signals obtained on samples of different storage times: 35 days (red) and 21 days (black).

CONCLUSIONS

In this work the combination texture evaluations and multivariate analysis was adopted in order to assess the shelf-life of whipped dairy creams.

As can be seen in the results, the whole mechanical profiles proved to be able to describe the structural changes of the product during time and multivariate analysis appeared as a helpful screening method. PCA was able to extract useful information from the mechanical signals and facilitated the result interpretation by collecting all the information in few comprehensible plots.

Moreover, the use of the whole mechanical profiles appeared as a promising approach, since in this way the parameterisation of the signals can be skipped without loss of information. In conclusion, mechanical measurements combined with multivariate analysis appeared as a successful tool for shelf-life monitoring of non-self-stable semi-solid products.

REFERENCES

[1] Kilcast, D. and Clegg, S. 2002. Sensory perception of creaminess and relationship with food structure. Food Quality and Preference, 13: 609-623.

[2] Lu, R. and Abbott, J.A. 1999. "Force/deformation techniques for measuring texture". Texture in food. 2nd Edition, Cap. 5, pp: 109-139.

[3] Orsorio, F.A. and Steffe, J.F. 1987. Back extrusion of power-low fluids. J. Texture Studies, 18: 43-63.

[4] Roudaut, G., Dacremont, C. Vallès Pàmies, B. Colas, B. and Le Meste, M. 2002. Trends in Food Sci. and Technol., 13: 217-227.

[5] Steffe, J.F. and Osorio, F.A. 1987. Back extrusion of Non-newtonian fluids. Food Tecnol., 41: 72-77.

[6] Piazza, L. Gigli, J. and Ballabio, D. 2007. On the application of chemometrics for the study of acoustic-mechanical properties of crispy bakery products. Chemometr. Intel. Lab. Syst., 86: 52-59.

[7] Wold, S., Esbensen, K. H. and Geladi, P. 1987. Principal Component Analysis. Chemometr. Intel. Lab. Syst., 2: 37-52.

CAMBIOS DEL ÍNDICE DE ACIDEZ Y DE PERÓXIDO DEL ACEITE DE LA ALMENDRA DEL COROZO (*Acrocomia aculeata*) A DIFERENTES TEMPERATURAS

Mieres-Pitre Alberto y Hernández Carlos Enrique
Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
Valencia – Venezuela.
albertopitre@intercable.net.ve; carherna@uc.edu.ve

Palabras clave: índice de acidez, índice de peróxido, almendra, corozo, Acrocomia

RESUMEN

El propósito del trabajo fue estudiar la estabilidad del aceite de la almendra de corozo proveniente del estado Portuguesa. La extracción del aceite se realizó por lixiviación usando hexano como solvente extractor y la purificación del mismo mediante una refinación química. Para evaluar la estabilidad del aceite se realizó la medición de los índices de acidez y peróxido en función del tiempo y a varias temperaturas por un periodo adecuado que permitió evaluar su estabilidad. Los tratamientos aplicados fueron: aceite de corozo crudo con y sin antioxidantes, aceite de corozo refinado con y sin antioxidantes y aceite de girasol como muestra control. Estas muestras se sometieron a temperatura constante de 70 °C, por 5 horas para evaluar el índice de peróxido e índice de acidez, cuyos valores se encontraron dentro de los rangos reportados para aceites comestibles.

INTRODUCCIÓN

El corozo cuyo nombre botánico es ***Acrocomia*** aculeata, es una palmera silvestre nativa de la región Amazónica y propagada en Centroamérica y Sudamérica. En Venezuela es muy común en la región del alto Orinoco principalmente, estando presente en todo el territorio venezolano, siendo abundante en los estados Anzoátegui, Bolívar, Zulia, Barinas, Portuguesa, Cojedes y Carabobo (Schenee, 1984). El fruto de la palma corozo está constituido por cinco partes principales: el cabezal, epicarpo, mesocarpo, endoscarpo y almendra (Hernández, 2004), siendo esta última contentiva de una alta cantidad de aceite que oscila entre 30 y 60 por ciento dependiendo de la región donde se realice la recolección y muestreo. A partir del año dos mil dos se ha mostrado gran interés en conocer las propiedades químicas, físicas y funcionales de la almendra y pulpa del fruto de corozo a fin de proponer su posible aprovechamiento en la industria alimenticia, tal como lo reporta Belén y col., (2005). La mayoría de los estudios de la especie ***Acrocomia aculeata*** se han enfocado en la caracterización fisicoquímica de las partes constitutivas de la almendra pero no se ha profundizado en la estabilidad del aceite, razón que motiva su estudio preliminar para conocer su estabilidad en el tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La primera etapa consistió en la recolección y preparación de los frutos maduros de corozo provenientes del sector "La aduana" a 80 km de Guanare, estado Portuguesa. La muestra fue preparada en el laboratorio de Alimentos de la Escuela de Ingeniería Química y secada por dos métodos: a cielo abierto a condiciones controladas de temperatura y humedad, 25°C y 60% y deshidratación en estufa a 55-60°C respectivamente. La extracción de las semillas se realizó de forma mecánica utilizando una prensa hidráulica vertical operada manualmente. Mediante un molino de cuchilla Willey a distintos tiempos de molienda se realizó la reducción de tamaño con malla de descarga de 4mm y tamaño de partícula de 0,65mm.Con estas condiciones se determinó la composición fisicoquímica de la almendra de corozo. La influencia de las características de la zona geográfica donde fue recolectada la muestra de corozo, tales como la temperatura, pluviosidad, la altitud, la textura del suelo, entre otros, no forman parte del presente estudio (González y col., 2005). Las determinaciones fisicoquímicas fueron realizadas siguiendo la normativa venezolana para aceites y grasas (COVENIN 0069, 1992) y métodos estándar de la AOAC (1995. El perfil de ácidos grasos se determinó por cromatografía de gases siguiendo el método recomendado por la norma COVENIN 2281 (1998), utilizando una columna capilar de 30 cm, gas de arrastre nitrógeno y flujo de 82 mL/min. El porcentaje de cada uno de los componentes fue calculado tomando en consideración el área del pico del componente en estudio dividido entre el área total de los componentes de la muestra de corozo.

La muestra de almendra de corozo con tamaño de partícula de 0,65 mm fue extraída utilizando como solvente hexano grado técnico en un equipo Soxhlet de seis puestos siguiendo las etapas indicadas en la AOAC (1995). Una vez extraído el aceite se purificó a través de un neutralizado utilizando hidróxido de sodio al 8% p/p. Primeramente se calienta el aceite crudo a 40°C y se adiciona el NaOH con agitación constante luego se realizan las separaciones respectivas y se separa el aceite de las impurezas presentes (COVENIN 2281, 1998). Para evaluar la estabilidad del aceite crudo y refinado de corozo se aplicaron los siguientes tratamientos: corozo sin purificar (A), corozo purificado (B), corozo crudo con antioxidante (C), corozo purificado con antioxidante (D) y muestra de aceite control (E). El antioxidante utilizado fue la t-butilhidroquinona (TBHQ) al 33% en propilenglicol y como muestra control aceite comercial de girasol.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se presenta la composición proximal de la almendra del fruto del corozo en base húmeda.

Tabla 1. Composición proximal de la almendra de corozo *(Acrocomia aculeata)*

Característica	Valor
% Humedad (H ± 0,07)	6,21
% Ceniza (C ± 0,01)	2,24
% Grasa (G ± 0,06)	46,11
% Proteínas (P ± 0,05)	18,50
% Carbohidratos (Car ± 0,03)	26,94

El contenido de agua en una semilla es un factor de suma importancia para las diversas etapas de extracción de aceite, y se reporta que cada semilla tiene un óptimo de humedad y que valores entre 9 y 5 % son bastantes buenos para la mayoría de las oleaginosas (Cocks y Van Rede, 1966). Este factor es bastante importante en el desarrollo de la extracción, ya que puede disminuir el rendimiento de la extracción. A medida que aumenta la humedad, el contenido de aceite extraíble disminuye progresivamente debido a que el coeficiente de difusión disminuye alrededor de 0,4 cm^2/s, por 1 % de humedad, para valores que oscilan entre 10 y 22%. De acuerdo a los resultados obtenidos y

lo señalado anteriormente, se demuestra que la humedad de la almendra de corozo posee un valor bastante óptimo para la extracción, por lo que no necesita tratamiento previo para la disminución de la humedad. El porcentaje de ceniza presente en la almendra se encuentra dentro del valor normal reportado para otras semillas oleaginosas como el coco (Rojas, 2002), lo que descarta la posibilidad de encontrarse algún adulterante inorgánico en la almendra. Por otra parte el porcentaje de grasa cruda reportado indica el alto contenido de aceite presente en la almendra de corozo, y esto se debe a que el contenido de grasa equivale a extensa presencia de constituyentes lipídicos libres, es decir, aquellos que pueden ser extraídos por los disolventes menos polares que pueden romper las interacciones hidrófobas que unen los lípidos de otros compuestos, de acuerdo a lo señalado por Martínez y col., (2006)

Los altos valores de proteína, grasa y carbohidratos presentes, es un indicativo de su alto valor nutricional que podría ser utilizado como fuente proteica y de energía en alimentación humana y animal. El valor del porcentaje de proteína presente en la torta residual después de la extracción fue de 32,6 ± 0,05 %, se puede apreciar que este valor es mayor que el valor de la almendra en base humedad. Esto se debe a que las moléculas en la almendra se encuentran entrelazadas entre sí, a diferencia de la torta desgrasada, que al eliminarse los componentes lipídicos presentes en ella, ocurre la reacción de una mayor cantidad de moléculas proteicas durante el proceso de digestión, por lo tanto esta torta puede ser aprovechada como fuente proteica para la elaboración de alimentos (Ziller, 1994).

Los ácidos grasos presentes en el aceite de la almendra de corozo y su composición se encuentran reportados en la tabla 2.

Tabla 2. Composición de ácidos grasos del aceite de la almendra de corozo

Ácidos Grasos	Composición ± 0,01 %
Láurico	45,29
Mirístico	12,31
Palmítico	8,59
Esteárico	3,36
Oleico	26,55
Linoléico	3,80
Linolénico	0,10

El ácido graso predominante es el laúrico, lo que indica el alto grado de saturación del aceite. Seguido por el oleico y el mirístico. Al comparar los resultados con los reportados por Hernández (2004), se puede decir que son bastantes aproximado y mantienen la misma tendencia. De la misma forma al comparar la composición en lípidos del aceite crudo de corozo con el aceite de coco (Rojas, 2002), mantienen una relación aproximada entre los ácidos grasos saturados y los insaturados, por lo que se puede decir que el aceite de la almendra de corozo es muy semejante al aceite de coco. En la evaluación de la estabilidad del aceite extraído fue necesario realizar una purificación al aceite crudo sometiendo el mismo a un neutralizado, lavado, centrifugado y desodorizado con el objeto de estudiar su estabilidad en el tiempo y poder inferir sobre el posible uso. Se encontró inicialmente 0,410% en ácidos grasos libres y un índice de peróxido de 3,79 meqO_2/kg, resultados que son satisfactorios para aceites de este tipo y que ha sido reportado por Martínez y col., (2006) trabajando con corozo a las mismas condiciones. En la tabla 3, se muestra la evaluación de los ácidos graso libres a través del tiempo.

Tabla 3. Comportamiento de los ácidos grasos libres en las diferentes muestras

	Muestras				
Temperatura (°C)	A	B	C	D	E
30	0,410	2,279	0,842	0,628	2,816
120	1,777	1,694	0,558	0,618	1,305
210	1,601	1,455	0,391	0,565	2,842
300	1,663	1,703	0,621	0,755	2,904

El aceite patrón permitió constatar que los resultados obtenidos se encontraban en el rango esperado y reportados en las referencias, es decir, aunque los valores son altos, los resultados son proporcionales. Por otra parte, se puede decir que el aceite de corozo es bastante estable al utilizar antioxidante, es decir el aceite crudo con antioxidante, al ser sometido a alta temperatura por determinados tiempos mantuvo casi constante el porcentaje de ácido grasos libres presentes, lo que indica que la temperatura no aceleró en gran proporción la rancidez del aceite. A diferencia del aceite crudo sin antioxidante, su comportamiento fue bastante inestable al ser sometido a alta temperatura. Se demostró que el porcentaje de ácidos grasos libres presentes en el aceite disminuyó al refinarse el mismo. Asimismo, la estabilidad del aceite refinado y del aceite refinado con antioxidante son muy parecidas, sin embargo es un poco más estable este último. Para la evaluación del aceite midiendo el índice de peróxido en función del tiempo y a una temperatura constante, la primera medición fue a los 60 minutos de haber sido expuesto el aceite a la temperatura determinada, para luego tomar tres mediciones continuas, cada 90 minutos, según datos reportados por otros autores trabajando a las mismas condiciones (Besbe, 2004). En la tabla 4 se muestran los resultados del índice de peróxido en función del tiempo.

Tabla 4. Comportamiento del aceite del corozo a distintas temperaturas y tiempos de exposición

	Muestras				
Temperatura (°C)	A	B	C	D	E
60	3,79	1,96	3,45	1,18	3,19
150	4,01	2,64	3,68	1,22	3,73
240	4,27	2,90	3,95	1,26	4,10
330	5,01	4,64	4,05	1,28	4,25

Se puede apreciar que el aceite crudo es muy inestable a través del tiempo al ser sometido a alta temperatura, debido al incremento del índice de peróxido a estas condiciones, lo que indica que el aceite se oxida rápidamente en el tiempo. A diferencia del aceite crudo con antioxidante, que al ser sometido a altas temperatura a través del tiempo se mantuvo estable. Por otra parte se puede observar, que los valores del aceite refinado son relativamente constantes, lo que indica que este proceso mejora la calidad del aceite, sin embargo al observar los valores del aceite refinado con antioxidante, su valor se mantiene relativamente constante en el tiempo, lo que indica una gran estabilidad del mismo, su oxidación es muy baja en comparación con las demás muestras y además se puede decir que el antioxidante actúa de la manera esperada (Bernardini, 1986).

CONCLUSIÓN

La almendra de corozo contiene cantidades de nutrientes y aceite, similares a lo establecido para otros frutos de palmas, que la convierten en una alternativa como fuente alterna de aceite y energía. En cuanto a la composición del aceite de corozo este presenta una mezcla interesante de ácidos grasos, de los cuales el ácido laúrico, oleico y mirístico representan los de mayor porcentaje. La utilización de antioxidantes en el aceite de corozo mejora sustancialmente su estabilidad en el tiempo, situación que debe tomarse en cuenta para futuras aplicaciones en alimentos preparados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

AOAC. Association of official analytical chemists. Official methods analysis. (16ª ed). Washington, DC. USA. 1995.

Belén, D. López, I. García, D. González, M. Moreno, M y Medina, C. Evaluación físico-química de la semilla y del aceite de corozo (***Acrocomia aculeata J***). Grasas y Aceites 56(4), 2005, 311-316.

Bernardini, E. Tecnología de aceites y grasas. 1ª Edición. Editorial Alambra SA. España. 1986.

Besbe, S. Quality characterstics and oxidative of date seed oil during storage. Food Science and Technology International. Vol 10 Nº5, pp 333-338, 2004.

Cocks, L.V y C. Van Rede. Laboratory Handbook for Oil and Fat Analyst, Academia Press, London. 1966.

Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). Norma venezolana COVENIN 0069. Grasas vegetales comestibles o mantecas vegetales comestibles. Ministerio de Fomento. Caracas-Venezuela. 1992.

Comisión Venezolana de Normas Industriales. (COVENIN). Norma venezolana COVENIN 2281. Aceites y grasas vegetales. Determinación de ácidos grasos por cromatografía de gases. Ministerio de Fomento. Caracas-Venezuela. 1998.

Hernández, C. Evaluación de la calidad del aceite de la almendra de corozo (***Acrocomia aculeata***) utilizando el método de extracción de prensado en frío, (Trabajo de ascenso). Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.2004. 115p.

González-Mendoza, M. Mendoza, F. Mora, J. Mendoza, M. Márquez, J y Bravo, M. Valor nutricional de la semilla del almendrón (***Terminalia catappa Linn***). Revista de la Facultad de Farmacia. ULA. 47(1), 2005, 25-29.

Martínez de la Cuesta, P.J, E. Rus Martínez y A. Muñiz Martos. Influencia de variables en el enranciamiento oxidativo de aceite de origen vegetal. Aceites y Grasas. Tomo XVI-Vol. 3. Nº64. 2006.

Rojas, Y. Diseño y Simulación de una planta procesadora de pulpa de coco (***Cocos nucifera L***). (Trabajo de grado). Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.2002.p219.

Schenee, L. Plantas comunes de Venezuela. Ediciones de la Biblioteca de la UCV. Caracas. 1984. 230p.

Ziller, S. Grasas y aceites alimentarios. 7ª Edición. Acribia. Zaragoza-España, 1994.

ESTUDO DO COMPORTAMENTO HIGROSCÓPICO DE PÓS OBTIDOS DA POLPA DE PEQUI *(Caryocar brasiliense Camb.)* LIOFILIZADA

Alves, Cibele Cristina de Oliveira; Resende, Jaime Vilela; Prado, Mônica; Cruvinel, Rafael; Lima, Helena
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA DOS ALIMENTOS
Caixa Postal 3037, CEP37200-000, email: jvresende@ufla.br
LAVRAS/MG - BRASIL

Palavras chaves: liofilização, isotermas, higroscopicidade, atividade de água.

RESUMO

Pós obtidos a partir da polpa de pequi *(Caryocar brasiliense Camb.)* liofilizada, elaborados com adição de álcoois (etanol e isopropanol), em concentrações de 0%, 5% e 10% e de açúcares (sacarose e frutose), em concentrações de 0%, 5% e 10%, foram desenvolvidos neste trabalho e, a sua estabilidade, quanto ao comportamento higroscópico durante o armazenamento, foi avaliada. As características de sorção de água foram analisadas, a partir dos parâmetros cinéticos, por medidas da variação da atividade de água dos pós, em função do tempo, quando colocados em ambientes de umidade relativa controlada. As isotermas obtidas a 25°C, relacionando a atividade de água de equilíbrio do produto com as umidades relativas do ambiente, foram traçadas e o modelo de Oswin foi o que proporcionou o melhor ajuste. Os resultados mostraram que a higroscopicidade dos pós apresentou diferenças características, sendo a combinação de sacarose e etanol a que apresentou menor variação da atividade de água.

INTRODUÇÃO

A prática do controle de água presente nos alimentos é uma das técnicas mais antigas para a preservação dos alimentos (Prior, 1979). O principal fator na estabilidade de um alimento é a disponibilidade de água para o crescimento de microrganismos e reações químicas (Ditchfield, 2000). Existem várias formas de se controlar a "água livre". O conhecimento mais detalhado das técnicas de preservação de alimentos tem levado aos processos de desidratação mais brandos, com retirada da água até certos níveis que minimizam as mudanças irreversíveis, produzindo um alimento de características aceitáveis.

A liofilização tem como objetivo estabilizar alimentos por meio das múltiplas operações que o material é submetido durante as operações de congelamento, sublimação e secagem a vácuo, além do armazenamento do material seco, sob condições controladas. Dessa forma, obtêm-se produtos da mais alta qualidade, de reconstituição instantânea e que possuem longa vida de prateleira. A liofilização é uma operação que envolve tanto a transferência de massa como de calor, e a maior ou menor capacidade de tais transferências irá depender das características de permeabilidade e condutividade, respectivamente, da camada seca formada durante o processo (Carvalho, 1983).

As interações entre água-alimento constituem importantes aspectos a serem analisados, pois estão diretamente implicadas nas modificações das propriedades dos alimentos (autoaglomeração ou "caking", transição do estado amorfo dos açúcares, reações deterioralivas, etc.) (Borges, 1988).

A higroscopicidade em alimentos desidratados, notadamente em frutas, é uma das propriedades de maior importância, tanto do ponto de vista industrial quanto comercial, pois exerce influência em setores de embalagem e também está intimamente associada à estabilidade química, física e microbiológica destes produtos. O potencial higroscópico de alimentos em pó que contêm açúcares está intimamente ligado ao estado destes. Conforme o grau de cristalinidade dos mesmos, os alimentos terão maior ou menor afinidade com a água. Sólidos amorfos absorvem consideravelmente mais água que sólidos cristalinos a baixas atividades de água e somente em altas atividades de água é que ambos absorvem quantidades similares de água (Sloan & Labuza, 1975). Portanto, torna-se imprescindível o conhecimento do comportamento higroscópico de tais produtos, bem como das variáveis que o influenciam, para uma posterior otimização das condições de desidratação, condicionamento e armazenamento dos mesmos (Borges, 1988). Assim, o objetivo principal deste trabalho foi determinar e comparar o comportamento higroscópico e a estimativa do período e condições de armazenamento de pós comestíveis obtidos a partir da polpa liofilizada do pequi.

MATERIAL E MÉTODOS

Preparo das amostras e tratamentos pré-congelamento

Foram elaborados extratos contendo 30% de polpa (mesocarpo interno) do pequi, provenientes do município de Sete Lagoas (Brasil), adicionados de açúcares (frutose ou sacarose) e de álcoois (etanol ou isopropanol), em concentrações de 0%, 5% e 10% (mL/100mL de extrato), tanto para os açúcares como para os álcoois. Para se completar as proporções dos extratos até volume de 40mL adicionou-se água destilada. Os extratos foram homogeneizados, filtrados e colocados em placas de Petri de vidro com capacidade de 30mL e submetidos a congelamento em ar estático em congelador (ultrafreezer Coldrag) com temperatura de -60±2°C, para em seguida, conduzidos num liofilizador piloto (Liobras-L101). O tempo médio para a liofilização das amostras foi de 72 horas.

Ambientes de Umidades Relativas Controladas

Ambientes de umidades relativas controladas foram criados no interior de dessecadores fazendo uso de soluções salinas saturadas com diferentes aw a temperatura de 25°C (LiCl, 0,11; CH_3COOK, 0,22; $MgCl_26H_2O$, 0,32; $Mg(NO_3)_2.6\ H_2O$, 0.53; NaCl, 0,75; KCl, 0,8 e $BaCl_2$, 0,90 - Dhingra & Sinclair, 1995). A aferição das umidades relativas foi realizada com auxílio de um Higrômetro de ponto de orvalho (Aqualab-Decagon-modelo 3TE) e Termohigrômetro digital.

Determinação das características de sorção dos sistemas

Após a liofilização, as amostras foram pesadas e distribuídas uniformemente em placas de Petri e levadas aos dessecadores contendo as soluções salinas saturadas.

A obtenção de dados para as análises da cinética de adsorção de água e das isotermas de sorção dos pós liofilizados foi feita através da variação da atividade de água em função do tempo (da_w/dt), à temperatura de 25+1°C para cada ambiente de umidade relativa controlada.

A determinação da a_w foi feita em um higrômetro de ponto de orvalho (Aqualab-Decagon-modelo 3TE) em intervalos de tempo de 24 horas nos dois primeiros dias e de 48 horas nos demais até atingir a_w de equilíbrio.

Determinação da cinética de sorção de água

A cinética de adsorção de água dos pós foi obtida graficando as medições da aw em função do tempo e as curvas resultantes ajustadas aplicando as equações (1) e (2). Sendo que, os critérios usados para a escolha do melhor ajuste, foram determinados conforme as estimativas dos parâmetros, bem como os valores do erro padrão residual e do coeficiente de determinação (R^2). As umidades de equilíbrio dos pós de pequi liofilizados foram determinadas através dos pontos de

máximos encontrados nas curvas, quando o valor da tangente é igual à zero.
Logística:

$$aw = \frac{a}{1 + b.e^{-(kt)}} \quad (1)$$

Monomolecular:

$$aw = \frac{a}{1 - b.e^{(-Kt)}} \quad (2)$$

em que:
aw = atividade de água;
t = tempo de exposição (dias)
a, b, K = parâmetros de ajuste

Determinação das isotermas de sorção de água
As isotermas foram obtidas em um gráfico relacionando os valores das umidades de equilíbrio das amostras em função da aw dos ambientes de umidade em que foram expostas. Os dados experimentais foram submetidos aos modelos matemáticos de BET linearizado, GAB, Halsey e Oswin (Tabela 1). O ajuste dos modelos de sorção foi feito utilizando-se o programa computacional Statistica versão 7.0, com um critério de convergência de 0,0001, através de regressão não linear, considerando-se a temperatura e a umidade relativa como variáveis independentes.

Tabela 1. Modelos utilizados e seus parâmetros.

Modelo	Equação
GAB	$y = \frac{X_m C_{GAB} K_{GAB} aw}{(1 - K_{GAB} aw)(1 - K_{GAB} aw + C_{GAB} K_{GAB} aw)}$
BET linearizado	$y = \frac{X_m C_{BET} aw}{(1 - aw)[1 + aw(C_{BET} - 1)]}$
Halsey	$aw = \exp\left(\frac{A}{Y^B}\right)$
Oswin	$Y = A\left(\frac{aw}{1 - aw}\right)^B$

Delineamento experimental e análise estatística
A regressão não linear foi adotada para ajustar os dados das análises do comportamento higroscópico dos pós de pequi liofilizado.
Para analisar a variável aw em função do tempo necessário para as amostras entrarem em equilíbrio com o ambiente circundante (cinética de adsorção); ajustou-se um modelo de regressão não linear Logística (equação 1) para praticamente todos os tratamentos, exceto o tratamento constituído de sacarose 5% adicionado de isopropanol 5%, em que o modelo usado para o ajuste foi o Monomolecular (equação 2).
Já para o caso da variável umidade de equilíbrio de acordo com aw atividade de água (isoterma de sorção); os dados experimentais foram ajustados, por meio de análise de regressão não linear pelo método Quasi-Newton e critério de convergência de 0,0001, aos modelos matemáticos descritos na Tabela 1.
Os critérios utilizados para avaliar o ajuste de cada equação aos dados experimentais foram:

- Significância das estimativas dos parâmetros (nível de probabilidade de 5%);
- Coeficientes de determinação (R^2), entre as respostas observadas e os valores previstos pelo modelo ajustado;

o módulo do desvio médio relativo (P), definido como a média da porcentagem de diferença relativa entre valores experimentais e preditos (Lomauro et al., 1985). Segundo Wang & Brennan (1991), o parâmetro P é usado na literatura para avaliar o melhor ajuste de diferentes expressões matemáticas aplicadas em dados experimentais. E, geralmente, é considerado que valores de P abaixo de 10%, indicam um ajuste razoável para o propósito prático. O valor de P foi obtido pela seguinte expressão (3):

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{|(M_i - M_{pi}|}{M_i} \quad (3)$$

em que:
M_i = valores obtidos experimentalmente, g
M_{pi} = valores preditos pelo modelo, g
n = número de dados experimentais

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cinética de sorção de água dos pós obtidos da polpa de pequi liofiliza
A Figura 1 apresenta o gráfico com as curvas de ajuste dos resultados experimentais da atividade de água em função do tempo dos pós obtidos da polpa de pequi liofilizada para os tratamentos com Sacarose 5% adicionados de etanol 5%; etanol 10%, isopropanol 5% e isopropanol 10% no ambiente de Umidade Relativa (UR) de 53%.

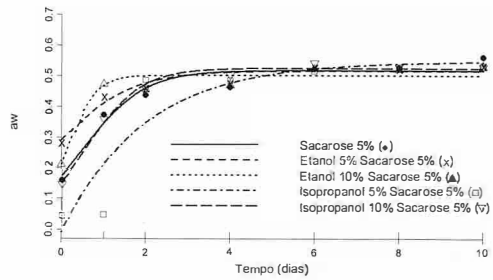


Figura. 1 Curvas do comportamento higroscópico dos pós obtidos da polpa de pequi liofilizada com ajuste realizado pelo modelo da Logística para os tratamentos com Sacarose 5% adicionados de álcoois e expostos ao ambiente de umidade relativa de 53% a temperatura 25°C.

A influência das diferentes umidades relativas sobre o comportamento da atividade de água dos pós de pequi liofilizado a temperatura de 25°C em função do tempo para os demais tratamentos apresentaram comportamento semelhante ao ilustrado na figura acima.
Os modelos de logística e monomolecular são os que descrevem melhor as curvas da cinética de sorção dos pós de pequi liofilizados para a atividade de água de 0,53 a 0,90, com valores de coeficiente de determinação (R^2) de 91,34 a 99,87% e erro padrão de 0,008 a 0,1.
A variação da atividade de água dos pós obtidos da polpa de pequi liofilizada em função do tempo e expostos a diferentes ambientes de umidades relativas controlados foram traçados.
Esses comportamentos são representados pela variação da atividade de água em relação ao tempo (daw/dt), obtidas pela tangente no ponto i (número de leituras da atividade de água, variando de 0 a 7), de acordo com a equação (4):

$$\frac{daw}{dt} = \frac{aw_i - aw_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \quad (4)$$

A Figura 2 apresenta a variação da atividade de água em função do tempo para os tratamentos com sacarose 5% e sacarose 10% adicionados de álcoois a 25°C em ambientes de atividades de água a 0,33.
Em relação ao primeiro dia de exposição em ambientes de umidade relativa controlada, observa-se que tratamentos com sacarose adicionados de etanol em concentração de 5% e tratamentos com frutose adicionados de isopropanol na concentração de 10%, apresentaram a menor variação da atividade de água em função do tempo dos pós de pequi liofilizados.
A interação entre as moléculas é a mais provável justificativa para os fenômenos observados. Quanto maior for à área de contato entre as moléculas, maior é a sua interação. Sendo assim, a molécula de sacarose pode fazer mais interações em relação à molécula de frutose que apresenta cadeia mais curta. Além disso, o etanol é um álcool que apresenta estrutura química linear e, o isopropanol, ramificada, o que facilita também a ocorrência de interações entre as moléculas do

etanol. A água é um excelente solvente polar para compostos orgânicos polares de baixo peso molecular, como o metanol, etanol, isopropanol dentre outros. Possuindo um dipolo bastante acentuado, atrai por eletrostática o dipolo da outra molécula, de forma a potencializar a solubilização. À medida que se aumenta o número de carbonos no grupo dos álcoois, a solubilidade, em meio aquoso vai diminuindo. O isopropanol possui cadeia maior de carbonos do que o etanol, além de ramificações o que o torna menos solúvel em meio aquoso quando comparado ao etanol.

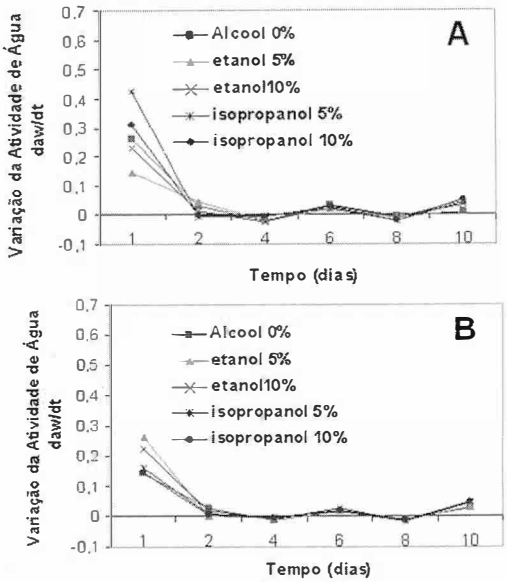


Figura 2. Variação da atividade de água em função do tempo para os tratamentos com: A) Sacarose 5%, B) Frutose 5%, expostos ao ambiente de umidade relativa de 33% a temperatura de 25°C.

Além disso, conforme o grau de cristalinidade dos açúcares, os alimentos terão maior ou menor afinidade com a água. Além disso, a frutose é mais higroscópica do que a sacarose nas mesmas condições de umidade relativa e temperatura (Audu et al., 1978).

Isotermas de sorção de água dos pós obtidos da polpa de pequi liofilizada

A Figura 3 apresenta as isotermas de sorção para os pós de pequi com os ajustes para equação de Oswin e GAB para o tratamento constituído de Sacarose a 5%.

Comportamento semelhante foi observado em trabalho de Carlos, Resende e Cal-Vidal (2005), que ao verificar a influência da adição de álcoois a sistema-modelo de açúcares antes do processo de liofilização, observaram que as proporções de sacarose e frutose contidas nos sistemas-modelos testados não influenciaram de forma significativa as características de sorção de água dos pós, porém o sistema que continha sacarose apresentou maior organização da estrutura cristalina e conseqüentemente adsorção de água menos pronunciada quando expostos às condições controladas de temperatura e umidade relativa.

CONCLUSÕES

As isotermas de adsorção apresentaram o mesmo formato para todos os tratamentos, sendo este sigmoidal (isoterma do tipo II) como a maioria dos pós alimentícios, de acordo com a classificação da IUPAQ (1985).

A tendência dos resultados obtidos em diferentes umidades relativas indica que sistemas constituídos de sacarose e etanol, e, frutose e isopropanol proporcionam pós de pequis liofilizados mais estáveis quanto à sorção de água durante o armazenamento.

Os modelos de GAB e Oswin descreveram com precisão as isotermas de sorção para a atividade de água de 0,11 a 0,90, com valores de coeficiente de determinação variando de 94,55 a 99,52% e desvio médio relativo de 2,25 a 12%.

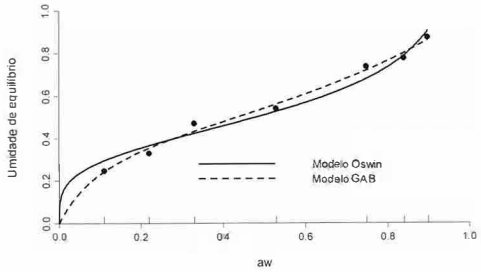


Figura 3. Isotermas de pós de pequi liofilizados expostos a diferentes ambientes de umidade relativa a 25°C para o tratamento com Sacarose 5% sem adição de álcool. Pontos experimentais e ajustados aos modelos de (–) Oswin e (---) GAB.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação e Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-Audu, T.O.K.L.; Loncin, M. e Weisser, H. Sorption isotherms of sugars. Lebnsmitter-Wissenschaft and Technologie, v. 11, p. 31-34, 1978.

-Borges, S.V. **Análise higroscópica e microestrutural de flocos de frutas desidratadas**. 1988. 151p. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

-Carlos, L. de A.; Resende, J.V. e Cal-Vidal, J. Redução da higroscopicidade de pós liofilizados pela indução da cristalização em soluções-modelo de açúcares constituintes de frutas. **Brazil Journal Food Technology**, v.8, n.2, p. 163-173, abr./jun. 2005.

-Carvalho, R.F. **Higroscopicidade e Auto-aglomeração (Caking) de Pós Liofilizados de Goiaba *(Psidium Guajava L.)* contendo agentes anti-caking**. 1983. 155p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

-Ditchfield, C. **Estudo dos métodos para medida da atividade de água**. 2000. 146p. Dissertação (Mestrado)-Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

-IUPAQ - International Union of Pure and Applied Chemistry. Reporting physisorption data for gas/solid systems. **Pure and Applied Chemistry**, New York, v.57, n.4, p.603-619, 1985.

-Lomauro, C.J.; Bakshi, A.S. e Labuza, T.P. Moisture transfer properties of dry and semi moist foods. **Journal of Food Science**, v.50, p.397-400, 1985

-Prior, B.A Measurement of water activity in foods: a review. **Journal of Food Protection**, v.42, n.8, p.668-674, 1979.

-Statistica. Statistica 7.0, EUA Software. StaSoft, Tucksa, 2005.

-Sloan, A.E. e Labuza, T.P. Humectant water sorption isotherms. **Food Product Development**, Chicago, v.9, n.10, p.68, 1975.

-Wang, N. e Brennan, J.G. Moisture sorption isotherm characteristics of potatoes at four temperatures. **Journal of Food Engineering**, v.14, n.1, 1991

EVALUACIÓN DE CAMBIOS EN PROPIEDADES MECÁNICAS Y AGUA EXUDADA POR EFECTO DE CONGELACIÓN Y ALMACENAMIENTO REFRIGERADO EN FALDA DE RES (*Cutaneous trunci*).

Zambrano Z. M. L.*, Álvarez C. A., Meléndez P. R., y Hernández A.
Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Departamento de Ingeniería y Tecnología, Av. 1ro. de Mayo s/n, Col. Atlanta, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, C.P. 54740.

Palabras clave: procesos de deterioro, exudado, compresión, congelación, almacenamiento

RESUMEN

Los objetivos de este trabajo fueron, evaluar el efecto de la congelación-descongelación y almacenamiento refrigerado sobre el jugo exudado y las propiedades mecánicas de falda de bovino. Se siguió un diseño factorial con 3 niveles de para el almacenamiento congelado y tiempo de descongelación y 4 de refrigeración, realizándose 5 repeticiones. Se evaluó la cantidad de jugo exudado por absorción en papel filtro, la resistencia a la compresión y el modulo. La variable con mayor efecto sobre la pérdida de jugosidad fue el tiempo de descongelación con 49.16 % de contribución, la mayor cantidad de jugo exudado se obtuvo a las 24 h de descongelación con 7.71 %, sobre la fuerza máxima tuvo mayor influencia del tiempo de almacenamiento refrigerado con una contribución del 49.3 %, con una fuerza inicial de 14.53 N/g y una máxima de 81.95 N/g a los 12 días de almacenamiento refrigerado a las 24 h de descongelación cuando la muestra no estuvo almacenada en congelación, incrementándose considerablemente la dureza conforme se incrementa el tiempo de descongelación y aumenta el almacenamiento congelado, teniendo se máximo para la carne almacenada 6 días y descongelada por 4 horas con 269.6 N/g, el modulo de compresión fue desde 0.72 a 13.16 MPa, con la mayor influencia debida al almacenamiento congelado 29.5 %, seguida de las condiciones de refrigeración 12.3 %, así los cambios en el modulo dependen en gran medida de la pérdida de jugosidad de la carne por exudación.

INTRODUCCION

Cuando se somete a congelación un alimento, se debe tomar en consideración el daño causado por la formación de cristales de hielo, ya que se vera reflejado en la calidad del producto durante la descongelación, cocción o en su defecto almacenamiento refrigerado. El tamaño de cristal modifica la estructura del tejido celular, debido a que se provoca la ruptura de las membranas celulares, con la inevitable desnaturalización de los componentes intracelulares, provocando cambio en la fuerza iónica e incremento de la actividad enzimática. (Sanz P.D., Elvira C., Martino M., Zaritzky N., Otero L., & Crrasco A. (1999) Por lo que algunos de los estudios realizados se enfocan a la velocidad de congelación y se analizan la propagación de la fractura y pérdida de elasticidad. (Shi X., Datta A. K., & Mukherjee S., 1999).

Gran parte del efecto del almacenamiento congelado y/o refrigerado de carne se refleja en cambios en propiedades mecánicas, por lo que esta es una buena herramienta para correlacionar los cambios debido a al proceso, ya que gran parte de estos son debidos a los cambios de estado que sufre el agua libre durante la congelación y almacenamientoo (Rosenthal, 2001).

La congelación contribuye a incrementar la vida útil de los productos, sin embargo, es prácticamente imposible detener su deterioro, por lo que durante el almacenamiento congelado la carne sufre cambios estructurales que conllevan desnaturalización de proteínas, cambios de pH y firmeza. Así los cambios de agua exudada y firmeza, se ven reflejados en la descongelación y por ende son algunas de las características que reflejan perdida de calidad por efecto de congelación. (Ngapo, Babare, Reynolds & Mawson, 1999; Boles J.A. & Shand P.J., 1999).

En muchas ocasiones la carne a ser comercializada a detalle se recibe congelada y se comercializa descongelada o inclusive está se refrigera para su posterior comercialización, lo que trae como consecuencia lógica, cambios de calidad debido principalmente a las modificaciones del estado del agua, que provocaran daños estructurales asociados a su vez a las condiciones de descongelación. Es necesario establecer los periodos de comercialización de carne después de la descongelación y su posterior almacenamiento refrigerado. Sin embargo son pocos los estudios que enfocan su análisis a los cambios durante el almacenamiento refrigerados para productos previamente congelados. Los objetivos de este estudio fueron, evaluar el efecto de la congelación-descongelación y almacenamiento refrigerado sobre el jugo exudado y las propiedades mecánicas de falda de bovino, auxiliándose para esto de un diseño factorial general completo.

METODOLOGÍA

Muestras de carne.

Se utilizó carne fresca obtenida después de 2 días de sacrificio de la Raza Suizo Cebu, con una edad de 1 año 8 meses, peso en pie promedio de 550 kg., peso del canal de 350 kg., proveniente de Zacatecas, el corte utilizando fue falda (*Cutaneous trunci*).

La muestras de falda fueron cortadas en rectángulos de 15 x 20 x 2 cm y envasadas en bolsas de polietileno de alta densidad con cierre hermetico; la congelación se llevo a cabo en un túnel, la temperatura del medio fue de -25°C y velocidad de aire de 4.5 m/s.

Una vez congeladas las muestras se almacenaron en una cámara de congelación y/o en una cámara climática con control de humedad relativa y temperatura; las muestras congeladas se almacenaron a -18°C y las refrigeradas a 4°C con humead relativa de 80 %. la descongelación se llevó a cabo a 23 ± 2°C.

Estandarización del método de evaluación de exudado.

Se cortaron círculos de 50mm de diámetro de papel whatman No. 3, se pesaron en una balanza digital ± 0.0001g, con ayuda de una micropipeta (50 µL), se añadió agua gradualmente, registrándose los incrementos de peso en relación al agua agregada hasta máxima absorción, al momento que el agua no era retenida por el papel auxiliándose de un vidrio de reloj. La evaluación se llevó a cabo por quintuplicado, se llevó a cabo una comparación de las muestras con un nivel de confianza del 95 %, así como la relación peso/agua absorbida mediante una regresión lineal.

Jugo Exudado

Se evaluó, con modificaciones al "método de presión del papel de filtro" propuesto por Karmas y Turk, 1976 (Castro et al., 2007). Se utilizó papel filtro Watman No. 3 de 50 mm de diámetro, la compresión de la carne colocada entre dos papeles filtro se llevó a cabo con una fuerza constante de 10 kN/min, evaluando el incremento de peso por el líquido drenado. La cantidad de jugo drenado se llevó a cabo por interpolación de la función de correlación obtenida.

Propiedades mecánicas.

La falda de res se corto en cubos de 20 x 20 mm, las que se sometieron a compresión uniaxial de acuerdo con el diseño experimental propuesto, se utilizó un equipo INSTRON 4411, con celda de carga de 5 kN y pre-carga de 0.0154 kN. El ensayo se llevó a cabo aplicando una fuerza de 10 kN/min hasta el 10 % de compresión, para después aplicar una velocidad de 50 mm/min hasta el 80 % de compresión.
Los datos en relación a la fuerza máxima de compresión, modulo de elasticidad, energía total de compresión y tenacidad fueron obtenidas a través del software series IX de instron y analizados de acuerdo con el diseño experimental.

Diseño Experimental.
Para evaluar el efecto del proceso de congelación-descongelación-almacenamiento refrigerado, sobre las propiedades mecánicas y jugo exudado, se utilizó un diseño factorial general, tomando como variables importantes del proceso el tiempo de almacenamiento del producto congelado (0, 24 y 48h), el tiempo de descongelación (4, 18 y 24) a temperatura de refrigeración de 12°C, así como el tiempo de almacenamiento en descongelación que se consideró de 3, 6, 9 y 12 días, dicho almacenamiento se llevó a cabo a 5°C y humedad relativa del 80 %.

Análisis estadístico.
El % de variación de la capacidad de retención de agua en relación a la obtenida por absorción de agua en el papel filtro y la variabilidad con respecto al peso de agua se obtuvo mediante prueba t de comparación pareada, considerando un nivel de confianza de 95 % y tomando en consideración la igualdad de medias.

Los resultados fueron analizados utilizando como herramienta el software MINITAB 14, considerando un análisis general para modelo lineal, obteniéndose los resultados para el efecto de las variables independientes y sus interacciones con un nivel de confianza de ($p < 0.05$).

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Estandarización del método de papel filtro

Los 52 puntos de absorción de agua fueron desde 0.27 hasta 0.78 ml, cada 5 repeticiones fueron analizadas mediante una prueba de t-student con un nivel de confianza del 95 %; no encontrándose diferencia significativa con valores de p entre 0.815 – 0.99, por lo que los resultados fueron repetibles, el coeficiente de variación indica que los resultados fueron precisos ya que los coeficientes de variación oscilaron entre 2.63 a 5. 40 %.
Se realizó prueba de linealidad para la variación de peso del papel filtro en función a la absorción de agua, en la figura 1, se muestra la ecuación de correlación, en donde la relación entre las variables fue de 0.706 como lo indica la pendiente de la recta con una R^2-ajustada de 0.998, esta se utilizará para correlacionarla con la cantidad de agua exudada.

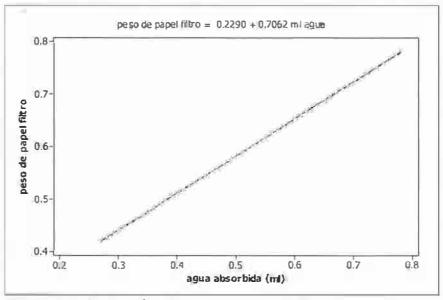


Figura 1: Relación de agua absorbida vs peso de agua
Exudado en carne congelada-descongelada.

Uno de los parámetros que reflejan el efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la carne fresca es la cantidad de agua exudada, ya que los cambios en propiedades mecánicas, terneza, color y cocción, son el reflejo del comportamiento de esta. Los resultados obtenidos del peso de los papeles filtros, fueron interpolados en función a la ecuación de regresión obtenida y mostrada en la figura 1 para obtener los ml de jugo exudado.

Del análisis de varianza realizado en MINITAB 14. se estableció que para un modelo lineal (α=0.05). El valor de p todas las variables y sus interacciones tienen un efecto significativo sobre la cantidad de jugo exudado por la falda de res ($p< 0.05$), sin embargo tomando en consideración el porcentaje de contribución de las variables, es el tiempo de descongelación la variable de mayor influencia (49.16 %), seguida de la interacción entre las tres variables estudiadas (15.04%), atribuible a la modificación del tamaño de cristal durante el almacenamiento, ya que la temperatura durante la congelación fue de -24.7°C en el centro térmico, mientras que las condiciones de almacenamiento fueron de -18°C, lo que implica que existe fusión de cristales de hielo, lo que provoca modificaciones a nivel celular e implican cambios estructurales asociados a la pérdida de agua durante la descongelación.

En cuanto a los factores estudiados, en el almacenamiento congelado hay un disminución en el jugo exudado a las 24 horas, es durante este periodo que las muestras de falda sufren modificaciones por la fusión de algunos de los cristales de hielo formados, por efecto del aumento de la temperatura de -25°C, a -18°C, diferencia entre el proceso de congelación y almacenamiento congelado. Después de transcurridas 48 h de almacenamiento congelado, se tiene una disminución del jugo exudado de 7.03 % con respecto a la muestra recién congelada, lo que implica que a las condiciones de almacenamiento, existieron modificaciones estructurales en cuando al agua libre. También se muestra el comportamiento del agua exudada por efecto del tiempo de descongelación de la falda de res, disminuyendo este efecto en las muestras descongeladas durante 18 h y aumentando en 75.23 % el agua exudada a las 24 h de descongelación.

En la Figura 2, se muestra el gráfico de interacción entre el almacenamiento congelado y el tiempo de descongelación, la interacción muestra que la falda congelada y almacenada durante 48 h en esta condición aumenta hasta 7.11 % el jugo exudado, en el caso del almacenamiento a 0 y 24 h y un tiempo de descongelación de 18 h se tiene un menor exudado 1.12 %. En este sentido Ngapo y col (1999), establecieron para carne de cerdo almacenada hasta por 12 meses pérdida de jugo entre 9.5 y 14.26 %, atribuyendo los cambios, únicamente a las condiciones de congelación y formación de cristal. Joo y col., (1999), también evaluaron el cambio en el jugo exudado por efecto de la variación en el contenido del sarcoplasma, atribuyéndole a esto las variaciones, que fueron entre 4.5 y 10 %. En este caso, es atribuible a los cambios que sufre la carne posterior a la congelación entre las que influye el tiempo que permanece en descongelación el producto, previo al almacenamiento refrigerado.

Propiedades mecánicas en carne descongelada

Durante el almacenamiento congelado y refrigerado, la carne sufre cambios por efecto de la movilidad de agua. En este estudio, la variación de propiedades mecánicas se analizó de acuerdo con el diseño factorial, al igual que en el jugo exudado, todas las variables y sus interacciones tuvieron un efecto significativo sobre la respuesta ($p<0.05$), considerando el % de contribución de las variables y a diferencia del exudado, la variable con mayor contribución a la respuesta fue el tiempo de almacenamiento refrigerado con un 49.3 %, lo que implica que el proceso de endurecimiento del material se da después de la descongelación del material, aunque cabe mencionar que la interacción entre el tiempo de alma cenamiento congelado y

refrigerado contribuyo con 26%. La congelación y la forma de almacenamiento congelado contribuyen a la pérdida de jugo exudado, durante la descongelación

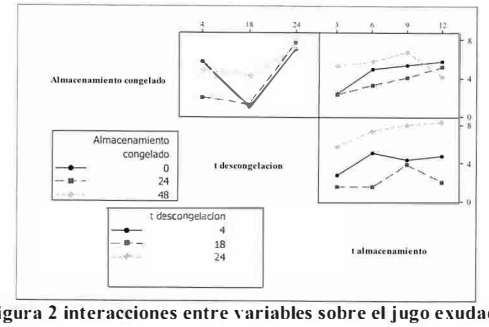


Figura 2 interacciones entre variables sobre el jugo exudado

En la Figura 3, se muestra el efecto de las variables sobre la carga máxima (N), que representa la compresión máxima del material, en está se observa que las mínimas carga se presenta para las muestras recién congeladas y descongeladas por 4 horas a temperatura ambiente con una carga máxima de 14.53 N, incrementándose esta en función al tiempo de almacenamiento, en un 53 % (22.24 N/g) a los 6 días, 297 % (57.74 N/g) a los 9 días y 464 % (81.95 N/g) a los 12 días de almacenamiento, lo que implica un incremento considerable en la resistencia al aplastamiento de la falda de res. La fuerza de compresión disminuye conforme se incrementa el tiempo de descongelación y almacenamiento, presentándose la menor dureza para las muestras almacenadas en congelación por 24 h, descongeladas por 24 h y almacenada 12 días en refrigeración con un valor de 41.16 N/g.

En este sentido y con el fin de contrastar las magnitudes de fuerza obtenidas, Zochowska-Kujawska (2007), realizaron un estudio para evaluar el efecto del masajeo de diferentes músculos sobre la dureza y otras propiedades reológicas, reportando dureza para la carne de entre 33 y 38 N en relación a un peso de la canal de 20Kg y de entre 30 y 58 N para las canales de 50 kg, estos valores se aproximan a los obtenidos en función al peso de falda de res empleada para el ensayo, en este trabajo se resalta la importancia del almacenamiento congelado y refrigerado.

El modulo representa la resistencia la compresión que opone un material, este depende de las características del mismo y de las modificaciones que sufre dadas las condiciones de proceso y/o almacenamiento. Las variables tuvieron un efecto significativo con valores de $p < 0.05$, la variable con mayor influencia fue el tiempo de almacenamiento congelado con un 29.5 %, seguida del almacenamiento refrigerado con un 12.3 %, por lo que las perdida de elasticidad del material por compresión se ven afectadas por las condiciones que guardan. En la Figura 4, se muestran los resultados para el modulo considerando la influencia de las otras variables. Los valores van desde 0.72 MPa a los 3 días de refrigeración, 18 h de descongelación y 24 h después de congelada y hasta 13.16 MPa, para las muestras almacenadas 6 días en refrigeración descongeladas por 4 h y almacenadas en congelación por 48 h, cabe mencionar que este último corresponde a su vez a la muestra con mayor dureza. Además el modulo muestra un comportamiento que no es posible atribuir al cambio en la fuerza de compresión, sino más bien se puede inferir que tiene que ver con los cambios que presentan las fibras debido a las pérdidas de jugosidad durante el almacenamiento.

CONCLUSIONES

En el jugo exudado la variable con mayor influencia fue el tiempo de descongelación y la interacción de este con el almacenamiento congelado.

La mayor cantidad de jugo exudado se presentó a las 24 h de descongelación con un máximo de 7.71 %, siendo a esta condición independiente del tiempo de descongelación.

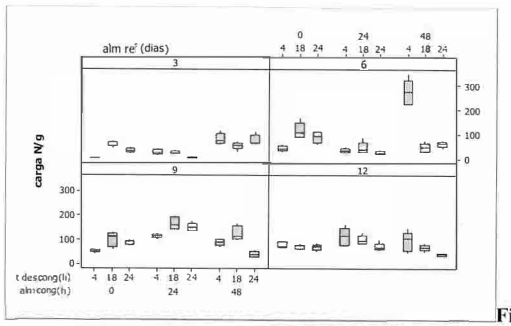


Figura 3: Efecto de las variables sobre carga máxima.

La descongelación por 18 h en interacción con el tiempo de almacenamiento refrigerado tiene una mayor influencia sobre la dureza de la carne.

El modulo de compresión, muestra las pérdidas relacionadas con la jugosidad, aunque no muestra una relación directa con la carga máxima obtenida.

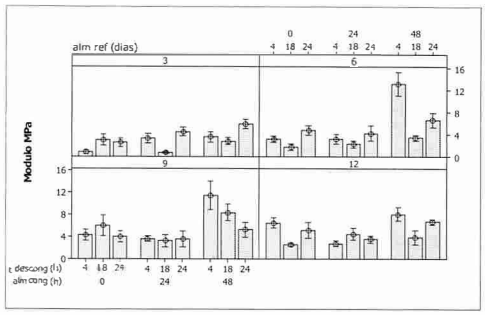


Figura 4. Variación del Modulo de compresión

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico, de la Universidad Nacional Autónoma de México por el apoyo financiero a través del proyecto PAPIIT No. IN204506-2

REFERENCIAS

Ngapo T.M. , Babare I.H, Reynolds J., Mawson R.F. (1999). "A preliminary investigation of the effects of frozen storage on samples of pork" Meat Science 53 169-177.

Boles J.A. & Shand P.J. (1999). "Effects of raw binder system, meat cut and prior freezing on restructured beef" Meat Science 53 233-239.

Sanz P.D., Elvira C., Martino M., Zaritzky N., Otero L., & Carrasco J.A. (1999). "Freezing rate simulation as an aid to reducing crystallization damage in foods" Meat Science 52 275-278.

Shi X., Datta A. K., & Mukherjee S. (1999), "Thermal fracture in a biomaterial During rapid freezing" J. Thermal Stresses, 22:275-292.

Castro de Cabo Manuel José, Carlos Isaac Sánchez González, Mª Dolores García Cachán, Ángel Garzón Cuadrado, Inmaculada González Martín. 2007. La Capacidad de Retención de Agua de la carne de reses de Lidia. Web del Symposium del Toro de Lidia. Zafra.

Joo S.T., Kauffman R.G., Kim B.C., & Park G.B. (1999) The relationship of sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility to colour and water-holding capacity in porcine longissimus muscle. Meat Science 52 291 297.

Zochowska-Kujawska J., Lachowicz K., Sobczak M., Gajowiecki L., Kotowicz M., Zych A., and Medrala D. (2007) "Effects of massaging on hardness, rheological properties, and structure of four wild boar muscles of different fibre type content and age" Meat Science 75 595–602.

INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE PROCESAMIENTO Y ALMACENAMIENTO SOBRE EL CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO Y LA ACIDEZ TITULABLE DEL JUGO DE LIMÓN CONGELADO

Mujica, María Virginia [1*], Uris, Karina[2] y Luzardo, Marisela[2]

[1] Departamento de Procesos Agroindustriales. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto 3001, Venezuela. e-mail: mvmujica@ucla.edu.ve, mariamujica78@yahoo.es

[2] Departamento de Ingeniería Química. Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre". Barquisimeto 3001, Venezuela.

Palabras Claves: Tiempos de vida útil y procesos de deterioro, jugo de limón, congelado, almacenamiento, ácido ascórbico.

RESUMEN

La tendencia creciente hacia el consumo de alimentos procesados "listos para consumir" plantea la necesidad de estudiar el efecto de las condiciones de procesamiento y almacenamiento sobre el mantenimiento de la calidad de este tipo de productos. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la adición de azúcar y metabisulfito de sodio sobre la acidez titulable y el contenido de ácido ascórbico del jugo de limón congelado. También se analizó el efecto de la exposición a la luz durante el almacenamiento (por seis semanas). La menor pérdida de ácido ascórbico (46,4% en total, 40% durante la primera semana y 6,4% en las 5 semanas restantes) ocurrió en las muestras con azúcar y metabisulfito de sodio protegidas de la luz, y las condiciones ensayadas no tuvieron un efecto significativo sobre la variación de la acidez titulable durante el almacenamiento.

INTRODUCCIÓN

Los jugos de frutas procesados (concentrados, pasteurizados, entre otros) han tenido un gran auge en la actualidad, ya que ahorran tiempo en su preparación y están disponibles durante todo el año. En especial, los jugos de frutas cítricas son muy valorados por sus propiedades organolépticas, nutricionales y antioxidantes (Del Caro y col., 2004).

El limón es una de las frutas cítricas más populares y con un importante contenido de ácido ascórbico, sin embargo, su industrialización y comercialización en Venezuela ha sido bastante escasa, lo que representa una oportunidad de crecimiento en el mercado de bebidas no alcohólicas.

Las propiedades físicas y químicas y por ende la calidad de los jugos de frutas comerciales se ven afectadas por distintos elementos, desde la selección de la materia prima hasta las condiciones de almacenamiento. En los jugos de frutas cítricas, el ácido ascórbico representa uno de los componentes más sensibles a las condiciones de proceso y de almacenamiento, (Versari y col., 2004), su degradación afecta las características sensoriales (flavor y color) del producto, y por lo tanto limita su vida útil. Lee y Nagy (1988) afirman que la degradación del ácido ascórbico es la principal reacción de deterioro en los jugos cítricos almacenados.

Con el objeto de estudiar la influencia del procesamiento y de las condiciones de almacenamiento sobre las propiedades físicas y químicas del jugo de limón, la presente investigación se planteó evaluar el efecto de la adición de azúcar y de un aditivo (metabisulfito de sodio, $Na_2S_2O_5$) sobre la acidez titulable y el contenido de ácido ascórbico del jugo de limón congelado. También se analizó el efecto de la exposición a la luz durante el almacenamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Proceso de extracción

La materia prima utilizada fue una variedad híbrida entre limón Tahití y mandarina Cleopatra. El jugo se extrajo en un exprimidor manual de acero inoxidable. La concentración de azúcar en todas las muestras fue de 900 g/L, y la de metabisulfito de sodio, en las muestras que lo requerían, fue de 200 ppm. En la Figura 1 se indica el esquema experimental para la preparación de las muestras con los diferentes tratamientos. El jugo se almacenó en bolsas de polietileno, algunas de las cuales se recubrieron con papel de aluminio para estudiar el efecto de la luz. Luego se congelaron a -25°C.

Caracterización física y química del jugo fresco: Todos los análisis se realizaron por triplicado.

Acidez titulable: se empleo el método de la norma COVENIN 1151-77. **pH**: se midió siguiendo las indicaciones de la norma COVENIN 1315-79. **Acido Ascórbico (AA)**: se utilizó un método espectrofotométrico, basado en el compuesto 4-metoxi-2-nitroanilina, según las indicaciones de la norma COVENIN 1295-82. **Sólidos en suspensión**: método según la norma COVENIN 1343-78. **Sólidos solubles totales (SST)**: método según la norma COVENIN 924-83. **Sólidos totales**: método de la AOAC (1990).

Análisis del jugo durante el almacenamiento

Semanalmente y por un lapso de seis semanas (a excepción de la semana 5) se les determinó la acidez titulable y concentración de ácido ascórbico a las muestras de los diferentes tratamientos, siguiendo los métodos ya indicados.

Análisis Estadístico: En la caracterización del jugo fresco los resultados se expresaron como la media de tres determinaciones, y se indicó su desviación estándar. En la evaluación del efecto de los tratamientos sobre el AA y la acidez titulable se realizó un ANOVA (α=0,05), y en los casos en los que se detectaron diferencias significativas se aplico la prueba de rango múltiple de Duncan para la comparación de medias.

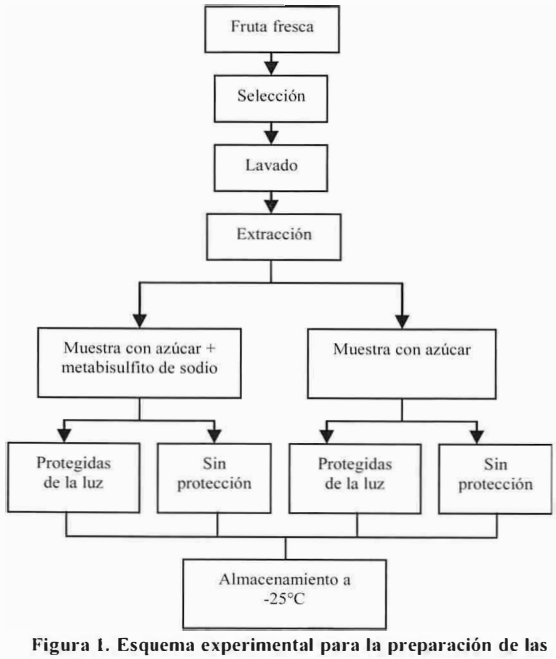


Figura 1. Esquema experimental para la preparación de las muestras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización física y química del jugo fresco:

La acidez del jugo de limón analizado resultó elevada si se le compara con algunos datos reportados en la bibliografía, 5,68 y 4,03 g ácido cítrico/100 mL (Álvarez y col., 2005; Moufida y Marzouk, 2003), y semejante a lo indicado por Marin y col. (2002), 7,7 g ácido cítrico/100mL. La norma CODEX STAN 47 (1981) para zumo de limón establece que la acidez titulable y los SST no deben ser inferiores a 4,5% y 6 ° Brix, respectivamente; por lo que el jugo analizado (Tabla I) cumplió con estos requisitos.

Tabla I. Propiedades del jugo de limón fresco

Ácido ascórbico (mg/100mL)	28,42 ± 0,01
Acidez titulable (g ácido cítrico/100mL)	7,57 ± 0,28
pH	2,46 ± 0,01
Sólidos en suspensión (%v/v)	11 ± 1
Sólidos solubles totales (°Brix)	12,08 ± 0,07
Sólidos totales (g/ 100mL)	9,72 ± 0,19

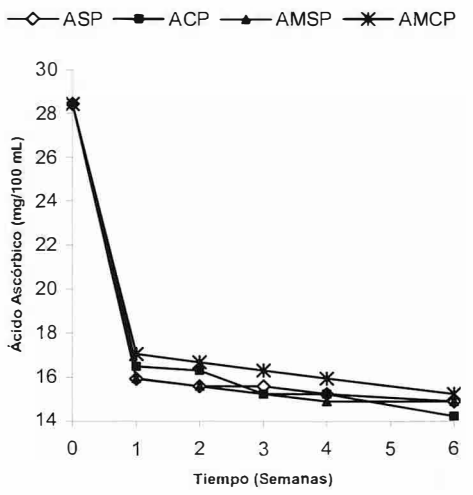


Figura 2. Cambio en el contenido de AA en función del tiempo de almacenamiento para los distintos tratamientos. ASP: con azúcar y sin protección de la luz. ACP: con azúcar y protegidas de la luz. AMSP: con azúcar y metabisulfito, sin protección de la luz. AMCP: con azúcar y metabisulfito, con protección de la luz.

En cuanto al AA, Pires y col. (2006) reportaron concentraciones en jugo de naranja, limón, mandarina y parchita, iguales a 25,9; 34,5; 38,7 y 26,5; respectivamente. Güçlü y col. (2005) determinaron una concentración de AA igual a 20,7 mg/100mL en jugo de limón, utilizando HPLC, mientras que Álvarez y col. (2005) reportaron un contenido de 48,6 mg/mL en jugo de limón de Tucuman (Argentina).

Cambios en el contenido de AA y la acidez titulable durante el almacenamiento:

En la Figura 2 se observa que para todos los tratamientos el contenido de AA tuvo una disminución significativa ($p< 0,05$) en la semana 1, y luego disminuyó más lentamente, lo cual pudo deberse al efecto del procesamiento (mezclado con el azúcar/metabisulfito y envasado) y al tiempo necesario para que las muestras se congelaran completamente (5 días aproximadamente). Una vez congeladas, la temperatura de las muestras debió equilibrarse con la del medio de congelación. Herman (1977) asegura que la pérdida de AA aumenta rápidamente cuando la temperatura de almacenamiento es superior a -18°C, y a mayor temperatura mayor es la degradación del AA.

Al-Zubaidy y Khalil (2007) reportaron un patrón similar en la degradación de AA en jugos de frutas cítricas. Burdurlu y col. (2006) afirman que la oxidación del AA ocurre principalmente durante el procesamiento del jugo, mientras que la degradación anaeróbica se da durante el almacenamiento.

La menor pérdida de AA ocurrió en las muestras con azúcar y metabisulfito de sodio protegidas de la luz (46,4% en total, 40% durante la primera semana y 6,4% en las 5 semanas restantes), lo cual se explica por el efecto antioxidante del metabisulfito (Warner y col., 2000), y por la ausencia de radiaciones electromagnéticas que degradasen el AA.

Con respecto a la acidez titulable (Figura 3) no hubo diferencias significativas ($p>0,05$) entre los jugos sometidos a diferentes tratamientos, de manera que el comportamiento a lo largo del tiempo de almacenamiento fue el mismo, lo que evidencia que los tratamientos ensayados (combinaciones de azúcar, metabisulfito y presencia de luz) no tuvieron ningún efecto sobre esta variable. La acidez titulable se mantuvo constante durante el almacenamiento (con variaciones no significativas, $p>0,05$).

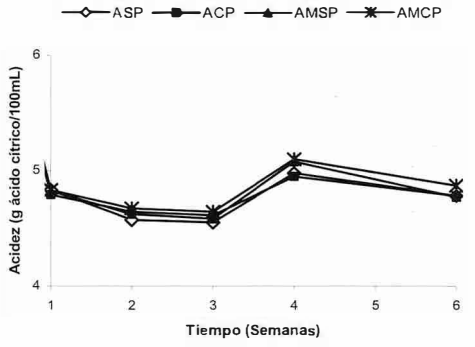


Figura 3. Cambio en la acidez titulable en función del tiempo de almacenamiento para los distintos tratamientos. ASP: con azúcar y sin protección de la luz. ACP: con azúcar y protegidas de la luz. AMSP: con azúcar y metabisulfito, sin protección de la luz. AMCP: con azúcar y metabisulfito, con protección de la luz.

Esteve y col. (2005) estudiaron el efecto del tiempo de almacenamiento sobre la acidez titulable de cuatro muestras comerciales de jugo de naranja, encontrando que en una de las muestras la acidez titulable se mantuvo constante durante el almacenamiento (6 semanas), en otra tuvo un comportamiento irregular, y en las otras dos se incremento en las semanas 2 y 4, manteniendo esa tendencia hasta la semana 6.

CONCLUSIONES

Se concluye que durante el procesamiento y almacenamiento del jugo de limón congelado existe una pérdida considerable del contenido de AA (principalmente durante la primera semana), siendo menos severa en el jugo con azúcar y metabisulfito de sodio, protegido de la luz.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-Alvarez A, Jorrat S y Genta M. 2005. Caracterización físico-química de jugo de limón de Tucumán. RIA 34 (2): 49-56. INTA, Argentina.
-Al-Zubaidy M and Khalil R. 2007. Kinetic and prediction studies of ascorbic acid degradation in normal and concentrate local lemon juice during storage. Food Chemistry 101: 254–259.
-AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of the AOAC. 15th Ed. Washington. pp 1010-1033.
-Burdulu H, Koca N and Karadeniz F. 2006. Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage. Journal of Food Engineering 74: 211–216.
-CODEX Alimentarius. 1981. CODEX STAN 47. FAO/OMS.
-COVENIN. 1977. Norma 1151-77. Fondonorma. Venezuela.
-COVENIN.1978. Norma 1343-78. Fondonorma. Venezuela.
-COVENIN. 1979. Norma 1315-79. Fondonorma. Venezuela.
-COVENIN. 1982. Norma 1295-82. Fondonorma. Venezuela.
-COVENIN 1983. Norma 924-83. Fondonorma. Venezuela.
-Del Caro A, Piga A, Vacca V and Agabbio M. 2004. Changes of flavonoids, vitamin C and antioxidant capacity in minimally processed citrus segments and juices during storage. Food Chemistry 84: 99–105.
-Esteve M, Frigola A, Rodrigo C and Rodrigo D. 2005. Effect of storage period under variable conditions on the chemical and physical composition and colour of Spanish refrigerated orange juices. Food and Chemical Toxicology 43: 1413–1422.
-Güçlü K, Sösgen K, Tüten E, Öziürek M and Apak A. 2005. Spectrophotometric determination of ascorbic acid using copper(II)–neocuproine reagent in beverages and pharmaceuticals. Talanta 65: 1226–1232.
-Herrman K. 1977. Alimentos Congelados: Técnologia y Comercialización. Editorial Acribia. España.
-Lee H and Nagy S. 1988. Quality changes and nonenzymatic browning intermediate in grapefruit juice during storage. Journal of Food Science 53: 168–172.
-Marín F, Martinez M, Uribesalgo T, Castillo M and Frutos M. 2002. Changes in nutraceutical composition of lemon juices according to different industrial extraction systems. Food Chemistry 78:319-324.
-Moufida S and Marzouk B. 2003. Biochemical characterization of blood orange, sweet orange, lemon, bergamot and bitter orange. Phytochemistry 62: 1283–1289.
-Pires C, Lavorante A, Marconi M, Meneses S and Zagatto E. 2006. A multi-pumping flow system for chemiluminometric determination of ascorbic acid in powdered materials for preparation of fruit juices. Microchemical Journal 83: 70–74.
-Versari A, Mattioli A, Parpinello G and Galassi S. 2004. Rapid analysis of ascorbic and isoascorbic acids in fruit juice by capillary electrophoresis. Food Control 15: 355–358.
-Warner C, Diachenko G and Bailey C. 2000. Sulfites: an important food safety issue. Food Testing & Analysis, August/September.

INFLUENCIA DEL PRETRATAMIENTO EN LA EVOLUCIÓN DEL COLOR DE CAQUI (*Diospyros kaki*) DESHIDRATADO

Cárcel, J. A., García-Pérez, J. V., Clemente, G. y Mulet, A.

Grupo ASPA, Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera, s/n, Valencia, España; jcarcel@tal.upv.es, jogarpe4@tal.upv.es, gclemen@tal.upv.es, amulet@tal.upv.es.

Palabras clave: Tiempos de vida útil y procesos de deterioro, sulfitado, temperatura almacenamiento, tiempo almacenamiento.

RESUMEN

La calidad de los productos deshidratados evoluciona durante su almacenamiento por lo que resulta de gran interés estudiar métodos para preservarla. En este trabajo se estudió la influencia del pretramiento con metabisulfito potásico en la evolución del color de muestras de caqui deshidratadas. Se utilizaron 3 lotes de muestras, uno de ellos sin ningún tipo de pretratamiento y los otros dos sumergiendo las muestras durante 15 y 35 minutos respectivamente en un baño con una concentración del 3 % de metabisulfito potásico a 40 ºC. Una vez secadas, las muestras se almacenaron a 2 y 18 ºC para estudiar también la influencia de la temperatura de almacenamiento. El color de las muestras se determinó a diferentes tiempos de almacenamiento utilizando el espacio CIELab. Ambos factores, pretratamiento y temperatura de almacenamiento resultaron significativos en la evolución del color. Así, el pretratamiento con metabisulfito preservó el color de las muestras durante el almacenamiento. Las muestras con mayor contenido de SO_2 presentaron un menor cambio color respecto al inicial. En cuanto a la temperatura de almacenamiento, las muestras mantenidas a 2 ºC sufrieron un cambio de color significativamente inferior que las almacenadas a 18 ºC.

INTRODUCCIÓN

El secado convectivo con aire caliente es un método tradicional de preservación de productos agroalimentarios. Sin embargo, el mismo proceso de secado afecta a ciertos aspectos relacionados con la calidad del producto como por ejemplo el color (Krokida et al. 2001). Además, el secado sólo consigue retardar algunas reacciones de deterioro sin llegar a detenerlas por completo. Es el caso de los procesos de pardeamiento, tanto enzimáticos como no enzimáticos (Miranda, 2003). El uso de temperaturas de almacenamiento relativamente bajas puede ayudar a ralentizar estas reacciones. Sin embargo, dado que la refrigeración puede suponer un consumo energético importante, resulta necesario realizar un estudio de las condiciones de almacenamiento más adecuadas (Rosselló et al. 1994).

Otra forma de retrasar el deterioro de los productos deshidratados es utilizar pretratamientos previos al secado, tanto físicos como químicos. Uno de los pretramientos químicos más antiguos es el uso de compuestos azufrados. El sulfitado permite preservar características de calidad de productos deshidratados como el color, la textura y el sabor (Rosselló et al., 1994). Sin embargo, la legislación es restrictiva en cuanto a las concentraciones de sulfitos en alimentos ya que se ha demostrado su efecto negativo sobre ciertos grupos de población. Por lo tanto, es necesario optimizar la cantidad de SO_2 en productos para que produzca los efectos beneficiosos sobre la calidad del producto y evitar sus posibles daños sobre la población.

El cultivo del caqui ha sufrido un crecimiento importante en los últimos años en la Comunidad Valenciana, España, gracias a la productividad y calidad de la variedad "Rojo brillante" (Giordani, 2003). Una posible solución al elevado porcentaje de producto que es considerado como destrío (≈ 30 % de la fruta que entra en almacén) es el secado en porciones en secaderos convectivos. Sin embargo, para conseguir un producto de calidad es necesario realizar estudios no sólo del proceso de secado (Cárcel, et al., 2006; Cárcel et al., 2007) sino de la evolución del producto durante el almacenamiento.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la influencia del uso del sulfitado y la temperatura de almacenamiento sobre el color de rodajas de caqui deshidratado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de la materia prima

Para las experiencias se utilizó caqui fresco de la variedad "Rojo Brillante" procedente de Carlet (Valencia, España). Las piezas de fruta seleccionadas presentaron un color uniforme y una dureza similar (2,5-2,3 kg) determinada con un penetrómetro (Bishop, model FT327) provisto de una sonda de 8 mm de diámetro.

Los caquis fueron cortados en láminas de 1 cm de espesor con un equipo comercial. Las láminas se obtuvieron perpedicularmente al eje del caqui. Sólo se consideraron las láminas centrales desechando las de los extremos. De esta manera se obtuvieron unas 2-3 láminas de cada pieza.

Pretratamientos aplicados y secado de las muestras

Las láminas se dividieron en 3 lotes. Uno de ellos se utilizó como control con lo que no se le aplicó ningún pretratamiento (**F**). Los otros dos lotes se sumergieron en un baño con metabisulfito potásico al 3 % a 40 ºC durante 15 (**S-15**) y 35 (**S-35**) minutos respectivamente (Miranda, 2003). Posteriormente se extrajeron del baño y se secaron superficialmente. Todas las muestras de los tres lotes se envolvieron en film plástico y se mantuvieron en refrigeración (2±0.5 ºC) hasta el momento de realizar el secado.

El secado se llevó a cabo en un secadero piloto de bandejas aplicando una velocidad de aire de 1 m/s y una temperatura de 50 ºC hasta que cuando las muestras experimentaron una pérdida de peso del 82 %. Este nivel de secado se fijó mediante experiencias previas y aseguró la estabilidad las muestras ya que, en esas condiciones, la actividad de agua se encuentra en torno a 0.75.

Una vez secas, se determinó el contenido de SO_2 de las muestras de los lotes **S-15** y **S-35** mediante el método descrito por DeVries et al. (1986). El contenido medio de SO_2 de las muestras del lote **S-15** fue de 2735±118 mg/L y el de las muestras **S-35** de 4908±171 mmg/L.

Las muestras secas se marcaron individualmente y se envasaron en recipientes de vidrio cerrados herméticamente para asegurar la estanqueidad del contenido. En cada recipiente se colocaron 5 láminas, cada una de ellas de una pieza de fruta diferente. Se utilizaron dos temperaturas de almacenamiento diferentes: 2 y 18 ºC. Estas temperaturas se escogieron por simular dos condiciones de almacenamiento muy distintas: almacenamiento refrigerado y almacenamiento a temperatura ambiente.

Medidas de color

Previamente a la realización de las medidas de color, se extrajeron las muestras de las cámaras de almacenamiento y se mantuvieron un mínimo de 2 horas a la temperatura del laboratorio (21±1 °C). De esta manera, se evitó una posible influencia de la temperatura de medida en las determinaciones de color obtenidas. Dichas medidas se realizaron con un colorímetro Minolta (modelo CM-508i) con un observador estándar CIE 10° y un iluminante D65. Se determinaron los parámetros **L**, **a** y **b** del espacio CIELab. Para evaluar de una manera general el cambio de color de las muestras durante el almacenamiento se utilizó la diferencia de color (**ΔE**) definida como indica la Ecuación 1. Como color de referencia se utilizó el de la propia muestra en el momento de comenzar el almacenamiento (subíndice 0).

$$\Delta E = \sqrt{(L_0 - L_t)^2 + (a_0 - a_t)^2 + (b_0 - b_t)^2} \qquad \text{Ec. 1}$$

Las medias de color se realizaron en diferentes instantes durante el periodo de almacenamiento (subíndice t): 2, 34, 65, 124, 189, 246 y 411 días. Cada medida se realizó por triplicado y de cada una de las muestras se tomaron medidas en 4 zonas fijas. De esta manera, se puede realizar el seguimiento de la evolución del color con el tiempo de almacenamiento en cada una de estas zonas. Se dispuso, para cada tiempo de almacenamiento y para cada pretratamiento, de un total de 20 medidas de color (4 medidas por lámina x 5 láminas por pretratamiento). La media de todas estas determinaciones se utilizó para representar la evolución del color en cada una de las condiciones ensayadas.

Significación estadística

Para comprobar la significación de las diferencias que pudieran aparecer entre los pretratamientos aplicados o las temperaturas de almacenamiento, se realizaron análisis multifactoriales de la varianza con ayuda del paquete informático Statgraphics 5.0. En estos análisis se consideraron como variables dependientes, los parámetros de color determinados experimentalmente, y como factores, los pretratamientos realizados (3 niveles: **F**, **S-15** y **S-35**), las temperaturas de almacenamiento (2 niveles: 2 y 18 °C) y los tiempos de almacenamiento (7 niveles: 2, 34, 65, 124, 189, 246 y 411 días). De la misma manera, también se calcularon intervalos LSD (Least Significant Differences) ($p<0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la simple visualización de las muestras se observó que todas las muestras experimentaron un oscurecimiento, más o menos acusado, durante el periodo de almacenamiento estudiado. Igualmente se apreció que tanto, la temperatura de almacenamiento como los pretratamientos que recibieron las muestras antes del secado, influyeron en la evolución del color durante el almacenamiento.

La significación de las diferencias en el color de las muestras en función los factores estudiados, se determinó a partir del estudio estadístico de las determinaciones objetivas realizadas (**L**, **a**, **b** y **ΔE**).

Tiempo de almacenamiento

El análisis de la varianza multifactorial de cada una de las variables dependientes consideradas (**L**, **a**, **b**, y **ΔE**) indicó que el factor *tiempo de almacenamiento* resulto significativo (95 %). La determinación de los intervalos LSD ($p<0.05$) considerando el factor *tiempo de almacenamiento* permitió identificar la significación de las diferencias entre los tiempos considerados. El valor de los parámetros **L**, **a** y **b**, disminuyó, aunque de manera diferente, durante el almacenamiento (**Figura 1**). El valor medio de **L** se redujo de manera más acusada durante los 65 primeros días de almacenamiento permaneciendo posteriormente más o menos constante en torno a un valor.

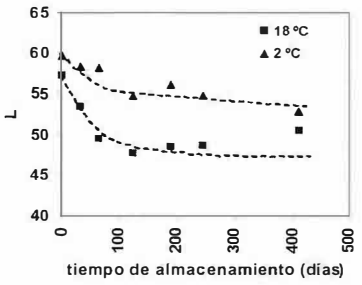


Figura 1. Evolución de los valores medios de L y a de muestras F, almacenadas a 2 y 18 °C.

Por el contrario, los valores medios de **a** (**Figura 2**) permanecieron constantes durante los 34 primeros días de almacenamiento. A partir de ese momento, ambos parámetro experimentaron un descenso significativo y continuado durante todo el periodo de tiempo estudiado. La evolución del parámetro **b** fue similar.

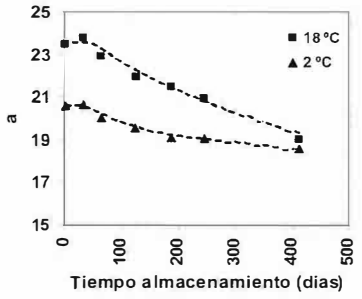


Figura 2. Evolución de los valores medios de a de muestras S-35, almacenadas a 2 y 18 °C.

En cuanto a la evolución general media del color, se observó un incremento asintótico de **ΔE** durante todo el periodo de almacenamiento (**Figura 3**). Los cambios de color fueron mucho más acusados en los primeros días de almacenamiento tendiendo después a alcanzar un valor constante. Estos resultados ilustran objetivamente el oscurecimiento general de las muestras durante dicho periodo de almacenamiento.

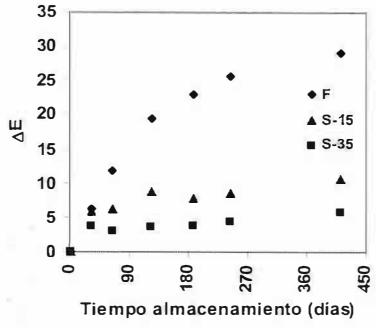


Figura 3. Evolución de los valores medios de ΔE de muestras F, S-15 y S-35, almacenadas a 18 °C.

Pretratamiento de las muestras

El factor *Pretratamiento* también resultó significativo ($p<0.05$) en la variabilidad de **L**, **a**, **b** y **ΔE**. A partir de la determinación de los intervalos LSD ($p<0.05$) se encontró que los parámetros **L**, **a** y **b** resultaron significativamente inferiores en las muestras de caqui deshidratadas sin ningún pretratamiento (**F**) respecto a las tratadas con metabisulfito potásico (**S-15** y **S35**). En éstas últimas, las diferencias de los valores de **a** y **b** no resultaron significativamente diferentes ($p<0.05$). Sin embargo, en el caso de **L**, el valor medio de las muestras **S-15** resultó significativamente superior al observado en las muestras **S-35**. Por lo tanto, el contenido de SO_2 de las muestras sí que afecto al valor medio de la luminosidad.

En cuanto al cambio general de color de las muestras, **ΔE**, el factor *Pretratamiento* resultó significativo ($p<0.05$). Las muestras **F** son las que experimentaron un mayor cambio de color. Dichos cambios resultaron significativamente inferiores a los observados en las muestras **S-15** y más aún en las **S-35**.

Por lo tanto, esto indica, por una parte, que el SO_2 resultó ser un buen agente para preservar el color del caqui deshidratado, lo cual era de esperar por su conocida acción en otras frutas deshidratadas (Miranda, 2003). Y por otra parte, el efecto conservante fue más efectivo cuanto mayor fue su concentración en las de las muestras.

Temperatura de almacenamiento

El tercero de los factores considerados, la *Temperatura de almacenamiento*, también resultó significativo ($p<0.05$). A partir de la determinación de los intervalos LSD se observó que los valores medios de **L**, **a** y **b** de las muestras almacenadas a 2 ºC fueron significativamente superiores a los determinados a 18 ºC.

Respecto al cambio medio de color de las muestras, **ΔE** resultó significativamente inferior ($p<0.05$) en las muestras almacenadas a 2 ºC respecto a las almacenadas a 18 ºC. Por lo tanto, temperaturas más bajas de almacenamiento ralentizarían las reacciones de degradación de color.

Interacciones entre factores

Según los análisis multifactoriales de la varianza realizados, no resultó significativa la interacción doble *Temperatura de almacenamiento* x *Tiempo de almacenamiento* para el caso del parámetro **L**. A partir de la determinación de los intervalos LSD se observó que las diferencias entre las muestras almacenadas a 2 y 18 ºC no fueron significativas al inicio y al final del periodo de almacenamiento estudiado. Todas las demás interacciones dobles entre los factores estudiados resultaron significativas.

En cuanto al **ΔE**, todas las interacciones dobles resultaron significativas al igual que la interacción triple *Tiempo de almacenamiento* x *Pretratamiento* x *Temperatura de almacenamiento* ($P<0.05$).

En la Figura 4 se muestra el valor medio de **ΔE** y los intervalos LSD ($p<0.05$) correspondientes a la interacción *Pretratamiento* x *Temperatura de almacenamiento*. Como se puede observar, aunque ninguno de los intervalos se solapan, las muestras **F** almacenadas a 2 ºC experimentaron un cambio de color próximo a las **S-15** almacenadas a 18 ºC. Esto indicaría que la refrigeración podría ser un método interesante para mantener el color de las muestras sin necesidad de añadir SO_2 y, evitar de esta manera, los inconvenientes que para la salud de algunas personas ocasiona el mismo. Sin embargo, las condiciones que mejor mantuvieron el color de las muestras una vez deshidratadas fueron: temperatura de almacenamiento más baja (2 ºC) y mayor contenido en SO_2 (pretratamiento **S-35**). Evidentemente, cuanto menor sea el tiempo de almacenamiento, menor serán los cambios de color experimentados.

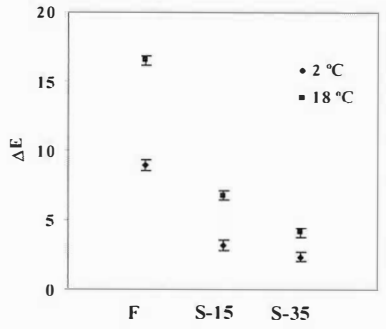


Figura 4. Representación de los valores medios de ΔE y los intervalos LSD ($p<0.05$) correspondientes a la interacción *Pretratamiento* x *Temperatura de almacenamiento*.

CONCLUSIONES

Las muestras de caqui deshidratado con aire caliente sufrieron un cambio de color con el tiempo de almacenamiento. La evolución del color dependió de la temperatura de almacenamiento. Los parámetros de color medidos en las muestras almacenadas a 2 ºC estuvieron más próximos a los iniciales que los de las muestras almacenadas a 18 ºC. El tratamiento de las muestras con metabisulfito potásico limitó los cambios de color de las muestras. Un mayor contenido de SO_2 mantuvo mejor el color de las muestras secas

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación recibida para la realización de este trabajo del Ministerio de Educación y Ciencia de España a través de los proyectos de investigación AGL2005-08093-C02-01/ALI y AGL2001-2774-CO5-01.

BIBLIOGRAFÍA

-Carcel, J. A., Clemente, G., García-Pérez, J. V., Ricarte, B., y Mulet, A. 2006. Study of the influence o fair velocity on the drying of persimmon using a diffusion model. 15th International Drying Symposium (IDS 2006) Budapest, Hungría, 20-23 Agosto 2006.

-Cárcel, J. A., García-Pérez, J. V., Riera, E. y Mulet, A. 2007. Influence of high-intensity ultrasound on drying kinetics of persimmon. Drying Technology, 25:185-193.

-DeVries, J. W., Ge, H., Ebert, F. J. y Magnuson J. M. 1986.Analyisis for total sulfite in foods by using rapad distillatin followed by redox trtration. J. Assoc. Off. Anal. Chem., 69l:827-830.

-Giordani, E. 2003, El caqui: diversificación varietal para un cultivo en desarrollo, Comunitat Valenciana Agraria, 22:22-34.

-Krokida, M. k., Marouli, Z. B., y Saravacos G. D. 2001. The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. International Journal of Food Science and Technology, 36:53-59.

-Miranda G. 2003. Influencia de la temperatura, del envase y la atmósfera en la conservación de uvas pasas y de albaricoques deshidratados. Tesis Doctoral. Universitat de València.

-Rosselló, C., Mulet, A., Simal, S., Torres, A. y Cañellas, J. 1994. Quality of dried apricots: effect of storage temperature, Light and SO_2 content. Journal of the Science of Food and Agriculture, 65:121-124.

VIDA ÚTIL DE PRODUCTOS ELABORADOS EN BASE A ALGAS NATIVAS CHILENAS *Callophyllis, Chondracanthus* y *Ulva*

De la Fuente, Lucía; López Ma. Elita; Trujillo Lilian; Douglas Karin; González Luisa
UNIVERSIDAD DE LOS LAGOS
CENTRO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS
Casilla 933, e-mail. ldelaf@ulagos.cl
OSORNO, CHILE

Palabras claves: algas, procesamiento, estabilidad, *Callophyllis, Chondracanthus, Ulva*

RESUMEN

Elaborar nuevos productos alimenticios para consumo humano a base de algas marinas genera un alto impacto económico en el sector acuícola y en el de alimentos y presenta una oportunidad de negocio debido a una creciente demanda en mercados internacionales porque se mejoran sus aspectos nutricionales.
El propósito de este estudio fue aplicar tecnologías de proceso para la elaboración de productos, para consumo humano, en base a algas nativas subutilizadas y de bajo valor comercial, de gran abundancia en el sur de Chile y evaluar las características sensoriales y microbiológicas de los productos elaborados a partir de *Callophyllis variegata* o spp, *Chondracanthus chamissoi* y *Ulva rigida*. Las algas frescas son productos altamente perecederos y para minimizar o inhibir reacciones de deterioro y aumentar la vida útil de los productos durante los procesos se manejaron las siguientes variables: condiciones de lavado de la materia prima y calidad del agua, actividad de agua (aw), tipo y concentración de insumos, concentración de oxígeno, luminosidad, concentración y tipo de desinfectantes y tipo de envase. Se obtuvieron productos elaborados a base de algas naturales y de algas con modificación de color tales como: frescos, frescos salados, salados prensados, envasados con y sin vacío, deshidratados, seco-salados y molidos aprovechando los descartes. En este trabajo se presenta la vida útil en determinadas condiciones de almacenamiento, que incluye refrigeración y ambiente con temperatura y humedad relativa controlados.

INTRODUCCIÓN

Considerando que en Chile las algas son un recurso marino casi sin explotar en el área de alimentación humana, el presente estudio consistió en elaborar productos alimenticios con tres tipos de algas marinas nativas que crecen en la costa del país, llamadas vulgarmente Carola, Chicoria del mar y Lechuga de mar que corresponden a *Callophyllis variegata, Chondracanthus chamissoi* y *Ulva rigida*, respectivamente. Algunas características de las especies de estudio se aprecian en las Figuras 1,2 y 3.

***Callophyllis variegata* o spp.:** cuyo nombre vulgar es Carola, pertenece a la familia *Kallymeniaceae*, de la orden de las *Cryptonemiales* y a la división de las *Rodophytas*. En Chile se distribuye entre Magallanes, Tierra del Fuego y Antofagasta (Hoffmann y Santelices, 1997). Las frondas, de hasta 20 cm de alto son de color rojo oscuro intenso, de consistencia que varía desde muy fina y membranosa hasta cartilaginosa.

Chondracanthus chamissoi: Se la conoce como Chicoria del mar, pertenece a la familia de las *Gigartinaceae*, del orden de las *Gigartinales* y a la división de las *Rodophytas*. En el país, existen entre Chiloé e Iquique. Especie endémica de Chile y Perú (Hoffmann y Santelices, 1997). Las plantas forman masas de frondas membranosas, de distintos tonos de rojo, que alcanzan hasta 50 cm de altura.

Ulva rigida: Se la conoce como Lechuga de mar, pertenece a la Familia de las *Ulvaceae*, al orden de las *Ulvales* y a la división de las *Chlorophytas*. Las frondas son de color verde oscuro que cambia a negro cuando están secas.

Las algas frescas son productos altamente perecederos, con una vida útil de unas pocas horas si no se toman las medidas de manejo y tratamiento después de cosechadas. De la calidad de la materia prima depende la calidad final del producto por lo que tecnológicamente se deben establecer las condiciones de manejo en playa, transporte y procesamiento para aumentar la vida útil de los productos. En este estudio se presentan algunas alternativas de procesamiento para aumentar la vida útil de los productos algales, a través de procedimientos de deshidratación y/o salado y condiciones de envasado para evitar que durante la elaboración y posteriormente en el periodo de almacenamiento hasta el consumo ocurran reacciones de deterioro. Se procedió, además, a modificar el color a las algas de la familia de las *Rhodophytas* (algas rojas) mediante tratamientos químicos bajo condiciones controladas. Se obtuvieron algas de color verde y rojo- púrpura.

MATERIALES Y METODOS

Materiales

Las muestras fueron extraídas de la Décima y Octava región del país, durante el periodo de septiembre de 2002 a mayo de 2004. En la Décima Región se realizaron quince muestreos de *Callophyllis* spp. en Punta Corona, doce de *Chondracanthus* en el Golfete de Quetalmahue y siete de *Ulva rigida* en el Canal Huito de Calbuco. De la playa Dichato de la Bahía Coliumo en la Octava Región, se extrajo *Chondracanthus chamissoi*, en 2 muestreos. Las algas se obtuvieron mediante buceo y cortadas por medio de tracción manual, imitando de esta forma el modo de cosecha que tienen los buzos mariscadores que explotan el recurso. Este procedimiento remueve una parte de la fronda, dejando sólo las más pequeñas adheridas a la roca. Las algas se transportaron en cajas de aislapol con gel-pack y se recepcionaron en la Planta Piloto de la Universidad de Los Lagos, Osorno, en un tiempo no superior a las 6 horas desde el momento que fueron cosechadas, para evitar la pérdida de calidad y frescura.

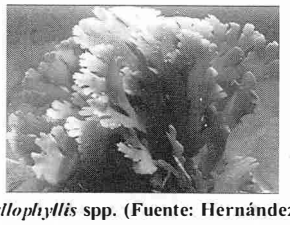


Figura 1: *Callophyllis* spp. (Fuente: Hernández, M., 2004)

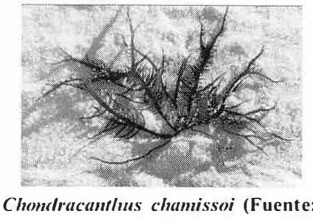


Figura 2: *Chondracanthus chamissoi* (Fuente: Hernández, M., 2004)



Figura 3: ***Ulva rigida*** **(Fuente: Hernández, M., 2004)**

Experimentalmente se aplicaron tecnologías básicas para satisfacer los requisitos de calidad establecidos por mercados orientales, tradicionales consumidores de algas. Se elaboraron distintos tipos de productos algales, que se describen más adelante, para lo cual se siguieron distintas etapas de elaboración. Los diagramas de flujo consideran etapas de clasificación por calidad, lavado, salado, secado, molienda, tamizado, prensado, desinfección y envasado, con y sin vacío. Una de las etapas fundamentales, que le da valor agregado a los productos es la modificación de coloración de las algas *Rodophytas* a verde y rojo-púrpura, la cual corresponde a secreto industrial, resguardado a través de patente (De la Fuente y col., 2005) que define distintas variables de procesos: temperatura, concentración y tiempos de aplicación de insumos químicos.

Variables de Proceso

Las variables de proceso seleccionadas para minimizar o inhibir las reacciones de deterioro fueron: a) Condiciones de lavado de la materia prima y calidad del agua: se usó agua de mar tratada, microfiltrada y sometida a radiación ultravioleta (UV); b) Actividad de agua (aw): con la adición de sal y con las etapas de deshidratación y secado se disminuyó la aw a rangos que limita el crecimiento de microorganismos, permaneciendo eventualmente sólo microorganismos halófilos, c) Concentración de oxígeno: al limitar o desplazar el oxígeno se lograron ambientes semi-anaerobios, en donde los microorganismos aerobios no pueden crecer ni reproducirse; d) Luminosidad: la luz provoca reacciones deterioralivas especialmente a nivel de los pigmentos naturales de las algas, por lo que se usaron estanques cerrados durante el proceso y envases con barreras a la luz en los productos terminados; e) Uso de desinfectantes: para disminuir la carga microbiana de las algas se probaron distintos tipos y concentraciones de desinfectantes. Se seleccionó un desinfectante orgánico como el más apropiado; f) Tipo de envase: dependiendo de las propiedades del producto se utilizaron envases con barreras a la humedad, a la luz y sellados al vacío. Se usaron bolsas, frascos y bandejas de polipropileno y bolsas de polietileno.

Productos elaborados en base a algas

Los productos algales desarrollados se presentan a continuación:

Ulva: Fresca salada prensada; Fresca salada al vacío; Deshidratada entera y Deshidratada molida en diferentes granulometrías.

Chondracanthus y *Callophyllis*: Natural fresca salada; Natural fresca salada al vacío; Verde fresca salada; Verde fresca salada al vacío; Roja - púrpura fresca salada; Roja - púrpura fresca salada al vacío; Natural deshidratada entera; Natural deshidratada molida en diferentes granulometrías; Verde deshidratada entera; Verde deshidratada molida en diferentes granulometrías; Roja púrpura deshidratada entera y Roja púrpura deshidratada molida en diferentes granulometrías.

Análisis realizados

Medición de Color: El color en las algas y sus productos fue medido a través de un colorímetro de triestímulo Hunter. Para realizar la medición del color se usó el sistema CIELAB donde L* corresponde a la claridad. El parámetro a* define al componente rojo-verde; rojo para valores positivos y verde para los negativos y el parámetro b* al componente amarillo-azul; amarillo para los valores positivos y azul para los valores negativos (Jiménez y Gutiérrez, 2001).

Medición de Actividad de Agua: La actividad de agua (aw) se midió a 20°C en el higrómetro Lufft modelo 5804, el cual se calibró con sales de $MgCl_2\ 6H_2O$ al 34% r.F.; $Mg(NO_3)_2\ 6H_2O$ al 53% r.F.; NaCl al 76% r.F. y $BaCl_2\ 2H_2O$ al 90 % r.F.

Análisis Microbiológicos: Los análisis microbiológicos realizados fueron: recuento de aerobios mesófilos (RAM), recuento de coliformes totales, recuento de coliformes fecales, recuento de hongos y levaduras y presencia de *Salmonella* tanto a las materias primas al momento de ser recepcionadas en la Planta Piloto y después de haber sido lavadas con agua de mar microfiltrada y sometida a radiación UV y con agua potable adicionada de desinfectante orgánico, así como en los productos almacenados en sus envases definitivos y a granel. Todos realizados mediante las técnicas ISP (1998) y FDA (1992).

Análisis Sensoriales: Los análisis sensoriales correspondieron a observaciones de las características de color, olor, textura y apariencia general frente a condiciones de refrigeración y ambiente tanto en sus envases definitivos individuales como almacenados a granel.

Condiciones de almacenamiento de los productos algales

Los productos algales frescos, frescos salados y salados prensados fueron envasados, con y sin vacío, en bolsas y bandejas de polipropileno y almacenados en cámaras refrigeradas a 4°C.
Dos tratamientos tuvieron los productos algales deshidratados y los seco-salados:
a) Envasados en bolsas de polipropileno en presentación individual y almacenados en cámara cuya temperatura varió entre 15 y 18°C y la humedad relativa entre 58 y 60%.
b) Envasados en bolsas negras de polietileno de baja densidad a granel en cajas de aislapol mantenidas en la oscuridad en una bodega cuya temperatura promedio fue de 12°C y 60% de HR.
Todos los descartes de los productos antes señalados se aprovecharon molidos en presentación tipo sazonadores que se almacenaron en frascos de polipropileno y se mantuvieron en ambiente cuya temperatura varío entre 18 y 20°C y la humedad relativa alrededor de 60%.

RESULTADOS

Tabla 1: Actividad de agua promedio de productos deshidratados

Producto Algal	*Rango de aw*
Deshidratados sin sal	0,68-0,75

Los valores bajos de actividad de agua, producto de la deshidratación evitan las reacciones enzimáticas y microbianas que pudiesen desarrollarse en los productos algales, por lo tanto, aumentó el período de almacenamiento y distribución de los productos elaborados a base de algas marinas.

Color

En la Figura 4 y 5 se muestran los parámetros de color determinados en *Callophyllis* spp. transformada a color rojo - púrpura y rehidratada y *Chondracanthus chamissoi* modificada a color verde y rehidratada.

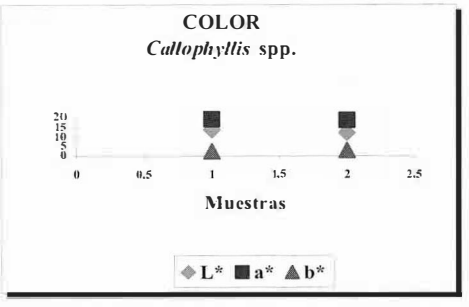


Figura 4: Parámetros de color en ***Callophyllis*** **spp. transformada a color rojo - púrpura y rehidratada.** (N=2. No presentan diferencia significativa)

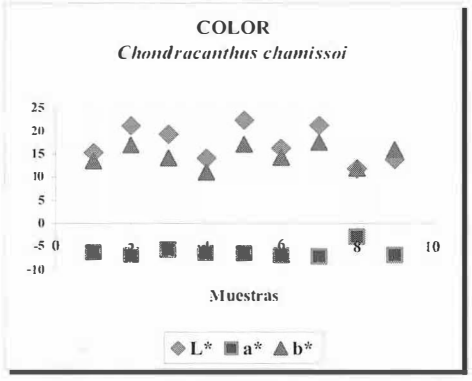
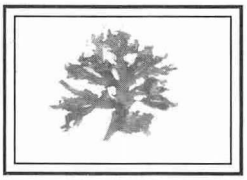
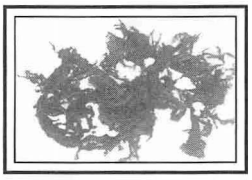


Figura 5: Parámetros de color en *Chondracanthus chamissoi* transformada a color verde y rehidratada (N=9, No presentan diferencia significativa)

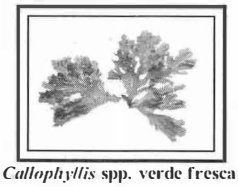
En ambas figuras se aprecia que ninguno de los parámetros de color varía significativamente respecto a cada tratamiento, por lo que se logró homogeneidad en los tratamientos de modificación y fijación de los colores de las algas rojas.



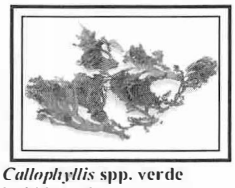
***Callophyllis* spp. roja-púrpura fresca**



***Callophyllis* spp. roja-púrpura deshidratada**



***Callophyllis* spp. verde fresca**



***Callophyllis* spp. verde deshidratada**

Figura 6: Modificaciones de color en *Callophyllis* spp.

Análisis microbiológicos

En la Tabla 2 se muestra el promedio de los resultados de todas las muestras recepcionadas (N=36) y en la tabla 3 el promedio de las materias primas sometidas a distintos lavados, con agua de mar microfiltrada y sometida a radiación UV y con agua potable con desinfectante orgánico (N=36) .

Tabla 2: Resultados de análisis microbiológicos de la materia prima sin lavados

Muestras	RAM UFC/g	Coliformes Totales NMP/g	Coliformes Fecales NMP/g	Hongos UFC/g	Levaduras UFC/g	Salmonella (50 g)
Callophyllis spp.	$2,2x10^4$	15	<3	$<1,0x10^2$	$8,5x10^2$	Ausencia
Chondracanthus chamissoi	$1,7x10^3$	4	<3	$<1,0x10^2$	$3,8x10^2$	Ausencia
Ulva rigida	$2,3x10^3$	4	4	$<1,0x10^2$	$5,8x10^2$	Ausencia

Promedio de determinaciones: *Callophyllis* spp N= 15, *Chondracanthus* N=14 y Ulva N=7

Los resultados mostrados en la Tabla 3 muestran la efectividad del desinfectante orgánico seleccionado, ya que todos los recuentos disminuyen de manera significativa respecto a la materia prima puesta en planta, debido a que las aguas de mar estaban contaminadas. Sólo los lotes tratados, cuyos recuentos cumplían la norma impartida por Sernapesca, fueron los que estaban aptos para proceso.

Tabla 3: Resultados de análisis microbiológicos de la materia prima lavada y sanitizada

Muestras	RAM UFC/g	Coliformes Totales NMP/g	Coliformes Fecales NMP/g	Hongos UFC/g	Levaduras UFC/g	Salmonella (50 g)
Callophyllis spp.	$5,9x10^2$	<3	<3	$<1,0x10^2$	$<1,0x10^2$	Ausencia
Chondracanthus chamissoi	$<2,5x10^2$	<3	<3	$<1,0x10^2$	$<1,0x10^2$	Ausencia
Ulva rigida	$4,8x10^2$	<3	<3	$<1,0x10^2$	$<1,0x10^2$	Ausencia

Promedio de determinaciones: *Callophyllis* spp N= 15, *Chondracanthus* N=14 y Ulva N=7

Los resultados microbiológicos de todos los productos elaborados en base a algas se encontraron dentro de los rangos establecidos como aceptables para consumo humano según las normas vigentes nacionales (Sernapesca, 2007).

Tabla 4: Resultados microbiológicos de productos terminados

Análisis	Algas consumo humano directo		Derivado de algas	
	m	M	m	M
Recuento Total	10^5	5×10^5	10^4	5×10^4
Hongos y levaduras	10^2	10^3		
Salmonella			Ausencia en 50 g	
S. aureus			10	10^2

Rango de los resultados de los lotes de productos algales.

Vida útil de los productos elaborados

En la Tabla 5 se presentan los productos frescos, condiciones de envasado y almacenamiento y duración estimada como apto al consumo humano, descritos a continuación.

Productos frescos salados al vacío: Los productos frescos salados de *Callophyllis variegata, Chondracanthus chamissoi* natural o con modificación de color y *Ulva rigida* envasados en bolsas de polipropileno, almacenados refrigerados, a los cuales se les aplicó una concentración de 50 % de sal, se mantuvieron estables por más de 12 meses.

Productos frescos envasados sin vacío y sin sal de *Callophyllis* y *Chondracanthus chamissoi* natural o con modificación de color presentaron una duración entre 7 y 10 días en ambientes refrigerados (4°C) envasados en bolsas de polipropileno. Después de ese tiempo se observaron pérdidas del color y olor característico del alga fresca, generándose olores ácidos fuertes desagradables. Además los productos elaborados con *Chondracanthus chamissoi* se volvieron ligosos.

Productos frescos envasados al vacío sin sal de *Callophyllis* y *Chondracanthus chamissoi* natural o con modificación de color mostraron una duración aproximada de 25 días en ambientes refrigerados (4°C) y envasados en bolsas de polipropileno sellado.

Productos frescos salados envasados sin vacío de *Callophyllis y Chondracanthus chamissoi* natural o con modificación de color almacenados en ambientes refrigerados (4° C) en bolsas de polipropileno no presentaron alteraciones sensoriales en las características de olor, textura, color y apariencia general del producto algal durante los 8 meses que duró el estudio.

Productos frescos salados envasados al vacío de *Callophyllis* y *Chondracanthus chamissoi* natural o con modificación de color y *Ulva rigida* almacenados en ambientes refrigerados (4°C) no presentaron alteraciones en las características de olor, textura, color y apariencia general del producto algal durante los 12 meses que duró el estudio.

Productos frescos salados prensados sin vacío de *Ulva rigida* conservados en ambientes refrigerados (4° C) y envasados en bandejas de polipropileno presentaron una duración menor a 10 días, ya que luego de este tiempo las frondas, aún cuando permanecieron refrigeradas, tendieron a secarse y recogerse.

Tabla 5: Vida útil de productos algales frescos

PRODUCTOS ALGALES FRESCOS					
Productos	Naturales o con modificación de color		Salados naturales o con modificación de color		Salados prensados
Condiciones de envasado	Al vacío	Sin vacío	Al vacío	Sin vacío	Sin vacío
Tipo de envase	Bolsas de polipropileno selladas				Bandejas de polipropileno
Detalle	Individual				
T° almacenaje	Refrigeración a 4°C				
Tiempo de almacenaje	25 días	7-10 días	> 12 meses	> 8 meses	< 10 días
Recomendaciones	Absorbedores de oxígeno				----

En la Tabla 6 se presentan los productos deshidratados, condiciones de envasado y almacenamiento y duración estimada como apto al consumo humano, descritos a continuación.

Productos deshidratados y seco-salados: Los productos algales deshidratados y seco-salados a granel envasados en bolsas negras de polietileno de baja densidad, guardados en cajas de aislapol en una bodega oscura a una temperatura de 12°C y una humedad relativa de 54% estuvieron almacenados durante más de ocho meses en el caso de los productos deshidratados y más de dos años en los seco-salados sin sufrir alteraciones sensoriales de color, olor, sabor, textura y apariencia general. Por otro lado, se observó que los productos algales deshidratados y los seco-salados envasados y sellados en bolsas de polipropileno conservaron sus características sensoriales transcurridos ocho meses de almacenamiento y dos años, respectivamente, en condiciones atmosféricas propias a nuestra zona, es decir temperaturas promedio entre 15 y 18°C y humedades relativas entre 58-60%.
En ambientes más húmedos en los productos algales deshidratados afloran cúmulos blancos en la superficie debido a sales y azúcares propias de las algas. El uso de desecantes en pequeños envases permeables es recomendable para el aumento de la vida útil de los productos algales deshidratados.

Productos molidos: Los productos molidos que contenían alrededor de 7% de humedad, envasados en frascos de polipropileno con tapa rosca permanecieron estables en el periodo de estudio (dos años), ya que no se vieron afectados sus características sensoriales ni sus recuentos microbiológicos. Las condiciones recomendadas de almacenamiento de estos productos serían entre 18 y 20° C y alrededor de 60% de humedad relativa.

Tabla 6: Vida útil de productos algales deshidratados

PRODUCTOS ALGALES DESHIDRATADOS					
Productos	Deshidratados		Seco-salados		Molido
Humedad	10-12 %				7 %
Tipo de envase	Bolsas de polietileno de baja densidad en cajas de aislapol	Bolsas de polipropileno selladas	Bolsas de polietileno de baja densidad en cajas de aislapol	Bolsas de polipropileno selladas	Frascos de polipropileno con tapa rosca
Detalle	Granel	Individual	Granel	Individual	Individual
Especificaciones de almacenaje	Oscuridad	Ambiente	Oscuridad	Ambiente	Ambiente
T° almacenamiento	12°C	15-18°C	12°C	15-18°C	18-20°C
Humedad relativa	54 %	58-60%	54 %	58-60%	~60%
Tiempo de almacenaje	>8 meses		> 2 años		
Recomendaciones	Desecantes				----

Los deterioros más comunes detectados en los productos algales durante el almacenamiento son: crecimiento y desarrollo de microorganismos tales como bacterias, levaduras y hongos; decoloración de pigmentos del alga, por ej. clorofilas, ficoeritrinas; exudación de líquido; manchas por exudación; manchas blancas por presencia de sales y azúcares que se desplazan hacia la superficie; cambios en la textura; aparición de olores anormales; todas ellas reacciones típicas debido al intercambio por permeabilidad de los envases al vapor de agua, a gases y a la luz.

CONCLUSIÓN

Es factible elaborar diversos productos de calidad para consumo humano: deshidratados, seco-salados, frescos, fresco-salados, salados, molidos, naturales o con modificación de color, a partir de las tres algas estudiadas a través de procesos tecnológicos simples.

AGRADECIMIENTOS

A Proyecto FONDEF-CONICYT D0111151, Centro de Análisis de Alimentos (CEAL), Centro i~mar, Dirección de Investigación de la Universidad de Los Lagos.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- De la Fuente, L., Douglas. K. y González, Luisa "Procedimiento para modificar la coloración de algas destinadas para consumo humano" Patente precaucional N° de solicitud 1735/2004, DPI-Chile 08 de Julio del 2005, N° de registro 1719/2005.
- FDA (1992). Food and Drug Administration. Bacteriological Analytical Manual. A.O.A.C, Internacional. 7th Edition.
- Hernández, M. (2004), Manual Algas Nativas de Interés Comercial en el sur de Chile: Identificación, Localización y Manejo Sustentable. Universidad de Los Lagos.
- Hoffmann y Santelices (1997) Flora marina de Chile Central. Facultad de Ciencias Biológicas. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- I.S.P (1998). Manual de Técnicas Microbiológicas para alimentos y aguas. Ministerio de Salud. Instituto de Salud Pública de Chile.
- Jiménez y Goñi (1999). Evaluación nutricional y efectos fisiológicos de macroalgas marinas comestibles. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Vol. 49 N° 2. España.
- Jiménez y Gutiérrez (2001). Métodos para medir propiedades físicas en Industrias de Alimentos. Editores Juan de Dios Alvarado y José M. Aguilera. Editorial Acribia. Zaragoza. España.
- Sernapesca (2007). Servicio Nacional de Pesca Departamento de Sanidad Pesquera. Chile. Programa de Control de Producto Final. Norma Técnica Sección I Requisitos generales para la certificación sanitaria de los productos pesqueros de exportación. CPF/NT 1/Junio 2007.

INFLUÊNCIA DE EMBALAGENS NA MODIFICAÇÃO DA ATMOSFERA GASOSA EM ALFACE AMERICANA cv. LUCY BROWN MINIMAMENTE PROCESSADA.

Vaz, S.G.[1], Regis, S. A.[2], Rocha, G.O. [2], Cenci, S. A. [1], Freitas-Silva, O.[1]
[1]Embrapa Agroindústria de Alimentos – CTAA – RJ.

[2]Universidade Rural do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Economia Doméstica.
[1] Av. das Américas, 29501 – Guaratiba.
CEP: 23020-470 Rio de Janeiro – RJ – Brasil
Tel. : (55-21) 2410-7525 - Fax: (55-21) 2410-1090 / 2410-7498
e-mail: ofreitas@ctaa.embrapa.br

Keywords: embalagens, alface americana, atmosfera de equilíbrio.

RESUMO

A atmosfera de equilíbrio da alface americana minimamente processada foi avaliada em três tipos distintos de embalagens: PE (polietileno), PP+PE (polipropileno + polietileno) e BOPP+PEBD (polipropileno biorientado + polietileno de baixa densidade). Nas embalagens PE e BOPP+PE, a atmosfera tendeu ao equilíbrio ao sexto dia de armazenamento, porém na embalagem PE a concentração de O_2 atingiu níveis muito baixos com elevação proporcional na taxa de CO_2, o que possivelmente desencadearia em um processo fermentativo. Em PP+PE, ocorreu uma lenta diminuição da concentração de O_2, em seu interior que acelerou o processo oxidativo da alface reduzindo seu tempo de vida útil. A embalagem do tipo BOPP+PEBD, promoveu melhor equilíbrio nas concentrações de O_2 e CO_2 ao permitir que os níveis desses gases, a partir do sexto dia, permanecessem próximos com uma diminuição na tendência de evolução de suas curvas.

INTRODUÇÃO

A alface é uma hortaliça de origem européia e asiática cujo consumo é bastante difundido na culinária brasileira em forma de saladas, possui sabor agradável e refrescante e facilidade de preparo. O consumo da alface americana vem ganhando destaque no mercado consumidor em decorrência do aumento do número de *fast-foods*, os quais utilizam preferencialmente este tipo de alface em sua forma minimamente processada, o que garante praticidade no preparo de refeições. Aliado ao controle da temperatura, a utilização de embalagens adequadas contribui para a conservação da qualidade do produto proporcionando proteção à contaminantes ambientais permitindo, também, a continuidade do processo respiratório de uma forma normal. Os materiais utilizados na confecção de embalagens são muito variados e com diferentes propriedades de barreiras. Assim sendo, este trabalho teve por

objetivo avaliar a influência de três tipos de embalagens na atmosfera de equilíbrio de alface americana cv. Lucy Brown minimamente processada.

MATERIAIS E METÓDOS

Este trabalho foi desenvolvido na Embrapa Agroindústria de Alimentos. Amostras de alface americana minimamente processada (folhas inteiras), provenientes de uma agroindústria localizada na região serrana do Rio de Janeiro. As alfaces foram selecionadas, processadas e acondicionadas em embalagem de 250g e armazenadas a 10^0C. No experimento, utilizou-se embalagens de: polipropileno biorientado + polietileno de baixa densidade (BOPP+PEBD) 0,12μc de espessura e 25x30cm de tamanho, polietileno (PE) 0,08μc de espessura e 25x30cm de tamanho, e polipropileno + polietileno (PP+PE) 0,11μc de espessura e 30x25cm de tamanho. A avaliação da composição gasosa no interior das embalagens foi realizada através de analisador de O_2/CO_2, marca MOCON®, em quatro períodos de tempo, os quais corresponderam aos dias 2, 6, 9 e 13 do armazenamento refrigerado a 10^0C.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao longo do período de avaliação, pode-se observar que a atmosfera de equilíbrio foi alcançada no sexto dia no interior das embalagens BOPP+PEBD e PE atingindo concentrações de 9,17% O_2 e 6,91% CO_2 no primeiro tipo de embalagem (Figura 1), e de 8,34% O_2 e 7,25% CO_2 no segundo tipo (Figura 2). Já na embalagem PP+PE, a atmosfera tendeu ao equilíbrio a partir do segundo dia atingindo concentrações de 14,62% de O_2 e 3,41% de CO_2 (Figura 3). Foi observado que as amostras contidas na embalagem PE demonstraram tendência à fermentação devido a uma queda acentuada na concentração de O_2 com elevação proporcional de CO_2; na embalagem PP+PE ocorreu oxidação da hortaliça que se intensificou no decorrer do período de avaliação.

CONCLUSÃO

Das embalagens testadas a embalagem BOPP+PEBD (polipropileno biorientado + polietileno de baixa densidade) promoveu uma atmosfera de equilíbrio adequada, quando comparada as demais embalagens utilizadas neste estudo, favorecendo o aumento da vida útil da alface americana que mostrou-se adequada para comercialização por até 13 dias à 10^0C.

REFERÊNCIAS

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Embalagem e Transporte. In: Pós-colheita de frutas e hortaliças – Fisiologia e Pós-colheita. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005. Cap. 5, p. 296-302.

MELLO, J. C.; DIETRICH, R.; MEINERT, E. M.; TEIXEIRA, E.; AMANTE, E. R. Efeito do cultivo orgânico e convencional sobre a vida-de-prateleira de alface americana (Lactuca sativa L.) minimamente processada. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 23, n. 3, p. 418-426, set. – dez. 2003.

WILEY, R. C. Envasado de frutas y hortalizas mínimamente procesadas. In: Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. Tradução por José Fernández-Salguero Carretero. Zaragoza: Ed. Acribia, 1997. Cap. 4, p. 131-173.

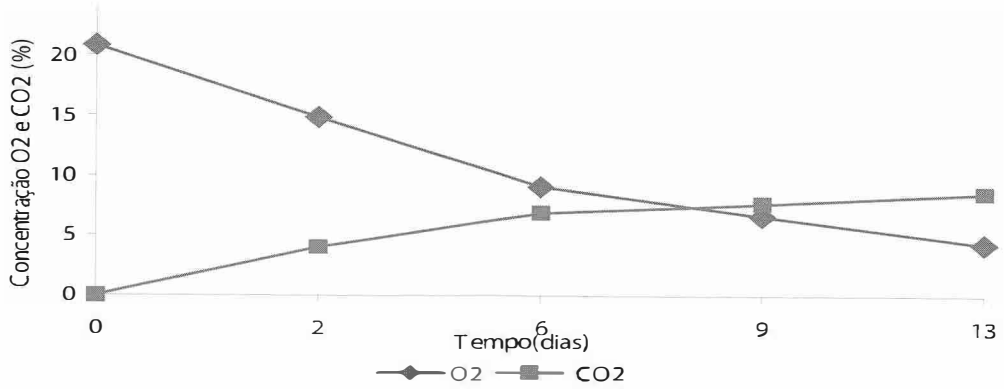


Figura 1: Evolução da concentração de O2 e CO2 em emblagem BOPP+PEBD.

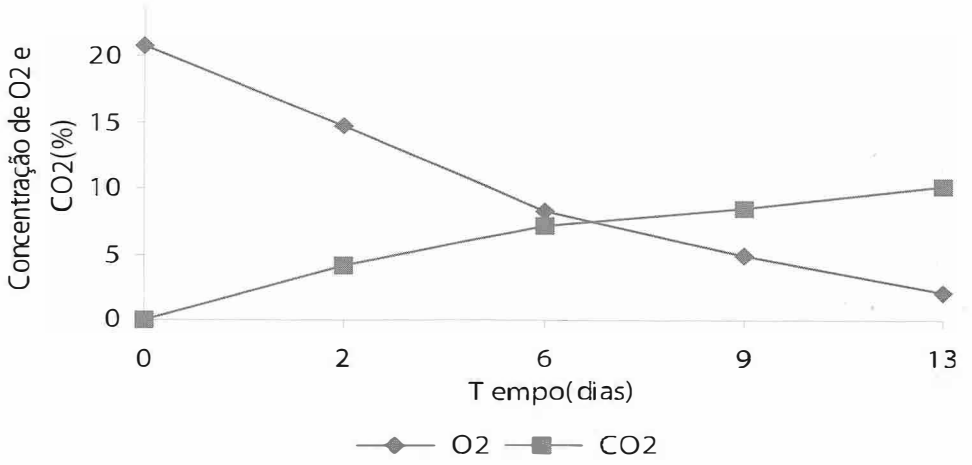


Figura 2: Evolução da concentração de O2 e CO2 em embalagem PE.

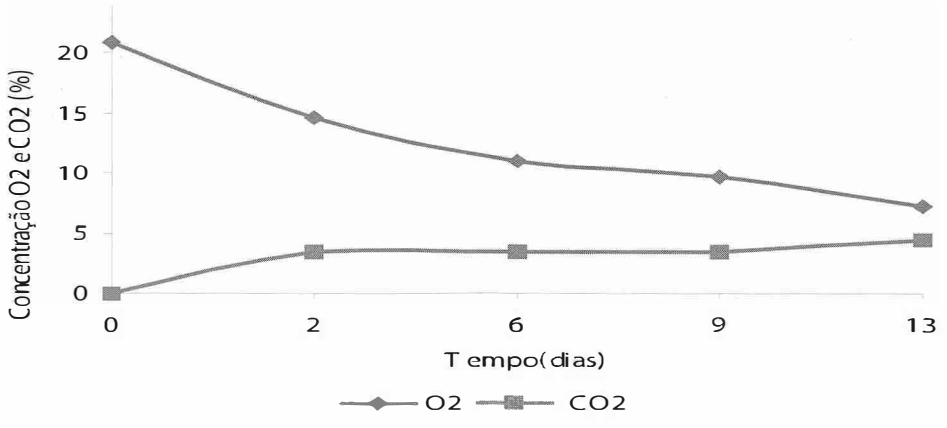


Figura 3: Evolução da concentração de O2 e CO2 em embalagem PP+PE

PARDEAMIENTO NO ENZIMÁTICO DE ZUMO DE MANDARINA CLARIFICADO Y CONCENTRADO DURANTE EL ALMACENAMIENTO.

Falguera, V.; Garza, S.; Garvin, A.; Ibarz, A.
UNIVERSIDAD DE LLEIDA (UdL)- UTPV - CeRTA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRARIA
Departamento de Tecnología de Alimentos.
E. mail: ibarz@tecal.udl.cat
Av. Rovira Roure, 191 25198 - LÉRIDA - ESPAÑA

Palabras clave: procesos de deterioro, pardeamiento no enzimático, reacción de Maillard, zumo, mandarina

RESUMEN

El conocimiento de la velocidad de deterioro de los zumos de frutas durante su conservación resulta esencial para la planificación a nivel industrial. Para ello se estudió la evolución a lo largo del tiempo de varios parámetros indicativos de la calidad del zumo de mandarina clarificado y concentrado, manteniendo muestras a las temperaturas de 4, 20, 37 y 50°C, analizando periódicamente la absorbancia a 420 nm y el índice de formol, además del contenido en sólidos solubles y el pH.
Los datos obtenidos se ajustaron a modelos cinéticos de orden 0, orden 1 y combinado, con la finalidad de encontrar el que mejor describiera el comportamiento de cada parámetro. De este modo, se escogió el modelo de orden 0 para la absorbancia a 420 nm. En lo relativo al índice de formol, se eligió el modelo de primer orden, aunque su aplicación presenta ciertas dificultades a temperaturas iguales o inferiores a 20°C debido a la magnitud relativa de las interferencias en el análisis. Se comprobó que el contenido en sólidos solubles y el pH se mantienen invariables.
Las constantes cinéticas obtenidas siguieron una dependencia de la temperatura expresada por la ecuación de Arrhenius, utilizada para hallar los valores de las energías de activación.

INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos más importantes del control de calidad de un alimento es el que a su aspecto se refiere, puesto que constituye el primer impacto que el consumidor se lleva en encontrarse con el producto. Por este motivo, los cambios que se producen durante el almacenamiento deben ser cuidadosamente controlados. En el caso de los zumos de frutas concentrados, una de las principales causas de deterioro es el pardeamiento no enzimático, pues las moléculas responsables del oscurecimiento enzimático son eliminadas durante el procesado por un tratamiento térmico.
De este modo, la caracterización cinética de tales reacciones resulta fundamental para conocer las condiciones en las cuales podrá mantenerse almacenado un zumo sin peligro de un detrimento excesivo y la consiguiente pérdida de calidad (Garza *et al.*, 1999).
Los cambios en el color y las propiedades nutricionales de los zumos son el resultado de la combinación de varios tipos de reacciones, entre ellos la condensación de Maillard entre azúcares reductores y aminoácidos, la oxidación del ácido ascórbico y la destrucción de pigmentos (Ibarz *et al.*, 2000; Koca *et al.*, 2003). En los zumos de cítricos, la descomposición del ácido aseórbico es la principal causa de pardeamiento, mientras que las reacciones de Maillard suelen tener menor importancia a pH comprendidos entre 2.0 y 4.0. Sin embargo, la presencia de aminoácidos en medios con ácido ascórbico puede contribuir al incremento de la velocidad de oscurecimiento (Koca *et al.*, 2003).
La forma más usual de caracterizar el pardeamiento es el seguimiento de la absorbancia de las muestras a determinadas longitudes de onda, siendo la de 420 nm la más empleada en estudios sobre diferentes muestras (Ibarz *et al.*, 1999; Garza *et al.*, 1999; Ibarz *et al.*, 2000; Carabasa y Ibarz, 2000; Buedo *et al.*, 2001) y también sobre zumos de cítricos (Rassis y Saguy, 1995; Roig *et al.*, 1999; Koca *et al.*, 2003).

Modelos cinéticos.

En el estudio de las reacciones de pardeamiento no enzimático resulta esencial determinar la velocidad a la que se producen, es decir, conocer las constantes de reacción. En tales procesos, existe un primer período de inducción que corresponde a la etapa de formación de los pigmentos. Después de esa etapa inicial, el color del producto se incrementa linealmente con el tiempo (cinética de orden 0) o exponencialmente (cinética de orden 1) (Garza *et al.*, 1999):

$$\text{Cinética de orden 0:} \quad P = P_0 + k_0 \cdot t \qquad (1)$$

$$\text{Cinética de orden 1:} \quad P = P_0 \cdot \exp(k_1 \cdot t) \qquad (2)$$

donde P es el valor de la propiedad considerada a un tiempo t, P_0 es el valor inicial de dicha propiedad, k_0 es la constante cinética de orden 0 y k_1 la constante cinética de orden 1.
De todos modos, la complejidad de los sistemas que suponen los zumos de frutas hace que se den en ellos gran variedad de reacciones (como la destrucción de los pigmentos naturales del zumo), que frecuentemente dificultan la aplicación de los modelos cinéticos más sencillos. Así, se asume que las condensaciones de Maillard entre azúcares reductores y aminoácidos siguen una cinética de orden 0, mientras que la destrucción de los pigmentos del zumo sigue un modelo de orden 1, en el global de las reacciones se contempla (Lozano y Ibarz, 1997; Ibarz *et al.*, 1999):

La expresión diferencial que indica la variación de la propiedad considerada con el tiempo queda de la forma:

$$\frac{dP}{dt} = k_0 - k_1 \cdot P \qquad (3)$$

$$\text{Azúcares + Aminoácidos} \xrightarrow{k_0} \text{Pigmentos oscuros}$$

$$\text{Pigmentos naturales} \xrightarrow{k_1} \text{Productos incoloros}$$

que integrando para la condición límite $P = P_0$ para $t = 0$:

$$P = K - (K - P_0)e^{p(-k_1 \cdot t)} \qquad (4)$$

Donde

$$K = \frac{k_0}{k_1}$$

El objetivo de este trabajo fue determinar qué modelo describe mejor la evolución de la absorbancia de las muestras a 420 nm y del índice de formol a lo largo de su conservación, así como también hallar valores para las constantes cinéticas y comprobar su dependencia de la temperatura mediante el ajuste a la ecuación de Arrhenius, que permite encontrar las energías de activación de los procesos:

$$k_i = K_p \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{R \cdot T}\right) \qquad (5)$$

donde k_i es el valor de la constante de reacción, K_p el factor de frecuencia o preexponencial, E_a la energía de activación, R la constante de los gases perfectos y T la temperatura absoluta.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado sobre muestras de zumo de mandarina clarificado y concentrado a 68,5 ºBrix proporcionadas por una empresa de la provincia de Lleida, que fueron repartidas en recipientes de 100 ml de capacidad y conservadas a las temperaturas de 4ºC durante 5 meses, 20 y 37ºC durante 3 meses y 50ºC durante 10 días. Todos los análisis fueron realizados por duplicado, sobre dos muestras conservadas de manera independiente a la misma temperatura y durante el mismo período de tiempo.

La absorbancia a 420 nm se midió sobre diluciones del zumo concentrado 1:12 mediante un espectrofotómetro Macbeth Color-Eye 3000 (Macbeth-Kollmorgen Int. Corp; Newburgh, NY), con el iluminante estándar C y el observador de 10º, y su cubeta complementaria de vidrio óptico de 1 cm de paso de luz. Con el mismo equipo se determinaron las coordenadas CIELab iniciales del zumo (L*, a*, b*). Las lecturas sobre todas las muestras se realizaron por duplicado. Para el análisis del índice de formol sobre la dilución 1:6 del zumo se utilizó el método número 30 de la IFFJP, fundamentado en la valoración de la acidez formada por los productos de la reacción de los aminoácidos libres con el formaldehído (IFFJP, 1991). El pH de la muestra fue medido con un pHmetro Crison micropH 2000 (Crison Instruments, S.A., Alella, Barcelona), y el contenido en sólidos solubles fue determinado mediante un refractómetro Atago RX-1000 (Atago Co. Ltd., Japan).

Los datos experimentales obtenidos fueron tratados mediante el software StatGraphics Plus v. 5.1 (Statistical Graphics Corp.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de la muestra

Tabla 1. Características iniciales del zumo.

Sólidos solubles	68,5 ºBrix
pH a 20ºC	3,30
Índice de formol (dil. 1:6)	24,6 ml NaOH (0,1 M)/100 ml
Azúcares reductores	50,44 g l^{-1} (dil. 1:6)
Azúcares no reductores	16,81 g l^{-1} (dil. 1:6)
A_{420}	0,462
L*	91,738
a*	-0,142
b*	30,487

Absorbancia a 420 nm.

Los valores de la absorbancia a 420 nm presentaron un aumento progresivo con el tiempo de conservación del zumo, siendo más rápida la variación como más alta la temperatura. La Tabla 2 muestra el ajuste de los resultados a los tres modelos cinéticos descritos. Los valores obtenidos para las constantes de reacción en la aplicación del modelo de orden 0 y el de orden 1 fueron similares. Además, en ambos casos se observa un aumento con la temperatura. En cambio, en la aplicación del modelo combinado dicha tendencia se observa solamente en la k_0, parámetro que explica la aparición de nuevas moléculas coloreadas. Sin embargo, los errores obtenidos son muy grandes en relación al valor de las constantes. Contrariamente, la k_1, que describe la destrucción de los pigmentos del zumo, no presenta ninguna tendencia definida.

En referencia a los coeficientes de determinación, en un principio el ajuste al modelo combinado proporcionó unos valores más altos; pese a ello, como se ha comentado, la aplicación de esta ecuación no parece viable por el comportamiento observado en la constante de primer orden. En cuanto a los otros dos modelos, los coeficientes de determinación obtenidos con el modelo de orden 0 fueron ligeramente superiores a los encontrados para el modelo de orden 1.

Para describir y cuantificar la influencia de la temperatura en la evolución de la absorbancia a 420 nm se ajustaron las constantes obtenidas a la ecuación de Arrhenius. La Tabla 3 muestra los resultados de dichos ajustes.

Tabla 3: Ajuste a la ecuación de Arrhenius. Parámetro A_{420}.

Constante	K_p (días^{-1})	E_a (kJ/mol)	R^2
k_0 (Orden 0)	$(2,2 \pm 1,1) \cdot 10^{12}$	81 ± 4	0,9722
k_1 (Orden 1)	$(2,9 \pm 0,4) \cdot 10^{8}$	60 ± 6	0,8862

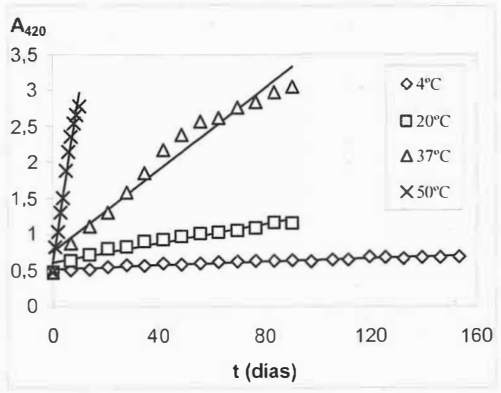


Figura 1. Evolución de la absorbancia a 420 nm y ajuste al modelo cinético de orden 0.

Según los resultados, el modelo que mejor describe la evolución de la absorbancia a 420 nm es el de orden 0, pues el coeficiente de determinación del ajuste a la ecuación de Arrhenius es más elevado. Este mismo criterio ha sido utilizado por diferentes autores, entre ellos Garza *et al.* (1999). La Figura 1 muestra los datos experimentales obtenidos ajustados al modelo de orden 0. El valor obtenido

Tabla 2: Ajuste a los distintos modelos cinéticos para el parámetro A_{420}.

Modelo	T(ºC)	Ordenada al origen	k_0 (u.a. días^{-1})	k_1 (días^{-1})	R^2
Ordre 0	4	0,510 ± 0,008	0,00127 ± 0,00018	-	0,9076
	20	0,60 ± 0,06	0,0067 ± 0,001 1	-	0,9310
	37	0,75 ± 0,20	0,028 ± 0,004	-	0,9588
	50	0,58 ± 0,13	0,239 ± 0,022	-	0,9844
Ordre 1	4	0,51 ± 0,03	-	0,0022 ± 0,0004	0,8805
	20	0,64 ± 0,07	-	0,0071 ± 0,0016	0,8879
	37	1,09 ± 0,24	-	0,013 ± 0,003	0,8752
	50	0,89 ± 0,10	-	0,12 ± 0,03	0,9173
Comb.	4	0,47 ± 0,05	0,0 ± 0,4	0,013 ± 0,005	0,9632
	20	0,50 ± 0,14	0,0 ± 0,3	0,021 ± 0,007	0,9856
	37	0,5 ± 0,3	0,1 ± 0,9	0,011 ± 0,009	0,9912
	50	0,4 ± 0,3	0,4 ± 0,7	0,07 ± 0,04	0,9945

Tabla 4: Ajuste a los distintos modelos cinéticos para el parámetro índice de formol.

Modelo	T(°C)	Ordenada al origen	$-k_0$ ($días^{-1}$)	$-k_1$ ($días^{-1}$)	R^2
Orden 0	4	24,54 ± 0,24	0,010 ± 0,004	-	0,8287
	20	23,9 ± 0,7	0,019 ± 0,012	-	0,7074
	37	24,1 ± 0,5	0,074 ± 0,009	-	0,9833
	50	24,2 ± 0,6	0,48 ± 0,09	-	0,9321
Orden 1	4	24,54 ± 0,23	-	0,00043 ± 0,00017	0,8296
	20	23,9 ± 0,6	-	0,0008 ± 0,0005	0,7153
	37	24,2 ± 0,4	-	0,0036 ± 0,0004	0,9867
	50	24,3 ± 0,5	-	0,022 ± 0,004	0,9425

inferior al encontrado por Koca *et al.* (2003) en su estudio sobre zumo de mandarina no clarificado y concentrado, que correspondía a 135,4 kJ mol^{-1} (también utilizando el modelo de orden 0 y para temperaturas entre 28 y 45°C). Este hecho puede deberse a que, tal y como explican Ibarz *et al.* (2000), la presencia de sólidos en suspensión tenga un efecto protector sobre los pigmentos del zumo, hecho que se traduce en una mayor dificultad al cambio de color y por tanto en un mayor valor de la energía de activación.

Índice de formol.

Los valores del índice de formol presentaron una tendencia descendente, siendo más rápida como más alta la temperatura. La Tabla 4 muestra el ajuste de los datos experimentales a los modelos cinéticos de orden 0 y 1. Los coeficientes de determinación obtenidos en ambos casos para las temperaturas más bajas son considerablemente inferiores a los de las más altas. De este modo, puede considerarse que a temperaturas iguales o inferiores a 20°C existen interferencias importantes en el análisis provocadas por los intermediarios de la condensación de Maillard, mientras que a las temperaturas más altas el nivel de disminución de los aminoácidos es lo suficientemente importante como para enmascarar esas interferencias. Otros estudios han llegado a conclusiones similares (Ibarz y Bermejo, 1991; Carabasa y Ibarz, 2000). En el ajuste a la ecuación de Arrhenius, el modelo de orden 1 proporcionó un coeficiente de determinación ligeramente superior al de orden 0, obteniéndose un valor de la energía de activación de (63 ± 4) kJ mol^{-1}. La Figura 2 muestra el ajuste de los datos experimentales al modelo de orden 1.

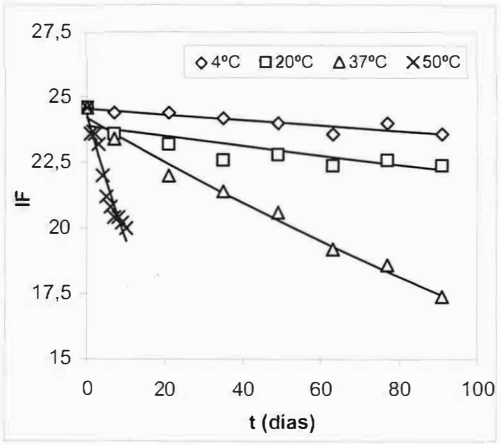


Figura 2. Evolución del índice de formol y ajuste al modelo cinético de orden 1.

Sólidos solubles y pH.

No se encontraron cambios significativos en la evolución de ninguno de los dos parámetros.

CONCLUSIONES

La absorbancia a 420 nm del zumo de mandarina clarificado y concentrado aumenta con el tiempo de conservación y la temperatura, siendo el modelo de orden 0 el que mejor describe su evolución.

El índice de formol disminuye a medida que aumentan el tiempo de conservación y la temperatura. Globalmente, el modelo de orden 1 es el que mejor describe su evolución con el tiempo, aunque su aplicación se dificulta a temperaturas iguales o inferiores a 20°C.

El contenido en sólidos solubles y el pH del zumo de mandarina clarificado y concentrado se mantienen constantes a lo largo de su conservación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Babsky, N. E.; Toribio, J. L.; Lozano, J. E. 1986. Influence of storage on composition of clarified apple juice concentrate. *Journal of Food Science*, 51: 564-567.

Buedo, A. P.; Elstuondo, M. P.; Urbicain, M. J. 2000. Non-enzymatic browning of peach juice concentrate during storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 1, núm. 4: 255-260.

Carabasa, M.; Ibarz, A. 2000. Kinetics of colour development in aqueous glucose systems at high temperatures. *Journal of Food Engineering*, 44, núm. 3: 181-189.

Garza, S.; Ibarz, A.; Pagán, J.; Giner, J. 1999. Non-enzymatic browning in peach puree during heating. *Food Research International*, 32, núm. 5: 335-343.

Ibarz, A; Pagán, J.; Garza, S. 1999. Kinetic models for colour changes in pear puree during heating at relatively high temperatures. *Journal of Food Engineering*, 39, núm. 4: 415-422.

Ibarz, A.; Pagán, J.; Garza, S. 2000. Kinetic models of non-enzymatic browning in apple puree. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, núm. 8: 1162-1168.

International Federation of Fruit Juice Producers (1991). IFFJP Analysis (Analysis methods).

Koca, N.; Burdurlu, H. S.; Karadeniz, F. 2003. Kinetics of nonenzymatic browning reaction in citrus juice concentrates during storage. *Turk. J. Agric. For.*, 27: 353-360.

Lozano, J. E.; Ibarz, A. 1997. Colour changes in concentrated fruit pulps during heating at high temperatures. *Journal of Food Engineering*, 34:365-373.

Rassis, D.; Saguy, I. S. 1995. Oxygen effect on nonenzymatic browning and vitamin C in commercial citrus juices and concentrate. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 28, núm. 3: 285-290.

Roig, M. G.; Bello, J. F.; Rivera, Z. S.; Kennedy, J. F. 1999. Studies on the occurrence of non-enzymatic browning during storage of citrus juice. *Food Research International*, 32, núm. 9: 609-619.

EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA VIDA ÚTIL DE PRODUCTOS A BASE DE GRANO REVENTADO DE AMARANTO

Lara Nelly [1]* y Mejía Ana [1,2]
[1] DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD, ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA, INIAP, QUITO ECUADOR, Telefax: 3007134.
[2] ESCUELA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL, UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, IBARRA, ECUADOR
*** Directora Proyectos IFS E/2468-2F y PFN 016: Moisture sorption isotherm, shelf life and nutritional quality of popped amaranth grain-based products, E-mail: nlara@interactive.net.ec**

Palabras clave: Productos de amaranto, modelo de Arrenius, energía de activación, vida útil.

RESUMEN

El modelo de Arrenius fue utilizado para determinar la energía de activación, asociada a la razón incremental de absorción de humedad y a la de valor de peroxido, durante el periodo de almacenamiento de muestras de grano reventado de amaranto (*Amaranthus caudatus*), cereal para desayuno y barras crocantes. Los tres productos de amaranto empacados tanto en fundas de polipropileno metalizado (PPM) como, en poliéster polietileno (PET) fueron mantenidos a condiciones: normal (25°C), acelerada (30°C) y extrema 35°C). Los modelos de regresión simple fueron utilizados para determinar la correlación y dependencia entre variables de medición sensoriales (rancidez y crocancia) y no sensoriales (valor de peróxido y fuerza máxima de compresión).

La energía de activación derivada del efecto de la temperatura sobre la razón incremental de absorción de humedad fue estadisticamente similar ($p > 0.05$) entre los productos de amaranto (50 a 57 KJ/mol) y fue significativamente diferente ($p < 0.05$) entre materiales de empaque. Bajo el mismo fundamento, la energía de activación calculada desde la razón incremental de valor de peróxido vario significativamente tanto entre los productos de amaranto como, entre los materiales de empaque. La correlación y la dependencia entre respuestas sensoriales y no sensoriales, fueron altas, evidenciando que el valor de peróxido y la fuerza máxima de compresión pueden ser utilizados en la estimación del tiempo de vida útil del grano reventado de amaranto y sus dos productos: cereal para desayuno y barras crocantes.

INTRODUCCIÓN

El interés en el grano de amaranto, un seudocereal de uso ancestral en alimentación, está basado en la capacidad natural de reventado (Zapotoczny et al., 2006; Iyota et al., 2005; Lara & Ruales 2002), en las caracteristicas del almidón (González et al., 2007, Lara & Ruales 1999a), en el valor nutritivo (Gamel et al., 2006, Gamel et al., 2005, Lara & Ruales 1999b) y en el uso potencial como ingrediente de los productos: cereal para desayuno y barras crocantes (Lara 1999), bajos en contenido de humedad. Sin embargo, la principal desventaja en estos alimentos de bajo contenido de humedad, es el periodo de estabilidad del producto en anaquel o tiempo de vida útil (Neilson et al., 2006, Lara & Mejia 2004). En este caso, asociado a la aparición de rancidez por oxidación de los lipidos (Al-Ismail et al., 2007; Martines-Tome et al, 2004, Lara & Mejía 2004), a la perdida de crocancia por ganancia de humedad (Lucas et al., 2007, Lara & Cangás 2004) y al rompimiento del producto durante el manejo y distribución (Barret et al., 1994). Las reacciones de degradación inician debido a la propia composición del producto y/o por efecto de factores criticos del ambiente alrededor del alimento, tales como: oxígeno, temperatura, luminosidad y humedad relativa (Speigel 1992). Los materiales de empaque desarrollados, específicamente, para este tipo de productos actúan como barreras contra el oxígeno, la humedad y la intensidad de luz, retardando o inhibiendo las reacciones de deterioro (Roberson 1992). Temperaturas durante el almacenado y distribución del producto, por encima de los niveles normales, aceleran la autoxidación de los lípidos, (Taoukis et al., 1997, Almeida-Dominguez et al., 1992).

El uso de pruebas de vida útil es reconocido para determinar el tiempo de expiración de un producto en el mercado (Lee & Resurreccion 2006), siendo la duración de un producto, antes de que sea rechazado por el consumidor de gran interés para la industria de alimentos (Chávez et al., 2003). En la industria de alimentos, las pruebas de tiempo de vida útil a menudo son conducidas para determinar el período de estabilidad básica de un producto. La estabilidad del producto es evaluada mediante la medición de factores químicos, físicos y sensoriales en función al tiempo (Lara & Mejía, 2004) y a la energía de activación resultante de la sensibilidad de las reacciones de deterioro a la temperatura (Almeida-Domínguez et al., 1992). Sin embargo, debido al costo, más de dos temperaturas no son evaluadas, especialmente, por análisis sensorial. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto combinado de la temperatura y la humedad relativa sobre la estabilidad o vida útil de los productos de amaranto, evaluada mediante: la energía de activación, correspondiente a las variaciones de valor de peroxido y de absorción de humedad; y las correlaciones entre respuestas sensoriales y mediciones analíticas o instrumentales.

CONSIDERACIONES TEORICAS

Efecto de la temperatura y energía de activación

La razón incremental de factores causantes de deterioro en función de la temperatura puede ser explicada mediante el modelo de Arrenius (Almeida Domínguez et al., 1992, Taoukis et al., 1997) Ec. (1):

$$k = k_A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \qquad (1)$$

Donde: k es la razón incremental de factores de deterioro como valor de peroxido y absorción de humedad, k_A es la constante pre-exponencial, E_a es la energía de activación de Arrenius (KJ/mol), siendo una medida de la sensibilidad de la reacción de deterioro a la temperatura, R es la constante ideal de los gases (8.314 joules/mol K), y T es la temperatura en Kelvis. La E_a es posible determinar desde el gráfico logaritmo natural de k en función del inverso de la temperatura absoluta, el cual da línea recta con pendiente $-E_a/R$.

Correlación entre medidas sensoriales y no sensoriales.

La correlación de rancidez sensorial y valor de peróxido se analiza con el modelo multiplicativo (Bourne 2002), Ec. (2).

$$y = ax^b \qquad (2)$$

Donde: y es rancidez sensorial, x es valor de peróxido, a la constante y b la pendiente de la curva.

La correlación crocancia sensorial frente a fuerza máxima de compresión se ajusta mejor con el modelo lineal, Ec. (3).

$$y = bx + a \qquad (3)$$

Donde: y es crocancia sensorial, x es fuerza máxima de compresión, interpretada como fuerza requerida para el fraccionamiento del producto, a la ordenada al origen y b la pendiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Grano de la variedad INIAP-Alegría (*Amaranthus caudatus*) fue producido por el FEPP-Latacunga a través de pequeños agricultores de la zona central del país. Muestras de 1 Kg de grano fueron acondicionadas a 12% de humedad de acuerdo a la descrito en (Lara & Ruales 2002).

Reventado del grano y elaboración de productos

Se utilizó una reventadora de canguil por aire seco (West Bend Poppery II hot air corn popper, The West Bend Co. Wisconsin, USA) adaptada para controlar temperatura y flujo de aire (Lara & Ruales 2002). El grano reventado de amaranto fue el ingrediente principal de los productos cereal para desayuno y barras crocantes. Se utilizo miel de panela y miel de abeja como edulcorantes. Los ingredientes complementarios fueron coco rallado y almidón en el caso de las barras crocantes y, coco rallado y pasas para el producto cereal para desayuno (Lara 1999).

Ensayo de tiempo de vida útil

Se utilizó muestras de tres productos: grano reventado, cereal para desayuno y barras crocantes de amaranto (Lara 1999). El periodo de almacenamiento fue 90 días. Los muestreos fueron cada 15 días. Las variables independientes evaluadas por Lara & Mejía (2004) fueron: productos de amaranto, tres niveles (grano reventado, cereal y barras crocantes); condiciones de almacenado (Speigel 1992), tres niveles (Normal, 25°C/50% hr; Acelerada, 30°C/75% hr y Extrema, 35°C/100% hr) y material de empaque, dos niveles (PPM y PET).

Variables dependientes

Las variables de medición: absorción de humedad, valor de peróxido, fuerza máxima de compresión, rancidez sensorial e intensidad de crocancia fueron determinadas por Lara & Mejia (2004). Escalas sensoriales de 5 categorías fueron utilizadas para detección de rancidez (1 no rancio, 2 poco rancio, 3 rancio, 4 muy rancio, 5 extremadamente rancio) e intensidad de crocancia (1 no crocante, 2 poco crocante, 3 crocante, 4 muy crocante y 5 extremadamente crocante).

Análisis Estadístico

El software Statgraphics Plus, versión 5.1 fue usado para el análisis estadístico de resultados y el ajuste de curvas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la temperatura y energía de activación

La razones incrementales de absorción de humedad (g de H_2O/100g de muestra, día) y valor de peróxido (meq de O_2/Kg de grasa, día), las dos obtenidas respectivamente, desde las curvas de absorción de humedad y valor de peróxido en función del tiempo (Lara & Mejía 2004), fueron graficadas frente a la temperatura, correspondiente a las tres condiciones de almacenamiento (Fig. 1) y (Fig.2).

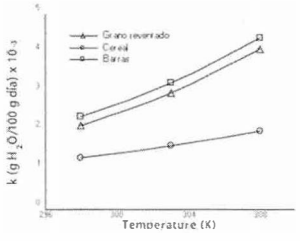


Figura. 1. Razón incremental de absorción de humedad en los productos de amaranto por efecto de la temperatura.

El estadístico R^2 mostró que el modelo de Arrenius explica entre el 78.9 al 86.3% de la variabilidad de la razón incremental de absorción de humedad y entre el 87.3 al 98.6 % de la variabilidad de la razón incremental de valor de peróxido, en los productos de amaranto empacados en PPM.

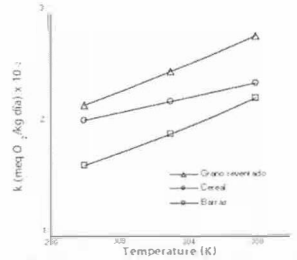


Figura 2. Razón incremental de valor de peróxido en los productos de amaranto por efecto de la temperatura.

El nivel de energía requerido para estas dos formas de deterioro no fue similar. Valores entre 43 y 65KJ/mol, correspondieron al flujo molecular por absorción de humedad y valores entre 11 y 17KJ/mol fueron atribuidos a la reacción de deterioro de los lípidos por presencia de oxígeno en el interior del empaque. La energía de activación por absorción de humedad fue estadísticamente similar en los tres productos de amaranto y significativamente diferente entre materiales de empaque. La energía de activación debida a la razón incremental de valor de peroxido fue significativamente diferente, tanto en los productos de amaranto, como por efecto del material de empaque. Aparentemente, en el cambio de energía por formación de peróxidos, fue relevante, el efecto de las características propias de los productos y los niveles iniciales de humedad y actividad de agua (Lara & Cangás 2004, Lara & Mejía 2004). En comparación con los valores reportados en Taoukis et al., (1997) y los valores más altos presentados en Almeida-Domínguez et al., (1992), la energía de activación de los productos de amaranto, debida a la absorción de humedad y valor de peróxidos fue mucho menor.

Tabla 1. Energía de activación de los productos de amaranto almacenados por 90 días a 25, 30 y 35°C (Multifactorial 3x2).

Variables	Energía de activación (KJ/mol)	
Productos*	**RIAH**	**RIVP**
Grano reventado	56.939 a	16.625 b
Cereal	56.045 a	11.248 a
Barras	49.534 a	15.872 b
Material empaque**		
PPM	42.902 a	18.117 b
PET	65.443 b	11.046 a

RIAH Razón incremental de absorción de humedad, RIVP Razón incremental de valor de peróxido.* Promedio (n = 6). ** Promedio (n = 9). Letras diferentes en una misma columna muestra diferencias significativas, (Tukey, $p < 0.05$).

Correlación entre respuestas sensoriales y mediciones no sensoriales

El modelo sicofísico de potencia (Bourne 2002) o multiplicativo, Ec. (2) y el modelo lineal, Ec. (3) fueron aplicados para evaluar la relación de rancidez sensorial con valor de peroxide (Fig. 3) y crocancia sensorial con fuerza máxima de compresión (Fig. 4), respectivamente.

La correlación del puntaje de detección sensorial de rancidez y valor de peroxido varió de 0.94 a 0.97 y fue indicativo del grado de relación entre las dos variables. El R^2 mostró que el modelo multiplicativo explica del 89 al 95% de la variabilidad de los puntajes de detección sensorial de rancidez. El coeficiente de dependencia *b* (detección de rancidez/valor de peróxido) fue estadisticamente similar en los productos de amaranto, en materiales de empaque y fue significativamente diferente entre condiciones de almacenado (Tabla 2). Sobre las curvas de correlación se estableció que hasta 20 meq de O_2/Kg de grasa, el nivel valor de peróxido fue catalogado como «1 no rancio», únicamente, en muestras almacenadas a 25°C/50% hr. En las muestras del resto de tratamientos, el puntaje sensorial a dicho límite de valor de peróxido, fue superior a 1.5, por lo tanto equivalente a la categoría «2 poco rancio» (Figure 3).

Tabla 2. Coeficientes de la Ec. (2), estadísticos del modelo y variación del coeficiente *b* en los productos de amaranto y por efecto de las condiciones de almacenado.

Factores	Coeficientes-modelo		Estadístico	
Productos*	***a***	***b***	***r***	R^2
Grano reventado	0.466	0.416 ab	0.977	95.39
Cereal	0.486	0.408 a	0.958	91.79
Barras	0.426	0.449 b	0.951	90.42
Condiciones*				
25°C/50% hr.	0.515	0.357 a	0.944	89.27
30°C/75% hr.	0.457	0.424 b	0.975	95.09
35°C/100% hr.	0.422	0.471 c	0.966	93.25
Empaque				
PPM	0.455	0.428 a	0.953	91.01
PET	0.459	0.424 a	0.970	94.06

* Promedio (n = 18). ** Promedio (n = 27). Letras diferentes en una misma columna muestra diferencias significativas. (Tukey, $p < 0.05$).

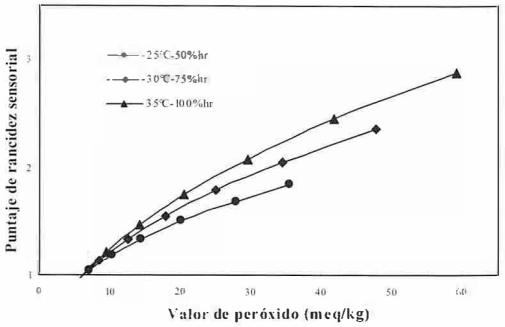


Figura 3. Validación de valor de peróxido como control de rancidez en los productos de amaranto.

La correlación y la dependencia entre la intensidad de crocancia sensorial y la fuerza máxima por compresión fueron de -0.90 a -0.95 y de 80 a 90%, respectivamente. El signo negativo mostró la relación inversa entre estas dos variables. El coeficiente de dependencia (sensorial/instrumental) resultó estadísticamente similar entre condiciones de almacenado y entre material de empaque, pero fue significativa la diferencia entre productos de amaranto (Tabla 3).

Tabla 3. Coeficientes de la Ec. (3), estadísticos del modelo y variación del coeficiente *b* en los productos de amaranto.

Factores	Coeficientes-modelo		Estadístico	
Productos*	***a***	***b***	***r***	R^2
Grano reventado	7.051	-0.140 c	-0.90	80.73
Cereal	13.702	-0.470 a	-0.95	89.07
Barras	10.575	-0.819 b	-0.91	83.49
Condiciones*				
25°C/50% hr.	9.075	-0.275 a	-0.92	85.1
30°C/75% hr.	9.061	-0.276 a	-0.90	80.84
35°C/100% hr.	8.883	-0.265 a	-0.93	87.34
Empaque				
PPM	9.033	-0.273 a	-0.92	85.57
PET	8.931	-0.269 a	-0.91	83.28

* Promedio (n = 18). ** Promedio (n = 27). Letras diferentes en una misma columna muestra diferencias significativas. (Tukey, $p < 0.05$).

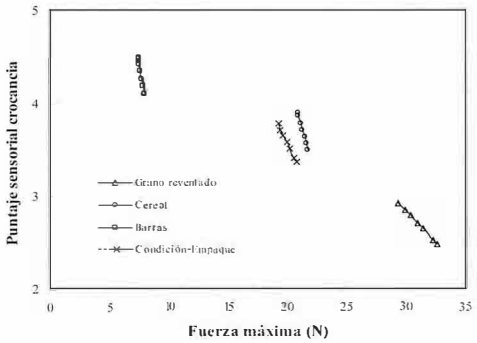


Figura 4. Validación de fuerza máxima de compresión (TA-XT2i) como control de crocancia en productos de amaranto.

La fuerza máxima de ruptura de barras crocantes, cereal para desayuno y grano reventado de amaranto, en términos de la escala sensorial, fue equivalente a las categorías descriptivas «4 muy crocante», «4 muy crocante» y «3 crocante», respectivamente (Figure 4). En grano reventado, la variación de fuerza máxima de ruptura ocasionó el descenso de la intensidad de crocancia desde «3 crocante» a «2 poco crocante». El efecto promedio de las condiciones de almacenamiento y material de empaque mostró el descenso de la intensidad de crocancia de «4 muy crocante» a «3 crocante».

CONCLUSIONES

La energía de activación por absorción de humedad varía en los productos de amaranto debido al material de empaque. La energía de activación por valor de peróxido varía por efecto del material de empaque y entre productos de amaranto. El valor de peróxido y la fuerza máxima de compresión pueden ser utilizados como parámetros de control de rancidez y crocancia, respectivamente en las pruebas de tiempo de vida útil de productos de grano reventado de amaranto.

AGRADECIMIENTOS

Internacional Foundation for Science, Stockholm, Sweden, Fundación Nacional de Ciencia y Tecnología, y Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, Quito, Ecuador.

REFERENCIAS.

Al-Ismail K., Herzallah S.M. & Humied M. (2007) Food Sci Tech. 40: 454-459.
Barrett A.H., Rosenberg S. & Ross E. (1994) J. Food Sci.59:617-620.
Bourne M. (2002). Food texture and viscosity concept and measurement (2nd ed., pp. 293-323). New York.
Chavez-Jáuregui R.N., Cardoso-Santiago R.A., Pinto e Silva M.E. & Arêas J.A.G. (2003) Int. J. Food Sci. Tech. 38:795-798
Gamel T.H., Linssen J.P., Messalleem A.S., Damir A.A. & Shekib L. (2005) J. Sci. Food Agric 85:319-327.
Gamel T.H., Linssen J.P., Messalleem A.S., Damir A.A. & Shekib L. (2006a) J. Sci. Food Agric 86:82-89.
González R., Carra C., Tosi E., Añon M.C. &Pilosof A. (2007) Food Sci. Tech. 40:136-143
Iyota H., Konishi Y., Inoue T., Yoshida K., Nishimura N., & Nomura T. (2005) Drying Tech. 23:1273-1287.
Lara N. & Ruales J. (2002) J. Sci. Food Agric. 82:797-805.
Lara N. & Ruales J. (1999a). Effect of popping process on the characteristics of amaranth starch (Amaranthus caudatus), Manuscript.
Lara N. & Ruales J. (1999b). Effect of popping processing on the chemical composition and the nutritional quality of amaranth grain (Amaranthus caudatus), Manuscript.
Lara N. (1999). Utilization of popped amaranth grain (Amaranthus caudatus) as an ingredient in food. Manuscript.
Lara N. & Cangás A. (2004). Moisture sorption isotherm of popped amaranth grain–based products. Manuscript.
Lara N. & Mejía A. (2004a). Kinetics of deterioration and shelf life of popped grain, breakfast cereal and crunchy bars of amaranth. Manuscript.
Lee C.M. & Resurreccion A.V.A. (2006) Food Sci. Tech. 39:872-882.
Neilson A.P.,Pahulu H.F., Ogden L.V. & Pike O.A. (200) J. Food Sci. 71:S461-S466.
Lucas T., Le Ray D. &Mariette F. (2007) J. Food Eng. 80 :377-384
Martínez-Tome M., Murcia M., Frega N., Ruggieri S., Jiménez A., Roses F. & Parras P. (2004) J. Agric. Food Chem. 52:4690-4699.
Roberson G.L. (1992) Food Parking, Principles and Practice; Marcel Dekker Inc.: New York; 1993; pp. 550-586
Schenetzler K.A. & Breene W.M. (1994) Food uses and amaranth products research: a comprehensive review. Paredes-López O. (ed) Amaranth: Biology, Chemistry, and Technology. CRC Press. 155-183.
Speigel A. (1992) Shelf Life Testing. In Plastic in Food Package, Properties Design and Fabrication; Brown, W., Ed.; Marcel Dekker Inc.: New York. 1992; pp. 358-396.
Taoukis P., Labuza T.P., & Sagy S. (1997) Kinetics of Food Deterioration and Shelf Life Prediction. In Food Engineering Handbook; Sagy, S., Rotstein, K., Eds.; CRC Press Inc.: Dember, Colorado. 1997; pp. 361-403.
Zapotoczny P., Markowski M., Majewska K., Ratajski A., & Konopko H. (2006) J. Food Eng. 76:469-476.

CALIDAD DE PASTAS ORGÁNICAS REFRIGERADAS

D. Olivera[1,2], F. Coll Cárdenas[1], V. Salvadori[1,2]
1 CIDCA (Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos), Facultad de Ciencias Exactas, UNLP – CONICET. Calle 47 y 116, (B1900AJJ) La Plata, Buenos Aires, Argentina.
2 MODIAL, Área Deptal. Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, UNLP.
E-mail: df_olivera@yahoo.com.ar

Palabras clave: pastas orgánicas, almacenamiento refrigerado, calidad, textura.

RESUMEN

El propósito de este estudio fue analizar la influencia del almacenamiento refrigerado en los parámetros de calidad más relevantes de pasta cocida rellena tipo lasagna, formulada con ingredientes orgánicos certificados y determinar la vida útil del producto en cuestión empleando criterios microbiológicos. Se evaluaron el contenido de humedad, la variación de color y la textura de las cintas de pastas mediante ensayos TPA y de cizalla durante el almacenamiento refrigerado. Se realizaron recuentos microbianos sobre lasagna fresca y almacenada refrigerada a fin de determinar su vida útil desde el punto de vista microbiológico y se evaluó la aceptabilidad por parte de los consumidores del producto estudiado.

Las cintas de pastas presentaron un aumento significativo del contenido de humedad y un oscurecimiento (menor valor de L*) durante el almacenamiento. En cuanto a la textura de las cintas el ensayo TPA mostró solo un aumento significativo en la adhesividad durante el almacenamiento, en el ensayo de cizalla, en cambio, se pudo observar una notoria disminución de la dureza en el período de tiempo estudiado.

A partir de los resultados microbiológicos se determinó el tiempo de vida útil del plato orgánico refrigerado, el que resultó de 6 días. De los ensayos de evaluación sensorial se infiere que los consumidores encontraron diferencias en la consistencia, en el sabor y la aceptabilidad global, presentando mayor aceptabilidad la pasta fresca. La diferencia en la consistencia podría atribuirse a las diferencias encontradas en la textura y humedad de las pastas, de la misma manera estas diferencias influirían en el sabor que percibe el consumidor y en su aceptabilidad global.

No obstante, las diferencias de aceptabilidad sensorial entre la pasta fresca y almacenada encontrada se puede inferir que la refrigeración resulta una alternativa viable para el almacenamiento a corto plazo de platos preparados a base de pastas elaboradas con materias primas orgánicas.

INTRODUCCIÓN

La calidad de un alimento depende de una combinación de atributos de valor que son significativos para determinar el grado de aceptabilidad del mismo.

Los atributos de valor son factores que están por sobre la calidad básica de inocuidad de un alimento y diferencian los productos de acuerdo a sus características organolépticas, de composición y a la satisfacción del acto de alimentarse ligada a tradiciones socio-culturales, la educación y la conveniencia.

En el ámbito mundial, el grado de exigencia de los consumidores respecto de los productos alimenticios ha ido aumentando y diversificándose, en virtud del incremento de la información disponible y ante la oferta de un sinnúmero de productos. El gran énfasis se pone con frecuencia en la relación entre la salud, la forma de vida y la dieta.

Por este motivo, cada vez más los consumidores están exigiendo que los alimentos procesados, listo para consumir, sean de alta calidad y nutritivamente superiores.

En particular el consumidor de alimentos orgánicos se interesa por conocer aspectos sobre la naturaleza del producto, los métodos de producción y transformación empleados y el respaldo de las características específicas que le ofrece el producto alimenticio (Torjusen y col., 2001).

Las pastas formuladas con ingredientes orgánicos certificados y presentadas como plato preparado, listo para consumir, representan una muy buena alternativa como alimento orgánico procesado con alto valor agregado (Olivera, 2005).

Al estudiar la aceptabilidad global de estos productos, se encuentra que sus características texturales definen en gran medida la respuesta del consumidor. En general, una pasta de buena calidad debe cumplir determinados requisitos de firmeza, elasticidad, ausencia de pegajosidad, uniformidad en la apariencia e integridad estructural (Cole, 1991).

La apariencia, relacionada con el color de la pasta, es otro parámetro de gran influencia en la aceptabilidad sensorial del plato preparado.

La evaluación sensorial resulta una herramienta útil para conocer la opinión de los consumidores, de suma importancia en los mercados actuales.

También, la aceptabilidad está estrechamente vinculada al deterioro que el alimento sufre con el transcurso del tiempo, independientemente de la tecnología de preservación utilizada. En particular, si dicha tecnología es la refrigeración es sabido que la vida útil será relativamente corta (Marth, 1998).

En consecuencia, el propósito de este estudio fue analizar la influencia del almacenamiento refrigerado en los parámetros de calidad más relevantes de pasta cocida rellena tipo lasagna, formulada con ingredientes orgánicos certificados. Para completar el estudio, se determinó la vida útil del producto en cuestión empleando criterios microbiológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación y almacenamiento de lasagna

La masa se preparó mediante la unión de harina (62.5%) y huevo (37.5%) a través del amasado mecánico utilizando una procesadora hogareña Rowenta Universo (700) a una velocidad constante de 960 rpm, durante 5 minutos. Luego se estiró con una sobadora manual y se cortaron cintas de 4cm x 10cm x 0.1cm.

Estas cintas fueron cocidas en agua a ebullición durante el tiempo óptimo de cocción correspondiente (determinado según el método AACC 16-50). La pasta cocida fue escurrida convenientemente y enfriada a temperatura ambiente. Por último se "armó" la lasagna en recipientes de aluminio individuales, de 200 g de producto cada uno, colocando tres capas de pasta y dos capas de relleno de espinaca y salsa intercaladas y una cubierta de salsa y queso. Dichos recipientes, cubiertos con papel aluminio, fueron almacenados en cámara a 4°C. Las determinaciones de los parámetros de calidad se realizaron en distintas muestras al cabo de 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 días de almacenamiento respectivamente. Como muestra control se empleó el producto fresco, recién cocido, sin almacenar.

Humedad

El contenido de humedad de las cintas de pasta cocida se determinó por el método convencional, secando hasta peso constante la muestra en estufa de vacío a 70 °C.

El contenido de humedad porcentual se calcula según la siguiente ecuación:

$$H(\%) = \frac{(P_i - P_f)100}{P_i}$$

donde: P_i: Peso inicial de la muestra, P_f: Peso final de la muestra y H (%): Contenido porcentual de humedad (b.h.)

Color
Se evaluaron los cambios de color superficial de las cintas de pasta durante el almacenamiento refrigerado mediante el empleo de un colorímetro triestímulo Minolta CR-300, calibrado con un plato estándar blanco según las instrucciones del fabricante.
Los parámetros medidos fueron los definidos por la CIE (Commission International de l'Eclairage): luminosidad (L*), enrojecimiento (a*), amarillamiento (b*).

Textura
Los estudios de textura comprendieron ensayos de análisis de perfil de textura (TPA) y ensayos de cizalla.
En ambos casos se utilizó un texturómetro TAXT2i Texture Analyzer (Stable Micro Systems, UK).
Ensayo TPA: consiste en someter a la muestra, cinta de pasta, a dos ciclos de compresión, usando una sonda P75.
A partir de las áreas y los valores máximos de las curvas obtenidas en este ensayo se determinaron los siguientes parámetros: dureza, adhesividad, consistencia, cohesividad y elasticidad. Se calculó además la masticabilidad como un parámetro derivado de la dureza, cohesividad y elasticidad del producto (Olivera y Salvadori, 2006).
Ensayo de cizalla: en este caso se utilizó la sonda Volodkevich Bite Jaws HDP/ VB, la cual simula la acción de los dientes incisivos al morder la pasta. En este ensayo se registró la fuerza en función del tiempo. la fuerza máxima es una medida de la dureza de las muestras analizadas.

Vida útil microbiológica
Se realizaron recuentos microbianos sobre lasagna fresca y almacenada refrigerada a fin de determinar su vida útil desde el punto de vista microbiológico.
Se trabajó con muestras de 10 g, las que se diluyeron con 90ml de peptona, homogeneizándose asépticamente en un Stomacher 400. A partir de este homogenato, se realizaron 2 diluciones en 9ml de peptona al 0.1%, sembrándose 0.1ml de cada una de estas en Agar PCA para recuento de microorganismos mesófilos totales (37°C, 48 hs) y en Agar YGC (30°C, 5 días) para recuento de hongos y levaduras presentes. Las muestras fueron almacenadas en cámaras a 4°C de temperatura, realizándose siembras a diferentes períodos durante un tiempo máximo de 7 días.
Los diferentes recuentos microbianos fueron modelados a partir de la ecuación de Gompertz (Zwietering y col, 1990).

Evaluación sensorial
Con el fin de evaluar la aceptabilidad por parte de los consumidores del producto estudiado con respecto a las frescas se midió la aceptabilidad sensorial por atributos, utilizando la escala hedónica.
El ensayo se realizó con 40 consumidores habituales de pastas, los que fueron previamente seleccionados (Olivera, 2005).
Cada consumidor evaluó los atributos de lasagna cocida (fresca y refrigerada 6 días): apariencia, sabor, consistencia y aceptabilidad global en una escala no estructurada anclada en los puntos: "me disgusta mucho", "me es indiferente" y "me gusta mucho".
Las muestras (pasta recién elaborada y pasta con 6 días de almacenamiento refrigerado), se presentaron a los evaluadores inmediatamente después de sacadas del horno, en recipientes individuales. Fueron dispuestas al azar, codificadas con números aleatorios de 3 dígitos.

Análisis estadístico
Los datos fueron sometidos al análisis de varianza correspondiente y las medias se compararon con el test de la diferencia mínima significativa de Fisher. tomando como referencia un nivel de significación p = 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Humedad
En la figura 1 se presenta la evolución del contenido de humedad de las pastas durante al almacenamiento refrigerado. Dicho parámetro presentó un aumento significativo al inicio del almacenamiento (Día 1) y luego se mantuvo prácticamente constante. Esta variación puede atribuirse a la difusión del agua desde el relleno (el cual tiene un contenido de humedad del 92%) hacia la pasta (McCarthy y col., 2002).

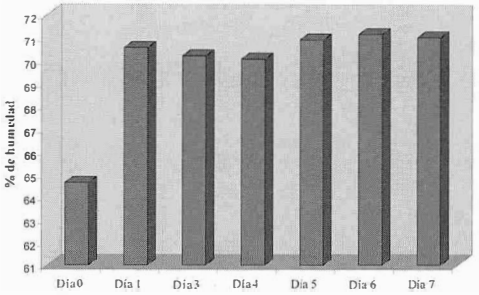


Figura 1. Contenido de humedad (%) vs tiempo.

Color
A partir de los valores de L, a y b se calculó la diferencia total de color ΔE según la siguiente ecuación:

$$\Delta E=[(\Delta L)^2+(\Delta a)^2+(\Delta b)^2]^{1/2}$$

tomando como referencia los valores correspondientes a la pasta fresca. Los resultados presentados son el promedio de 10 determinaciones.
Sólo el parámetro L presentó diferencias significativas con el tiempo de almacenamiento. En la figura 2 se muestra la evolución del parámetro ΔE, variación del color total, de la pasta durante el almacenamiento refrigerado.
En la tabla 1 se presentan los parámetros L, a y b, obtenidos en el ensayo para la pasta cocida orgánica fresca y 7 días de almacenamiento refrigerado.
La disminución del valor de L indica un oscurecimiento de la pasta durante su almacenamiento refrigerado, probablemente por absorción de jugos del relleno y salsa.

Tabla 1. Parámetros de color de la pasta durante el almacenamiento refrigerado.

Parámetros de color	Pasta Fresca	Pasta refrigerada (7 días)
L	63.10^{a} (1.07)	58.17^{b} (0.92)
a	4.78^{c} (0.40)	4.95^{c} (0.32)
b	23.12^{d} (0.67)	22.91^{d} (1.27)
ΔE		6.26 (0.85)

Los números entre paréntesis corresponden a la desviación estándar.
Las diferentes letras indican diferencias significativas entre grupos (α = 0.05).

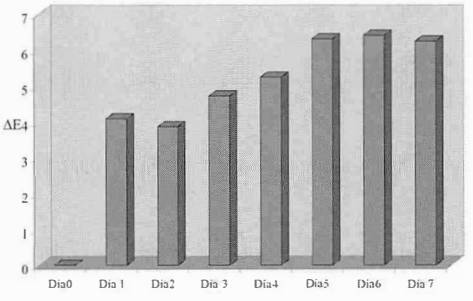


Figura 2.Parámetro ΔE vs tiempo.

Textura
En la tabla 2 se presentan los distintos parámetros obtenidos a partir del ensayo TPA, para el producto fresco y luego de 7 días de almacenamiento refrigerado.
Del análisis de los mismos resulta que solo la adhesividad presentó diferencias, aumentando significativamente con el almacenamiento.

VARIABLE RETORT TEMPERATURE OPTIMIZATION USING ADAPTIVE RANDOM SEARCH TECHNIQUES

Simpson, R., Almonacid, S., Carevic, E., Abakarov A.

Departamento de Procesos Químicos, Biotecnológicos, y Ambientales; Universidad Técnica Federico Santa María; P.O. Box 110-V; Valparaíso, Chile. E-mail: ricardo.simpson@usm.cl

KEY WORDS: Random search, global optimization, process optimization, thermal process.

ABSTRACT

This paper describes use of the method in finding optimum variable retort temperature profiles that would maximize quality retention or minimize process time without compromising target lethality or minimum required quality retention in the case of thermal processing of canned foods. Results agreed well with those previously published by others who used more traditional approaches for similar optimization problems. Results also showed that the method lent itself well to the use of a cubic spline approximation for the dynamic temperature profiles, thereby reducing significantly the number of variables and dimensional space of the problem, in contrast to other methods, while producing superior results.

INTRODUCTION

Thermal process calculations, in which process times at specified retort temperatures are calculated in order to achieve safe levels of microbial inactivation (lethality), must be carried out carefully to assure public health safety and minimum probability of spoilage. Therefore, the accuracy of the methods used for this purpose is of importance to food science and engineering professionals working in this field, (Holdsworth 1997).

Optimization of thermal sterilization is an optimal control problem, where it is necessary to search for the best retort temperature as a function of process time. Banga et al. (1991) showed that this optimal control problem could be transformed into a nonlinear programming (NLP) problem, and in most cases the NLP problem became a multi-modal optimization problem with several types of constraints. These types of optimization problems make use of classical deterministic optimization methods within a local search domain, such as Hooke-Jeeves, Nelder-Mead, and Quasi-Newton; and are frequently limited in their effectiveness. In order to ensure a global solution of these problems it would be more suitable to use global optimization methods.

This work deals with implementation of a global stochastic method for finding the optimum VRT in thermal processing of conduction heated canned food. Specific objectives were to:

- Search for the optimum variable retort temperature profile to maximize retention of a specified quality factor (thiamine) within the constraint of assuring minimum required target lethality,
- Search for the optimum variable retort temperature profile to minimize process time within the constraints of assuring both minimum required target lethality and quality retention.
- Explore the use of a cubic spline approximation for the optimum dynamic temperature profiles to simplify the problem by reducing the number of variables (dimensional space of the random search).

MATERIAL AND METHODS

Problem statement for thermal sterilization of canned foods

We deal with the particular case of a cylindrical container with the radius ***R*** and the height ***2L***. The mathematical model describing heat conduction in this case is the following mixed boundary problem (Teixeira et al. 1969):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) \quad (1)$$

Where:

T is temperature, t is time, r and z are radial and vertical location within the container, and alpha (α) is thermal diffusivity of the product.

Where: $T_{rt}(t),\ t \in [0 : t_f]$ will be the retort temperature as a function of time, and T_{in} is the initial temperature at t = 0.

The objective is: to find for problem (1) such retort function: $T_{rt}(t),\ T_{low} \le T_{rt}(t) \le T_{high}$ that final quality retention $\overline{C(t)}$ is maximized, while final process lethality, F_o^d, is held to a specified minimum. A second objective is to find for problem (1) such retort function: $T_{rt}(t),\ T_{low} \le T_{rt}(t) \le T_{high}$, that final process time t_f is minimized subject to the same lethality requirement above, while quality retention must not fall beneath some minimum.

The lethality constraint can be specified as follows:

i) $F_o(t_f) \le F_o^d$, Where F_o^d is the final lethality required, and is calculated as a function of time and temperature at the critical cold spot according to equation (3):

$$F_0(t) = \int_0^t 10^{\frac{(T-T_{ref})}{z}} dt \quad (3)$$

Where ***T*** is the temperature at the critical point or cold spot, normally the geometric center of the container (in the case of conduction-heated canned foods). The lethality at the end of the process was estimated by summing up the lethality at the center point for each time interval utilizing Gaussian's quadratures method.

Quality retention, on the other hand, is greatly affected by the non-uniform temperature distribution existing at any point in time from the heated boundary to the cool center cold spot, and must be integrated in space over the volume of the container, as well as over time. To accomplish this integration over both space and time, the following approach was used:

ii) $\overline{C(t_f)} \ge C^d$, Where C^d will be the desired volume-average final quality retention value, and would be calculated as shown in equation (4):

$$\overline{C(t)} = C_0 \frac{2}{LR^2}\int_0^L\int_0^R \exp\left[-\frac{\ln 10}{D_{ref}}\int_0^t 10^{\frac{(T-T_{ref})}{z}}\right] dr\,dz \quad (4)$$

The $\overline{C(t)}$ values evaluated by Gaussian's quadratures method included 6 nodes in the radial and vertical direction.

Adaptive random search method

The adaptive random search method is a global stochastic optimization method (Sushkov, 1969). This method, like many stochastic methods, does not require any *a priori* information about an optimization problem. Let the global optimization problem be formulated as follows, in which some objective function $[\Phi(x)]$ is to be minimized (or maximized) over a set of candidate decision variables (X):

$$\Phi(x) \rightarrow \min_{x \in X},$$

where:

$X = [0,1]^n \subset R^n$ — is a non-empty set of feasible decisions (a proper subset of R^n),

$x = \langle x_1, x_2, K, x_n \rangle \in X$ — is a real $n-$ vector decision variable (e.g. choices of time – temperature combinations), and

$\Phi : R^n \rightarrow R$ — is a continuous objective function.

Let $I_i \subset \mathcal{X}$ be a perspective interval for variable $x_i, i \in 1:n$. Let I be a Cartesian product of sets $I_i, i \in 1:n$. Let I be (for the random search) a perspective domain with center point $x_i^o, i \in 1:n$. Then, in general the algorithm of random search can be described as follows:

The process of random search is divided into steps N_s. On every step the vector $x^j, j \in 1:N_s$, is randomly selected and the value of the objective function $\Phi^j = \Phi(x^j)$ is calculated.

By using the formula

$$\Phi_{min}^j = \min\{\Phi^j, \Phi_{min}^j\} \qquad (5)$$

A minimal value of the objective function in the step j, $j \in 1:N_s$ is calculated.

After every calculation of (1) the distribution law of vector $x = \langle x_1, x_2, K, x_n \rangle$ is modified so that the probability of finding the optimal value of the objective function is increased. To increase this probability the algorithm uses information from the objective function obtained at the previous steps.

For random selection of the vector $x = \langle x_1, x_2, K, x_n \rangle$, the algorithm uses a pedestal frequency distribution. For example, Fig. 1 shows a pedestal frequency distribution for the two-dimensional case of an optimization problem. In this figure, $2q$ is the width of the perspective interval for the objective function domain; (x_1^o, x_2^o) is the center of the perspective interval; H is the probability density for the perspective interval, and h is the probability density for a non-perspective interval.

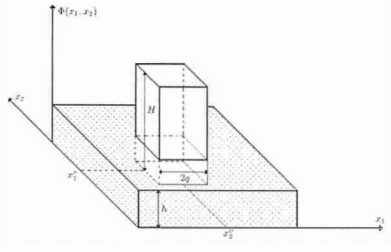


Figure 1. Pedestal frequency distribution for a 2-dimension optimization problem.

Sufficient efficiency of this method was confirmed with several known test functions (Sushkov and Abakarov, 2002).

Penalty functions

To handle constraints i) and ii), the following penalty functions were used:

$$P_1 = A \times \left(F_o^d - F_o(t) + \left|F_o^d - F_o(t)\right|\right),$$

$$P_2 = A \times \left(C^d - \overline{C(t)} + \left|C^d - \overline{C(t)}\right|\right),$$

$$t \in [0 : t_f],$$

Where A is a sufficiently large number. Use of this kind of penalty function will lead very quickly to finding such $X' \subseteq X$ that all given constraints are satisfied when the random search is implemented.

Process optimization and computer simulation

In this work the function $T_{rt}(t)$ over $t \in [0 : t_f]$, was parameterized using N_p points. During each time interval $t_k' = [t_k, t_{k+1}), k \in 0 : (N_p - 1)$ the value of $T_{rt}(t_k')$ remains constant u_k. The search procedure used the following objective function:

$$\Phi(u_1, u_2, K, u_{N_p-1}, t_f) = t_f + P_1 + P_2, \; t \in [t_{left}, t_{right}]$$

,where t_{left} and t_{right} were obtained from the following expressions:

$$F_0^d = \int_0^{t_{right}} 10^{\frac{(T_{low} - T_{ref})}{z}} dt,$$

$$F_0^d = \int_0^{t_{left}} 10^{\frac{(T_{high} - T_{ref})}{z}} dt.$$

Results from the optimal VRT profile process obtained from the random search were compared with those from the optimal constant retort temperature (CRT) process. Simulations for a constant and variable temperature profile were executed on a PC with Intel Pentium IV, 2.4 Ghz, 2Gb RAM. All the parameters utilized in the simulation study were taken from García et al., (2005).

Two optimal VRT thermal process optimization problems were solved with the use of this method as follows:

- Search for the optimum variable retort temperature profile to maximize retention of a specified quality factor (thiamine) within the constraint of assuring minimum required target lethality,
- Search for the optimum variable retort temperature profile to minimize process time within the constraints of assuring both minimum required target lethality and quality retention.

Results were compared with those reported by García et al., (2005) in those cases where the problem conditions were the same for both methods.

RESULTS AND DISCUSSION

Maximizing Quality Retention with Optimum Constant Retort Temperature (CRT)

As a first step in this optimization problem, it was necessary to find all those combinations of constant retort temperature (CRT) and process time for the conditions listed in Table 1 that would deliver the same final target value of lethality. In this example, a target lethality of $F_o^d = 8$ minutes was chosen to produce the iso-lethality curve shown in Figure 2.

Each point on this curve defines a constant retort temperature and process time resulting in a final target lethality of $F^{i}_{O} = 8$ minutes (typical for many canned foods). For each of these equivalent processes, the final level of quality (thiamine) retention $C(t)$ was calculated, and presented as an optimization curve in Figure 3.

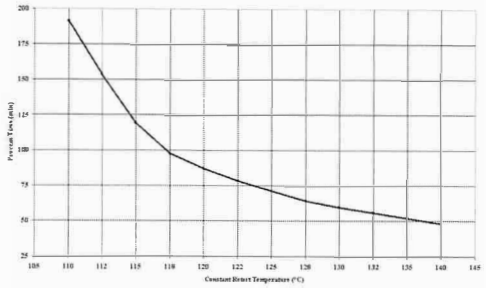


Figure 2.- Iso-lethality curve for Fo=8 min, showing equivalent process combinations of retort temperature and process time that will deliver the same target lethality of F_o = 8 minutes.

We can see from Figure 3 that the maximum level of thiamine retention possible with a constant retort temperature (CRT) was approximately 53% over the range of possibilities, which could be as low as 40%. The optimum CRT process for this product is one in which the retort temperature is held constant at 118 °C, with a corresponding process time (time between steam on and off) of 98 minutes. These results agree well with those reported earlier for the same problem by Balsa-Canto et al. (2002) as well as those reported much earlier by Teixeira et al. (1969).

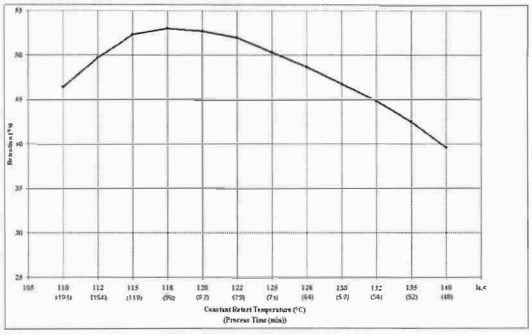


Figure 3.- Optimization curve showing thiamine retention (quality attribute) as a function of equivalent constant retort temperature processes, taken from iso-lethality curve shown in Figure 2.

Maximizing Quality Retention with Optimum Variable Retort Temperature (VRT)

Random search by discrete process time intervals

The next step was to see if any further improvement in thiamine retention would be possible with an optimum variable retort temperature (VRT) profile within the upper and lower limits of retort temperature in the range of this study (110– 140 °C). The random search technique was first applied by describing the VRT profile as a discrete step-wise function of time intervals, each at a different constant retort temperature. The number of time intervals was an independent variable to be chosen by the investigator, as well as the number of process calculations (iterations) to be employed in the search. It was presumed that better results could be achieved as the either or both of these variables were increased in number at cost of added computation time.

Results were obtained first for the case of only 5 process time intervals with 1,500 and then 3,000 iterations (Figures 4 and 5).

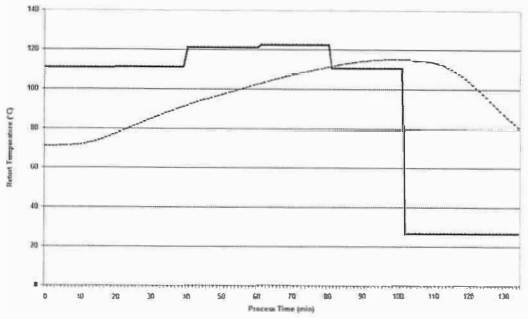


Figure 4.- Optimum VRT profile for maximum thiamine retention (55%) from random search using discrete stepwise function with 5 steps and 1,500 iterations.

These results are also similar to those reported earlier by Teixeira et al. (1975) for a similar optimization problem, and show that an optimum VRT process could further increase maximum thiamine retention only modestly to 55% from the 53% possible with the optimum CRT process. However, the optimum VRT process would require a slightly longer process time of 102 minutes, instead of 98 minutes with the optimum CRT process. These results also show that little benefit was gained from increasing the number of iterations with only 5 time intervals.

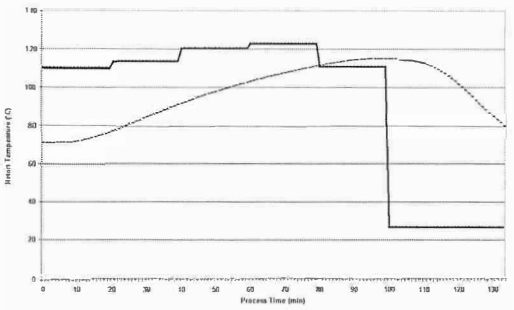


Figure 5.- Optimum VRT profile for maximum thiamine retention (55%) from random search using discrete stepwise function with 5 steps and 3,000 iterations.

The problem was then repeated with 10 process time intervals (twice the number used previously) to approach a smoother VRT profile, and even a greater number of iterations (5,000) to obtain the results shown in Figure 6.

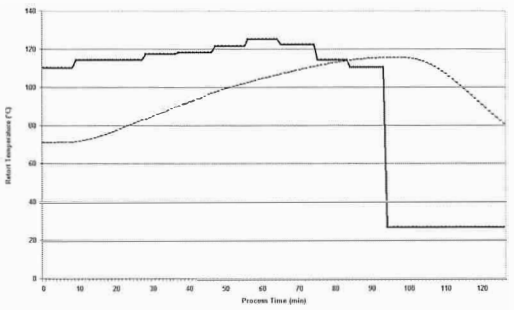


Figure 6.- Optimum VRT profile for maximum thiamine retention (55%) from random search using discrete stepwise function with 10 steps and 5,000 iterations.

Again, the same maximum thiamine retention of 55% was achieved, but this time with a significant reduction of process time to down to only 94 minutes. These findings would suggest that savings in process time could be possible without compromising maximum thiamine retention if the VRT profile could be carried out as smoothly as possible, suggesting the use of the cubic spline.

Random search by cubic spline approximation for maximum retention

The above problem was again repeated with use of the cubic spline instead of the discrete time intervals to describe candidate VRT profiles in the random search, using only a minimum of 1000 iterations for process calculations, to produce the results shown in Figure 7.

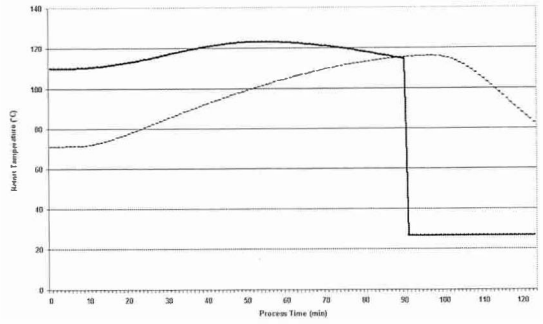


Figure 7.- Optimum VRT profile for maximum thiamine retention (55%) from random search using cubic spline approximation and 1,000 iterations.

Once again, the same maximum thiamine retention of 55% was achieved, but this time with a further reduction in process time, down to only 91 minutes. This is a significant reduction in process time from the original optimum VRT process time of 102 minutes (shown previously in Figures 4 and 5), or the optimum CRT process time of 98 minutes, which achieved only 53% maximum thiamine retention.

The cubic spline seems to deliver a combined optimization of maximum quality retention with minimal process time, and requires only 2 or 3 points to define the VRT profile (instead of 5 or 10 discrete time intervals). Note also, that these superior results were achieved with only a fraction of the number of calculation iterations required with discrete time intervals (1,000 instead of 5,000). These results suggest that the random search technique with use of the cubic spline approximation can be a very effective tool in dynamic process optimization studies.

Minimizing Process Time with Optimum Variable Retort Temperature (VRT)

Random search by discrete process time intervals

The alternative optimization problem of searching for the optimum variable retort temperature profile that would minimize process time within the constraints of assuring both minimum required target lethality and quality retention was attempted next. In this case, the search routine was restricted in two ways, first to satisfy the lethality constraint of $F_o^d = 8$ minutes, as before, but also the quality constraint that thiamine retention could not fall below 50% ($\overline{C(t)} > 0.5$). Again, the random search technique was first applied by describing the VRT profile as a discrete step-wise function using 10 time intervals with 5,000 calculation iterations to obtain the best results possible with a step-wise function. These results are shown in Figure 8, revealing a minimum process time of 72 minutes by compromising thiamine retention to a minimum of 50%.

This is a significant savings in process time from the nearly 100 minutes required for 55% thiamine retention. Moreover, most food manufacturers would judge that the difference between 55% and 50% thiamine retention would be imperceptible in the market place, and would be a small price to pay for such dramatic reduction in process time, which directly impacts plant capacity and productivity.

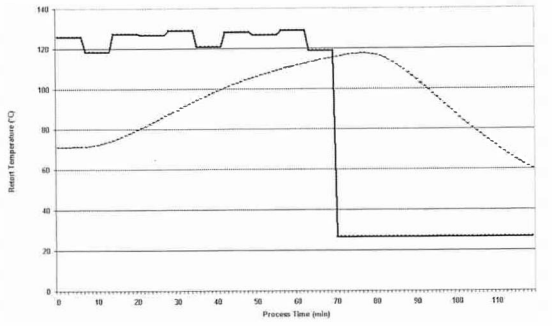


Figure 8.- Optimum VRT profile to minimize process time while assuring minimum thiamine retention (50%) from random search using discrete stepwise function with 10 steps and 5,000 iterations.

However, as before, it is important to see if the optimum VRT process gained any advantage over use of the optimum CRT process for this purpose. The optimum CRT process can be quickly identified from the optimization curve in Figure 3 and the related iso-lethality curve in Figure 2. Reference to Figures 3 and 2 show that the optimum CRT process that will deliver minimum process time while holding thiamine retention above 50% is a process with constant retort temperature at 125 °C and a process time of 71 minutes. In this case, minimum process time with the optimum CRT process is essentially the same as that with the optimum VRT process, and there is no advantage to a VRT process for this purpose.

Random search by cubic spline approximation for minimum process time

The above minimum process time problem was again repeated with use of the cubic spline instead of the discrete time intervals to describe candidate VRT profiles in the random search using only a minimum of 1000 iterations for process calculations to produce the results shown in Figure 9. Once again, the same minimum thiamine retention of 50% was achieved, but this time with a further reduction in process time, down to only 68 minutes. This is a considerable reduction in process time from the 72 minutes obtained the random search was carried out by discrete step-wise time intervals. These findings further support our belief that use of the cubic spline in approaching global optimization problems with random search techniques can produce superior results over discrete step-wise functions, and can be a very effective tool in dynamic process optimization studies.

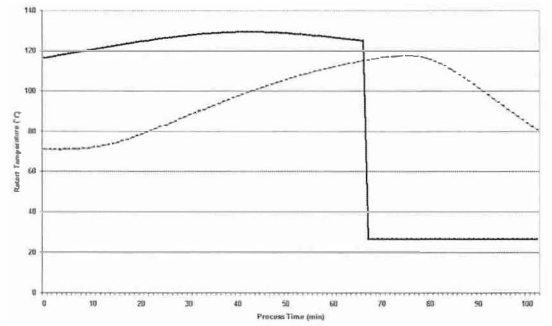


Figure 9.- Optimum VRT profile to minimize process time while assuring minimum thiamine retention (50%) from random search using cubic spline approximation and 1,000 iterations.

SUMMARY AND CONCLUSION

A summary of the results presented in Figures 4 – 9 is given in Table 1 for quick reference in appreciating the conclusions that can be drawn from this work as follows:

1. Global optimization with random search techniques can be used effectively to search for optimum variable retort temperature processes that will either:
    - Maximize quality retention subject to achieving minimum target lethality, or
    - Minimize process time to reach target lethality subject to holding quality retention to a specified minimum.
2. Use of the cubic spline in approaching global optimization problems with random search techniques can produce superior results over discrete step-wise functions, and can be a very effective tool in dynamic process optimization studies.
3. Use of the cubic spline can greatly improve the calculation of challenging dynamic optimization problems.
4. Use of the cubic spline can be applied to obtain high-quality optimal solutions in a very reasonable computation time, in particular to be utilized for optimal on-line control.

Table 1.- Summary of results from global optimization with random search.

Optimization results for various random search conditions	Thiamine Retention (%)	Process Time (min)	F_o (min)
Maximum Retention (CRT)	*53*	*98*	*8*
Maximum Retention (VRT)			
Fig. 4: 5 steps × 1500	55	102	8
Fig. 5: 5 steps × 3000	55	101	8
Fig. 6: 10 steps × 5000	55	94	8
Fig 7: Cubic Spline × 1000	55	91	8
Minimum Time (CRT)	*50*	*71*	8
Minimum Time (VRT)			
Fig.8: 10 steps × 5000	50	72	8
Fig.9: Cubic Spline × 1000	50	68	8

REFERENCES

Almonacid-Merino, S. F., Simpson, R., & Torres, J. A. (1993). Time variable retort temperature profiles for cylindrical cans: Batch process time, energy consumption, and quality retention model. Journal of Food Proc. Eng. 16: 271–287.

Atkinson, K. (1985). *Elementary Numerical Analysis*. John Wiley & Sons. New York.

Balsa-Canto, E., Banga, J.R., and Alonzo, A.A. (2002). A novel, efficient and reliable method for thermal process design and Optimization. Part II: Applications. J. Food Engr. 52: 235-247.

Banga, J. R., Perez-Martin, R. I., Gallardo, J. M., & Casares, J. J.(1991). Optimization of thermal processing of conduction-heated canned foods: Study of several objective functions. Journal of Food Engr. 14: 25–51.

Banga, J. R.; Balsa-Canto, E.; Moles, C. G.; Alonso, A. A. (2003). Improving food processing using modern optimization methods. Trends in Food Science and Technology, 14(4): 131-144.

García, M.S.G., Balsa-Canto, E., Alonso, A.A. and Banga, J. R. (2005) Computing optimal operating policies for the food industry. J. Food Engr. 74(1): 13-23.

Holdsworth, S.D. 1997. Thermal processing of packaged foods. Blackie Academic & Professional. London.

Simpson, R., Almonacid, S., and Teixeira, A. (2003). Optimization criteria for batch retort battery design and operation in food canning-plants. J. Food Proc. Eng. 25(6): 515-538.

Sushkov Yu.A. (1969). Method, algorithm and program of random search. Leningrad, VNII Transmash. 43 p.

Sushkov Yu. and Abakarov A. (2002). The statistical research of random search. Mathematical models. Theory and application. Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State University, pp.70-101.

Teixeira, A.A. 1992. Thermal process calculations, Chapter 11 in Handbook of Food Engineering. D.R. Heldman and D.B. Lund (eds.). Marcel Dekker, Inc. New York, pp. 563-619.

Teixeira, A.A., J.R. Dixon, J.W. Zahradnik, and G.E. Zinsmeister. Computer optimization of nutrient retention in thermal processing of conduction-heated foods. Food Technol. 1969, 23(6): 137-142.

Teixeira, A.A., G.E. Zinsmeister, and J.W. Zahradnik. Computer simulation of variable retort control and container geometry as a possible means of improving thiamine retention in thermally-processed foods. J. Food Sci. 1975. 40(3): 656-659

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DE ECUACIONES QUE RELACIONAN A LOS SÓLIDOS TOTALES Y A LA PROTEÍNA DE LECHE DE VACA CON LA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Alvarado, Juan de Dios y Pujos Al., Maritza Isabel.
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
Centro de Investigación Científica (CENI – Proyecto PMVL-UTA)
Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos
Ciudadela Huachi. Av. Los Chasquis. Casilla 18-01-0334
AMBATO – ECUADOR
E-mail: fcial@uta.edu.ec

Palabras clave: modelado, leche, proteína, sólidos totales, gravedad específica.

RESUMEN

El trabajo se realizó con el propósito de disponer de ecuaciones para determinar el contenido de sólidos totales y de proteína por medida de la gravedad específica en leche de vaca.
Mediante el desarrollo de un modelo matemático basado en el efecto aditivo de las fracciones volumétricas de los componentes, se establecieron ecuaciones que relacionan a la gravedad específica con el contenido de sólidos totales o extracto seco total, y con el porcentaje de proteína bruta de la leche.
Para demostrar la validez de las ecuaciones, se trabajó con muestras de leche entera, termostatizadas a 15° y 39°C. Se prepararon cuatro submuestras mediante la adición de cantidades conocidas de caseinato de calcio comercial Casec y se procedió a medir la gravedad específica por quintuplicado y con una réplica, mediante hidrómetro. Pruebas iguales se realizaron con la adición de un concentrado proteínico de caseína Unysin. En todos los casos se observó el cumplimiento de la linealidad prevista por el modelo a las dos temperaturas de trabajo y una aproximación aceptable de los valores numéricos de la pendiente y del intercepto entre las ecuaciones modelo y las ecuaciones de regresión obtenidas con los datos experimentales.
Comparaciones hechas con datos obtenidos mediante análisis químicos de muestras de leche cruda y pasteurizada, demuestran que las ecuaciones presentadas son útiles para calcular el porcentaje en peso de sólidos totales y de proteína esperados en leche entera de vaca, mediante la determinación de la gravedad específica o de los grados lactodensimétricos, con las ventajas que se requiere poca cantidad de muestra, menos tiempo para la medida, es más económica y ascequible a los productores, comercializadores y procesadores de leche.

1. INTRODUCCIÓN

Harper y Hall (1976) presentaron una amplia clasificación de los componentes de la leche según su naturaleza físico-química, indicaron que las partículas dispersas existen en tres estados básicos: solución verdadera, así lactosa, cationes, aniones, sales, vitaminas y otros componentes orgánicos menores; suspensión coloidal, así las caseínas y las proteínas del suero; emulsión, así el sistema lípido de la leche. Entonces, los componentes mayores aparecen en uno de los estados físicos predominantes y las propiedades físico-químicas de todos y cada uno de ellos afectan las características de los diferentes productos de lechería.
Según lo anterior, no es extraño que se realicen numerosos esfuerzos para establecer correlaciones entre propiedades físicas y componentes químicos, tendientes a establecer la composición o elucidar la estructura de los componentes mayores de la leche. Entre ellos, Alvarado (1996) se refiere a los trabajos de Fleischman y Babcock, quienes desarrollaron independientemente modelos que relacionan a la gravedad específica y los grados lactodensimétricos con el contenido de sólidos totales, para cuantificar el contenido de grasa. Alvarado (2003) presentó un método para el desarrollo de ecuaciones que posibilitan el cálculo de la grasa de leches con diferente composición proximal, por medida de la gravedad específica en muestras preparadas con la adición de lactosa.
Un buen número de investigaciones están orientadas hacia la materia grasa, en menor número hacia la fracción proteínica, a pesar que desde el punto de vista nutritivo la proteína de la leche es posiblemente el componente de mayor importancia. Según Walstra y Jenness (1987), el contenido proteínico total se expresa a menudo como "proteína bruta", calculada por N * 6,38, el valor que se obtiene es 4 a 8% mayor que el de "proteína verdadera" porque incluye el nitrógeno de los componentes nitrogenados no proteicos. El método Kjeldahl es ampliamente utilizado para determinar el nitrógeno, a pesar de ser algo pesado y requerir de tiempo se utiliza como referencia.
La necesidad de disponer de métodos más sencillos y rápidos para los ensayos rutinarios de un número grande de muestras, requerido para pagar la leche basándose en su contenido proteínico, impulsó el desarrollo del presente trabajo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Preparación de muestras y submuestras

Se trabajó con leche fresca de vaca suministrada en forma directa por productores de la localidad. Se obtuvieron muestras de aproximadamente 15 litros de leche entera cruda de vaca. De cada muestra se prepararon submuestras con la adición de 0, 0,5, 1,0, 1,5% [w/w] de caseinato de calcio de la Casa Novartis (Casec con 88% de proteína como caseinato de calcio lecitinado, 2% de grasa) y de un complejo proteínico de la Casa Universal Nutrition (Unysin con 59% de proteínas de leche, 2% grasa y 29% de carbohidratos), en las que se realizaron las determinaciones de gravedad específica con las muestras termostatizadas a 15 y 39°C.
La incorporación de caseinato de calcio se realizó a temperatura ambiente aplicando una ligera agitación que permite mezclar las fases, se calentó la mezcla hasta 28°C por 2 minutos y se enfrió hasta 15°C con agitación constante. Para el caso del complejo proteínico de caseína, se mezcló y agitó la mezcla a temperatura ambiente para evitar la presencia de grumos, se calentó hasta 39°C y se mantuvo a esta temperatura por 2 minutos a fin de que la caseína se encuentre totalmente incorporada y disuelta en la leche, se enfrió con agitación constante y se dejó en reposo por 10 minutos antes de hacer las determinaciones.

2.2. Métodos físicos

La gravedad específica se midió en probetas de 250 ml con un hidrómetro calibrado y con una precisión de 0.0005, según el método indicado por Alvarado y Aguilera (2001).

2.3. Análisis químicos

2.3.1. Determinación de sólidos totales.
Según la Norma INEN 14 (1982), se desecó la muestra en estufa a 103°C por tres horas, previa exposición de la cápsula, por treinta

minutos, al vapor de un baño de agua en ebullición y se pesó el residuo que corresponde a los sólidos totales de la leche, por diferencia se establece la humedad.

2.3.2. Determinación de proteína.

Según la Norma INEN 16 (1983), se determina el contenido de nitrógeno total mediante digestión de la muestra, seguido de destilación y neutralización, utilizando el factor N * 6,38 para expresarlo como proteína bruta.

2.4. Desarrollo de ecuaciones modelo para cuantificar el contenido de sólidos totales y de proteina.

2.4.1. Para leche entera a 15°C.

La composición proximal de la leche posibilita el desarrollo de un modelo matemático simple, basado en la suposición que la contribución de los componentes mayores, tienen un efecto aditivo en la gravedad especifica, en cuyo caso:

$(GE)_{leche} = H\,(GE)_H + (MS)\,(GE)_S$ (1)

Siendo: $(GE)_{leche}$ la gravedad especifica de la leche, H el contenido de agua o humedad expresado como fracción unitaria, $(GE)_H$ la gravedad especifica del agua, (MS) la materia seca expresada como fracción unitaria y $(GE)_S$ la gravedad especifica de la materia seca.

Si: $H = 1 - (MS)$ (2)

Por reemplazo se obtiene:

$(GE)_{leche} = (1 - (MS))\,(GE)_H + (MS)\,(GE)_S$ (3)

$(GE)_{leche} = (GE)_H - (MS)\,(GE)_H + (MS)\,(GE)_S$ (4)

Se conoce que a 15°C, $(GE)_H = 1$. El valor de $(GE)_S$ se calculó según los datos promedios de composición proximal obtenidos en numerosas muestras de leche de la localidad, que corresponden a 12,2 [g/100 g] y están constituidos por grasa 3,4 [g/100 g], proteína 3,1 [g/100 g], carbohidratos 5,1 [g/100 g] y minerales 0,6 [g/100 g], con la ecuación siguiente.

$(GE)_S = G^v\,(GE)_G + P^v\,(GE)_P + C^v\,(GE)_C + Z^v\,(GE)_Z$ (5)

Los términos G^v, P^v, C^v y Z^v corresponden a las fracciones volumétricas unitarias de grasa, proteína, carbohidratos y cenizas calculadas en base a la materia seca, con sus correspondientes valores de gravedad especifica (GE). Los valores de gravedad especifica se obtuvieron a partir de los valores de densidad calculados con el modelo de Choi y Okos (1986), divididos para la densidad del agua a la temperatura seleccionada.

Densidad del agua.

$\rho_H = 999{,}18 + 3{,}1439*10^{-3}\,T - 3{,}7574*10^{-4}\,T^2$ (6)

$\rho_H = 999{,}18 + 3{,}1439*10^{-3}\,(15) - 3{,}7574*10^{-4}\,(15)^2 = 999{,}14$ [kg/m3]

Densidad de la grasa.

$\rho_F = 925{,}59 - 4{,}1757*10^{-1}\,T$ (7)

$\rho_F = 925{,}59 - 4{,}1757*10^{-1}\,(15) = 919{,}33$ [kg/m3]

Densidad de la proteína.

$\rho_P = 1329{,}9 - 5{,}1840*10^{-1}\,T$ (8)

$\rho_P = 1329{,}9 - 5{,}1840*10^{-1}\,(15) = 1322{,}12$ [kg/m3]

Densidad de los carbohidratos.

$\rho_B = 1599{,}1 - 3{,}1046*10^{-1}\,T$ (9)

$\rho_B = 1599{,}1 - 3{,}1046*10^{-1}\,(15) = 1594{,}44$ [kg/m3]

Densidad de las cenizas.

$\rho_Z = 2423{,}8 - 2{,}8063*10^{-1}\,T$ (10)

$\rho_Z = 2423{,}8 - 2{,}8063*10^{-1}\,(15) = 2419{,}59$ [kg/m3]

Los fracciones volumétricas de los componentes en la materia seca se calculan utilizando las valores de densidad, así de la grasa.

$G^v = (G/\rho_F)/((G/\rho_F) + (P/\rho_P) + (C/\rho_C) + (Z/\rho_Z))$ (11)

$G^v = (0{,}034/919{,}33)/((0{,}034/919{,}33) + (0{,}031/1322{,}12) + (0{,}051/1594{,}44) + (0{,}006/2419{,}59)) = 0{,}39$

En forma similar se calcularon las fracciones volumétricas de los otros componentes en la materia seca: proteína $P^v = 0{,}25$, carbohidratos $C^v = 0{,}34$, cenizas $Z^v = 0{,}02$.

La gravedad especifica de la materia seca, con la ecuación (5):

$(GE)_S = 0{,}39*0{,}920 + 0{,}25*1{,}323 + 0{,}34*1{,}596 + 0{,}02*2{,}422 = 1{,}28$ (12)

Por reemplazo en la ecuación (4):

$(GE)_{leche} = 1 - (MS) + 1{,}28\,(MS)$ (13)

$(GE)_{leche} = 1 + 0{,}28\,(MS)$ (14)

$(MS) = 3{,}57\,(GE)_{leche} - 3{,}57$ (15)

Para expresar (MS) en [g/100 g de producto]:

$(MS) = 357\,(GE)_{leche} - 357$ **(16)**

Con los mismos criterios, se desarrolló una ecuación modelo para establecer el efecto de la proteína en la forma siguiente:

$(GE)_{leche} = H\,(GE)_H + (P)\,(GE)_P + (SR)\,(GE)_R$ (17)

Además de los términos ya definidos, (P) es el contenido de proteína expresado como fracción unitaria, (SR) corresponde a los sólidos residuales no proteínicos o extracto libre de nitrógeno, $(GE)_P$ es la gravedad específica de la proteína y $(GE)_R$ es la gravedad específica de los sólidos residuales no proteínicos o extracto libre de nitrógeno.

Si: $H = 1 - (P) - (SR)$ y $(SR) = 0{,}122 - 0{,}031 = 0{,}091$ (18)

Por reemplazo se obtiene:

$(GE)_{leche} = (1 - (P) - 0{,}091)\,(GE)_H + (P)\,(GE)_P + 0{,}091\,(GE)_R$ (19)

Se conoce que $(GE)_H = 1{,}0$, y $(GE)_P = 1{,}323$. El valor de $(GE)_R$ se calcula como en el caso anterior, con:

$(GE)_R = G^v\,(GE)_G + C^v\,(GE)_C + Z^v\,(GE)_Z$ (20)

Fracción volumétrica de la grasa en la materia seca sin proteína.

$G^v = (G/\rho_G)/((G/\rho_G) + (C/\rho_C) + (Z/\rho_Z))$ (21)

$G^v = (0{,}034/919{,}33)/((0{,}034/919{,}33) + (0{,}051/1594{,}44) + (0{,}006/2419{,}59)) = 0{,}52$

En forma similar se calcularon las fracciones volumétricas de los otros componentes en la materia libre de nitrógeno: carbohidratos $C^v = 0{,}45$, cenizas $Z^v = 0{,}03$.

La gravedad especifica de la materia residual que corresponde al extracto libre de nitrógeno es:

$(GE)_R = 0{,}52 * 0{,}920 + 0{,}45 * 1{,}596 + 0{,}03 * 2{,}422 = 1{,}27$ (22)

Por reemplazo en la ecuación (19):

$(GE)_{leche} = 1 - (P) - 0{,}091 + 1{,}323\,(P) + 0{,}091 * 1{,}27$ (23)

$(GE)_{leche} = 1{,}024 + 0{,}323\,(P)$ (24)

$(P) = 3{,}10\,(GE)_{leche} - 3{,}17$ (25)

Para expresar (P) en [g/100 g de producto]:

$(P) = 310\,(GE)_{leche} - 317$ **(26)**

2.4.2. Para leche entera a 39°C.

Por igual procedimiento, con el razonamiento que a 39°C el valor de la gravedad especifica permanece aproximadamente constante, baja ligeramente debido a que la expansión de la grasa es mayor que la del agua y a que disminuye ligeramente la contracción de los componentes sólidos al mezclarse con el agua, en consecuencia $(GE)_H = 1$. El valor de $(GE)_S$ se espera que cambie pues depende de los valores de la densidad, la cual si es afectada por la temperatura, se llega a:

$(MS) = 370\,(GE)_{leche} - 370$ **(27)**

La ecuación modelo para distinguir el efecto de la proteína es:

$(P) = 322\,(GE)_{leche} - 329$ **(28)**

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se destaca que las ecuaciones modelo que relacionan a la gravedad específica con la materia seca también conocido como extracto seco total [(16) y (27)] son lineales y los valores de la pendiente y del intercepto son iguales. Las ecuaciones que relacionan a la gravedad específica con la proteína [(26) y (28)] son lineales, los valores del intercepto son un poco superiores a los de la pendiente. Según lo anterior, existe la posibilidad de desagregar el valor del intercepto en una forma que incluya al contenido de proteína como un factor asociado en la relación gravedad específica con materia seca de la leche de vaca.

En la Figura 1 se presenta la relación entre la gravedad especifica y el contenido de sólidos totales en muestras de leche con la adición de dos concentrados proteínicos comerciales (Casec y Unysin) a dos temperaturas (15° y 39°C). Se puede observar que de acuerdo con las ecuaciones modelo, en el intervalo de concentraciones analizado y en todos los casos existe una relación lineal entre las variables, con coeficientes de determinación superiores a 0,9, estos valores de las regresiones a 15°C son superiores a los de 39 °C e indican que es mejor trabajar a

temperaturas bajas. Los valores numéricos de la pendiente y del intercepto de las ecuaciones de regresión son inferiores a los de las ecuaciones modelo, y se explica pues los compuestos utilizados no son puros, además de proteína contienen grasa, carbohidratos y minerales; además estos dos términos, si bien no son iguales como en las ecuaciones modelo son próximos.

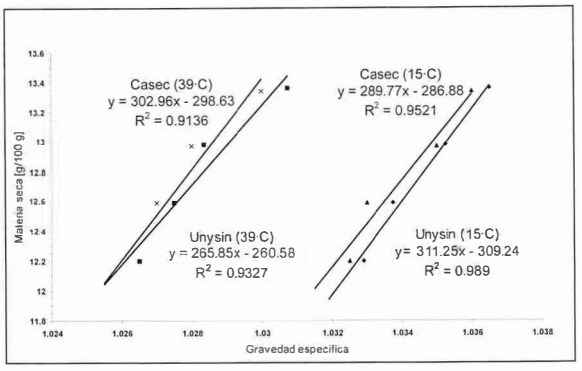


Figura 1. Relación entre la gravedad específica y el contenido de sólidos totales [g/100 g] en muestras de leche de vaca con la adición de dos concentrados proteínicos comerciales (Casec y Unysin) a dos temperaturas (15° y 39°C). Valores promedios de 5 repeticiones con una réplica.

En la Figura 2 se observa la relación entre la gravedad específica y el contenido de proteína en muestras de leche con la adición de los dos concentrados proteínicos a 15° y 39°C. De acuerdo con las ecuaciones modelo, en todos los casos existe una relación lineal entre las variables, con coeficientes de determinación superiores a 0,9. Los valores de correlación correspondientes a las regresiones a 15°C, son superiores a los de 39°C, confirman que es mejor trabajar a temperaturas bajas. Los términos de las ecuaciones de regresión cuando se utilizó Casec para incrementar el contenido de proteína, son muy próximos a los de las ecuaciones modelo, las diferencias son mayores al utilizar Unysin; es conveniente trabajar con Casec que además es más soluble. Los valores numéricos del intercepto de las ecuaciones de regresión son ligeramente superiores a los de la pendiente, situación destacada en las ecuaciones modelo

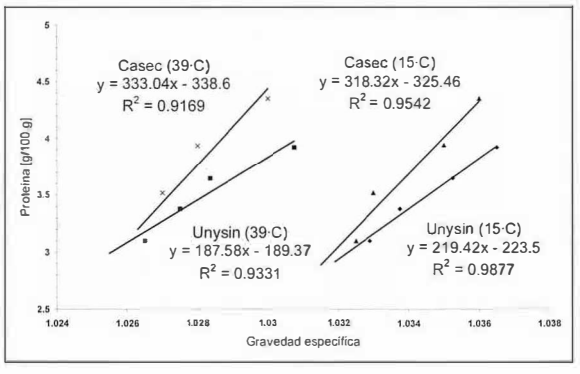


Figura 2. Relación entre la gravedad especifica y el contenido de proteina [g/100 g] en muestras de leche de vaca con la adición de dos concentrados proteínicos comerciales (Casec y Unysin) a dos temperaturas (15° y 39°C). Valores promedios de 5 repeticiones con una réplica.

Pruebas adicionales realizadas para comprobar la utilidad de las ecuaciones modelo, llevaron a establecer diferencias bajas entre el contenido de materia seca obtenido por el método de secado en estufa y por el método de medida de la gravedad especifica; al igual que el contenido de proteína bruta determinado por el método de micro Kjeldahl. Resultados más consistentes se obtuvieron a 15°C. En la Figura 3 se observa una buena concordancia entre los valores experimentales obtenidos en distintas muestras de leche de vaca y los valores calculados con las ecuaciones modelo, según los cuales la gravedad especifica debe ser medida con la muestra termostatizada a 15°C.

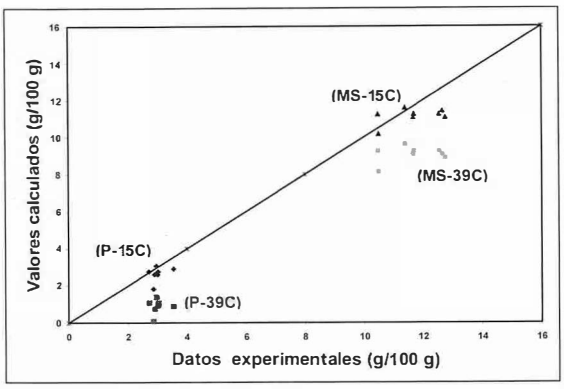


Figura 3. Comparación de valores experimentales y calculados con las ecuaciones modelo de sólidos totales (MS) y de proteína (P) en muestras de leche de vaca a 15° y 39°C.

4. CONCLUSIÓN

Se presentan ecuaciones lineales que relacionan a la materia seca y a la proteína bruta de leche de vaca con su gravedad especifica, validas para cuantificar estos componentes y orientar el desarrollo de métodos fisicos económicos y sencillos para determinar mediante cálculo el contenido de materia seca y de manera particular el contenido de proteína en leches de vaca.

5. AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Ambato (UTA) por financiar los trabajos a través de proyectos internos del Centro de Investigaciones (CENI), a la Facultad de Ciencia e Ingeniería de Alimentos (FCIAL) por el apoyo y facilitar sus instalaciones.

6. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Alvarado, J. de D. 2003. Validación de un método para determinar la materia grasa de leche de vaca por medida de la gravedad específica. PF-112. IV Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. Valparaíso, Chile. 8p.

Alvarado, J. de D y Aguilera, J.M. 2001. "Métodos para Medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos". Zaragoza, España. Editorial Acribia S.A. pp:1-28.

Alvarado, J. de D. 1996. "Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos". Quito, Ecuador. Radio-Comunicaciones. pp: 124 – 147, 183 – 190.

Choi, Y. and Okos, M.R. 1986. Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. In: "Food Engineering and Process Applications". V.1. Transport Phenomena. Le Maguer, M. and Jelen, P. (Eds). England. Elsevier Applied Science. Pub. pp: 93 – 101

Harper, W. J. and Hall, C. W. 1976. Dairy Technology and Engineering. Wesport, Conn., The AVI Pub. Co. Inc. pp:18-74.

INEN. 1982. Leche y productos lácteos.Determinación de sólidos totales y cenizas. Norma Ecuatoriana 14. Quito, Ecuador. 4p.

INEN. 1983. Leche y productos lácteos. Determinación de proteína. Norma Ecuatoriana 16. Quito, Ecuador. 4p.

Walstra, P. y Jenness, R. 1987. "Química y Física Lactológica". Zaragoza. España. Editorial Acribia. 423p.

SIMULACION DE LA INCRUSTACION DE PROTEINAS DEL PROCESAMIENTO ANIMAL EN EL INTERIOR DE TUBOS

López Del Mar, Jean y Gasparetto, Carlos Alberto
UNIVERSIDAD ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP)
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS, FACULTAD DE ENGENHARIA ALIMENTOS
Caixa Postal: 6121. CEP: 13081 -970, Cidade Universitaria "Zeferino Vaz", Distrito Barao Geraldo, SP
CAMPINAS - BRASIL

Palabras clave: Simulación, incrustación, tubos, proteína.

RESUMEN

En este trabajo fue desarrollado un algoritmo para calcular el coeficiente global de transferencia de calor (U), para el flujo en el interior de tubos y que contiene el efecto de las incrustaciones, debido a las proteínas presentes en los fluidos típicos de la industria de procesamientote de productos animales: bovino, porcino, aves y pescado.
Se asume que en la interfase liquido-sólido, la concentración en la fase liquida esta en equilibrio con la fase sólida depositada en la pared y que el proceso de deposición es enteramente controlado por la transferencia de masa. Usando consideraciones para un sistema de geometría cilíndrica y analogía entre transporte de momento, calor y masa, fue desarrollado, un programa computacional basado en un procedimiento numérico.
Los resultados indican que la tasa de deposición es más acentuada en el líquido de bovino, seguido del porcino, aves y del pescado. Consecuentemente la reducción del diámetro de los tubos ocurre más rápidamente en la misma secuencia. Los resultados del efecto de la resistencia de la incrustación sobre el coeficiente global operacional, (U), presentan una tendencia lineal para todos los líquidos.

INTRODUCCION

La formación del depósito de la incrustación, es un factor significativo en las operaciones continuas, en las plantas de procesamiento de alimentos. La incrustación por alimentos es muy severa, bajo aspectos energéticos y sanitarios, demandando la limpieza constante. En las industrias y procesos de productos no alimenticios, esas limpiezas son efectuadas en ciclos más largos, a veces anualmente.
La incrustación es un proceso típico de la interfase y es determinado exclusivamente por la relación entre la superficie de la pared y los componentes del fluido, que ocurre en la región de la sub-capa laminar de fluimiento. La incrustación es un fenómeno que ocurre con o sin la presencia de un gradiente de temperatura.
Conforme puede ser verificado en la literatura, el flujo de agua ha sido minuciosamente investigado en relación a la incrustación producida por los líquidos, seguido por los casos de refinación de petróleo. La incrustación producida por otros líquidos es casi totalmente dejado de lado, siendo pocos también los casos sobre alimentos.
El objetivo de este trabajo fue desarrollar un algoritmo, para estudiar las incrustaciones en tubos de intercambiadores de calor en el flujo de líquidos de la industria de procesamiento de aves, porcinos, pescado y bovino. El algoritmo lleva en cuenta el efecto de la resistencia de la incrustación, debido a la presencia de proteínas y grasas. El algoritmo de ese tipo es útil, para ser usado en los cálculos de equipos, tiempos de procesamiento, frecuencia de limpieza de los equipos, contaminación de los productos y calidad de los productos

MATERIALES Y METODOS

El desarrollo de modelos que describen la incrustación sobre superficies de transferencia de calor es primordialmente basado, en la analogía de transferencia de cantidad de movimiento, calor y masa. Los modelos disponibles para geometrías de tubos circulares, como sucede en el procesamiento de calentamiento o la concentración de líquidos de la industria de procesamiento de alimentos.

Considérese un tubo de radio interno (Ro) y longitud (L), por donde ingresa un fluido a una temperatura (T1) y razón masica (m). Usando coordenadas cilíndricas, defínase la coordenada de la interfase liquido-sólido R, donde R=f (Z, t), una vez que el proceso de deposición ocurre a bajas tasas de transferencia de masa, se supone que el incremento total en la función R, sea igual a la suma de los incrementos parciales de R en relación a (t), si (Z) es mantenido constante y de R en relación a (Z), si (t), es mantenido constante.

Formulación del modelo matemático

La formulación, del modelo matemático para la incrustación dinámica, se basa en los balances de transferencia de calor y masa para un sistema de geometría cilíndrica. La analogía de transporte de cantidad de movimiento, calor y masa es utilizada y el modelo es simplificado por las siguientes consideraciones:
- El fluido es un sistema binario de proteína especie (A) y el líquido de la industria, especie (b), donde apenas la especie (A), puede incrustar;
- La deposición de la proteína es un proceso a bajas tazas de transferencia de masa;
- No hay producción de la especie (A) en el proceso;
- A un tiempo (t) constante y Z=0 (en la entrada de la sección transversal), el flujo presenta un perfil de velocidad desarrollado para una razón masica constante;
- El flujo, es turbulento incompresible con propiedades físicas constantes;
- Se desprecian los procesos de remoción del material incrustado;
- Se considera la temperatura constante en la pared del tubo.

Algoritmo del proceso de incrustación dinámica

La simulación permite estudiar situaciones tales como la incrustación dinámica, en el cual diversas variables se alteran en el transcurso del tiempo de operación. Esas variables, que cambian con el tiempo son relacionadas a las restantes variables del proceso de incrustación, a través del algoritmo propuesto.
El algoritmo fue desarrollado por (SANDU & LUND, 1982).
La solución general de la incrustaron dinámica, solo es posible por un procedimiento numérico. La suposición es hecha cuando la deposición no tiene una dependencia angular, solo depende de (t) y (z).
El desenvolvimiento del algoritmo se inicia cuando se proveen los datos de entrada, luego después son estimadas las propiedades termo-físicas de los líquidos con los modelos correspondientes. Luego fueron estimados los perfiles de velocidad, temperatura y concentración en la región próxima a la interfase, para determinar el coeficiente de transferencia de masa.
La siguiente fase de simulación de la incrustación, es resuelta para condiciones transitorias (local), cuando ocurren las variaciones de la concentración media, temperatura media y la variación de las coordenadas de la interfase liquido-sólido de un punto (i), hasta un punto (i +1), cuando (t)= constante. La concentración de saturación de la proteína es calculada según el modelo dado por Sandu & Lund, quees una ecuación de tipo exponencial y una función de la temperatura de interfase liquido-sólido y contiene dos constantes (a) y (b), que fueron tomadas de (GREEN & HUGHES, 1955).

El programa fue escrito en lenguaje Pascal, que provee la variación de R en función de (t) y (z), así mismo da, como resultado los siguientes parámetros adimensionales:

$$\alpha = Z_i / Z;\ \omega = \Delta R_i / R_i;\ \delta = C_A / C_{An};\ \theta = t_i / t$$

Las propiedades físicas de los líquidos residuales de la industria, introducidas en la programación son:

Densidad, propuesto por Agrawala, citado por DODEJA et alii, (1980), este modela considera la cantidad de sólidos presentes y la temperatura del liquido.

$$p = 0.9861(S)^{0.0345} + 0.002\ \text{cosech}\,[1.32(55 - T)] - 0.55x10^{-3}$$

Calor especifico, ecuación propuesta por Daderskog & Soorenfors, citado por HALLSTROM, et alii (1988), es un modelo que considera el agua, grasa y la temperatura.

$$Cp = 1.60 + 2.6Cw + 0.015C_f T$$

Conductividad térmica, modelo propuesto por BAGHE et alii (1982), que lleva en cuenta la cantidad de agua presente, la grasa y la temperatura.

$$K = 0.3037 - 0.454F - 0.219 + 0.3067\ T^{0.033}$$

Viscosidad, es una correlación deducida a partir de las ecuaciones dadas por BIRD et alii, (1960), donde se considera las temperaturas inicial y final.

$$\mu_1 = e^{3.5Tb(1/T2 - 1/T1)} \times \mu_2$$

RESULTADOS

Los resultados de la reducción del diámetro del tubo en función del tiempo, para los diferentes liquidos residuales están graficados en la figura (1), obsérvese que tales reducciones son lineales, para los liquidos de aves y pescado, en cambio, para los liquidos de bovino y porcino no son lineales, la reducción mas acentuada e que corresponde al liquido de bovino, seguida del porcino, aves y pescado, siendo la taza de deposición en valores relativos de 9x, 3x y 1.5x aquella para el liquido de pescado.

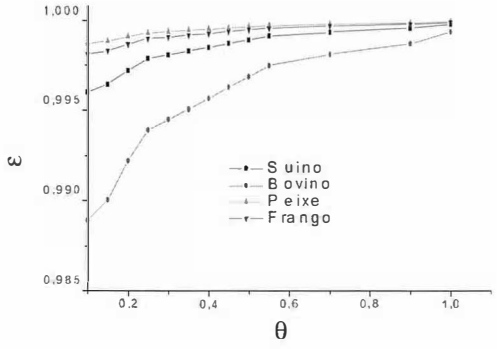


Figura 1. Reducción del diámetro del tubo (ω), en función del tiempo (θ). (Suino: porcino; peixe: pescado; Frango: pollo).

En la figura (2) se puede observar también que las reducciones en el diámetro son todos lineales para los diversos líquidos, siendo que para el liquido del bovino, la reducción es mas acentuada, seguida del porcino y aves, lo que es comprobado por las inclinaciones negativas de las rectas resultantes.

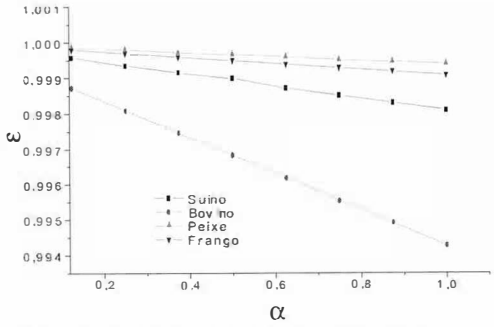


Figura 2. Reducción del diámetro tubo (ω), en función de la longitud (α).

En la figura 3, se puede observar que la reducción de la concentración es lineal para todos los líquidos, siendo para el líquido del bovino la variación más fuerte, seguida del porcino, aves y pescado.

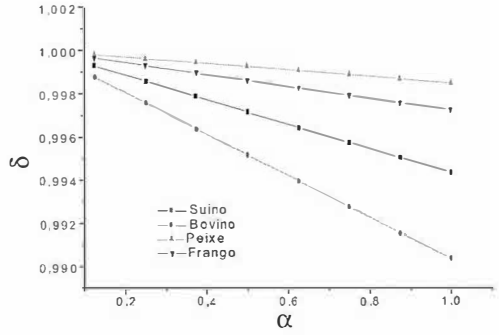


Figura 3. Reducción de la concentración (δ), en función de la longitud (α).

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Estadual Campinas y al CnPQ, por financiar el trabajo, a través de la Bolsas de estudio de Maestría.

BIBLIOGRAFIAS Y REFERENCIAS

-Baghe, M.S. and Okos, M.R. and Sweat, V.E. 1982. The thermal conductivity of beef as effect by temperature and composition. Trans American Society of Agricultural Engineering, 1118 – 1122.

-Bird, B.B. and Steward, W. E. and Lightfoot, N.E. 1960. "Transport Phenomena". 2nd. Ed. New York: John Willey & Sons. Inc. p: 769.

-Dodeja, A.K. and Sarma, S.C. and Abichandani, H. 1990. Heat Transfer during evaporation of milk solids in thin film scraped. J. of Food Process Engineering. 12 (3): 211-225.

-Epstein, N. "Fouling of Heat Transfer." 1981. Ed. Somercales E.F.& Knudsen, J.G. USA. Hemisphere Publishing, pp: 701-743.

-GREEN, A.A. & HUGHES, W.L. 1955. "Methods in enzimology". Protein fractionation on basis of solubility in aqueous solution of salts and organic solvents. Ed. Colowick, New York, Academic Press. pp: 67-138.

-Hallstrom, B. and Kjoldebrand, CH.S. And Tragardh, CH. 1988. "Heat transfer and food products". Great Britain. Elsevier Aplied Science. p: 255.

-Reichardt, V.H. 1951. "Arch. Ges Warmetecnn". Die groundage des turbulent warmeu berganges. 2: 129-141.

PROGRAMA PARA EL ANALISIS DINAMICO DE CURVAS DE PENTRACION DE CALOR EN ALIMENTOS ENLATADOS

Rodríguez Barragán, Oscar Alberto; Forero Longas, Freddy; Salamanca Grosso, Guillermo.

GRUPO DE INVESTIGACIONES MELLITOPALINOLOGICAS Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD DEL TOLIMA
IBAGUÉ-COLOMBIA

Palabras clave: Inactivación térmica. Transferencia de calor. Herramientas de cálculo.

RESUMEN

Se ha desarrollado un material educativo computarizado (MEC) con aplicación en Ingeniería y Tecnología de Alimentos, usando lenguaje de programación BORLAND DELPHI™ 6.0. sobre las soluciones explicitas asociadas al modelo de Fourier de transferencia de calor por mecanismos conductivos en estado estacionario sobre cilindros finitos de hojalata convencionales usados en la industria alimentaria, posibilitando el estudio sobre microorganismos de mayor incidencia en los alimentos. Se ha elaborado una base de datos relativa a la composición de alimentos y las constantes cinéticas de inactivación de microorganismos como son el tiempo de reducción decimal y muerte térmica. En el primer caso como un sistema de referencia interno que permite estimar las la conductividad, difusividad térmica y capacidad calorífica de los productos de interés, a través de ecuaciones modelo establecidas en los trabajo de Choi & Okos. Estas herramientas permiten evaluar a manera de simulación, la dinámica y comportamiento de la penetración del calor en productos enlatados. El modelo implementado, es aplicable a autoclave horizontal con operación a vapor de agua saturado y enfriamiento interno. En la optimización se fijó una red bidimensional de puntos nodales (81) a lo largo del envase, siguiendo técnicas de discretización, evaluándose el efecto letal durante la transferencia de calor sobre un producto ideal y sobre un agente patógeno en particular. La herramienta es útil en estudios de trasferencia de calor y en microbiología industrial, permite valorar diferentes condiciones de entorno y reduce de manera significativa los costos operacionales de laboratorio.

INTRODUCCIÓN

En la industria alimentaria toma gran importancia los procesos de inactivación térmica para microorganismos; los fenómenos de trasporte y trasferencia de calor dependientes de las propiedades térmicas de los envases y los alimentos como las condiciones de entorno juegan un papel definitivo en el aseguramiento de productos inocuos. La experimentación y el acompañamiento de herramientas y modelos contribuyen notablemente a la optimización de operaciones y aseguramiento de la calidad. En operaciones de trasferencia de calor, las técnicas de discretización, han contribuido al desarrollo de modelos con aplicación en la industria y en la valoración de procesos de trasferencia. En esta se fijan intervalos finitos suficientemente pequeños en el tiempo y en el espacio y se valora la transferencia de calor en cada elemento en condiciones variables y dispares (Hermida, 2000). Adicionalmente la matemática de la diferencia finita, contribuye a la interpretación de la red bidimensional de puntos nodales a lo largo de la lata cuando se trata de estudios de trasferencia en alimentos. En este sentido, se acude a la ley de máxima simetría, donde se establece la red nodal para un cuadrante de la sección a través de la lata como se muestra en la figura 1. Tres incrementos deben ser declarados: el cambio en la distancia radial desde el eje vertical (Δr); el cambio en la distancia vertical desde el eje horizontal (Δh); y el cambio de tiempo desde el comienzo del proceso térmico hasta el momento bajo consideración (Δt).

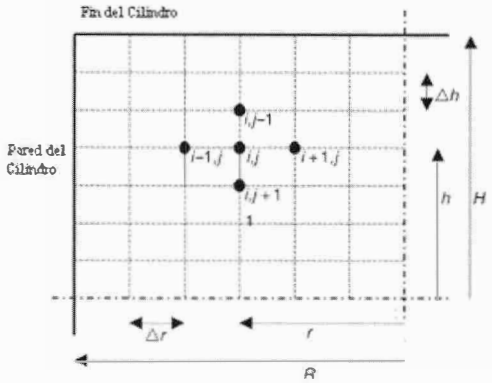


Figura 1. Red nodal para un cilindro finito

En este caso es necesario disponer de un modelo matemático que se asuma que durante las etapas del tratamiento térmico. Para un calentamiento por conducción en una lata cilíndrica finita cuyas propiedades térmicas serán constantes a lo largo del proceso, la ecuación diferencial parcial gobernante es como se indica a continuación

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial^2 r} + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial^2 h}\right) \qquad \text{Eq. 1}$$

Carnaham et al (1996), demuestra que la expansión de las series de Taylor para $T_{i-1,j}^{(t)}$ y $T_{i+1,j}^{(t)}$ sobre $T_{i,j}^{(t)}$; para $T_{i,j+1}^{(t)}$ y $T_{i,j-1}^{(t)}$ sobre $T_{i,j}^{(t)}$ provee un set de ecuaciones diferenciales que describen las diferencias de la siguiente manera:

$$\frac{\delta T}{\delta t} = \frac{T_{i,j}^{(t+\Delta t)} - T_{i,j}^{(t)}}{\Delta t} \qquad \text{Eq. 2}$$

$$\frac{\delta^2 T}{\delta r^2} = \frac{\left[T_{i-1,j} - 2T_{ij} + T_{i+1,j}\right]^{(t)}}{(\Delta r)^2} \qquad \text{Eq. 3}$$

$$\frac{1}{r}\frac{\delta T}{\delta r} = \frac{1}{r}\frac{\left[T_{i-1,j} - T_{i+1,j}\right]^{(t)}}{2(\Delta r)} \qquad \text{Eq.4}$$

$$\frac{\delta^2 T}{\delta h^2} = \frac{\left[T_{i-1,j} - 2T_{ij} + T_{i+1,j}\right]^{(t)}}{(\Delta h)^2} \qquad \text{Eq. 5}$$

Donde r es la distancia radial del nodo bajo consideración desde el eje vertical, h es la distancia vertical del nodo bajo consideración desde el eje horizontal.

Una solución general emerge si la forma explicita es considerada para permitir el calculo directo de $T_{i,j}^{(t+\Delta t)}$; de la siguiente manera:

$$T_{i,j}^{(t+\Delta t)} = T_{i,j}^{t} + \frac{\alpha\Delta t}{(\Delta r)^2}\left\{T_{i-1,j} - 2T_{i,j} + T_{i+1,j}\right\}^{(t)} + \frac{\alpha\Delta t}{2r(\Delta r)}\left\{T_{i-1,j} + T_{i+1,j}\right\}^{(t)} + \frac{\alpha\Delta t}{(\Delta h)^2}\left\{T_{i,j-1} - 2T_{i,j} + T_{i,j+1}\right\}^{(t)} \quad \text{Eq. 6}$$

Carnahan *et al.* (1969) demostró que la diferencia finita proporciona una aproximación aceptable a la ecuación 1 en todos los nodos, pero también notó que involucraba errores. (Richardson, 2004).La ley de la geometría fue usada para deducir 4 casos específicos de la ecuación 6. Para el caso general, cuando *r* cae entre la superficie lateral de la lata y el eje vertical, pero no en el eje vertical; y cuando *h* cae entre el fondo de la lata y el eje horizontal, pero no en el eje horizontal; se debe usar la ecuación 6. Si el nodo cae en el eje vertical, cuando *r* cae en el eje vertical y *h* cae entre el fondo de la lata y el eje horizontal, pero no en el eje horizontal, entonces:

$$T_{i,j}^{(t+\Delta t)} = T_{i,j}^{t} + \frac{4\alpha\Delta t}{(\Delta r)^2}\left\{T_{i-1,j} - T_{i,j}\right\}^{(t)} + \frac{\alpha\Delta t}{(\Delta h)^2}\left\{T_{i,j-1} - 2T_{i,j} + T_{i,j+1}\right\}^{(t)} \quad \text{Eq. 7}$$

Si el nodo cae en el eje horizontal, cuando *h* cae en el eje horizontal y *r* cae entre la superficie lateral de la lata y el eje vertical, pero no en el eje vertical, entonces:

$$T_{i,j}^{(t+\Delta t)} = T_{i,j}^{t} + \frac{\alpha\Delta t}{(\Delta r)^2}\left\{T_{i-1,j} - 2T_{i,j} + T_{i+1,j}\right\}^{(t)} + \frac{\alpha\Delta t}{2r(\Delta r)}\left\{T_{i-1,j} + T_{i+1,j}\right\}^{(t)} + \frac{2\alpha\Delta t}{(\Delta h)^2}\left\{T_{i,j-1} - T_{i,j}\right\}^{(t)} \quad \text{Eq. 8}$$

El caso del centro geométrico, cuando *r* y *h* coinciden en el centro geométrico, entonces:

$$T_{i,j}^{(t+\Delta t)} = T_{i,j}^{t} + \frac{4\alpha\Delta t}{(\Delta r)^2}\left\{T_{i-1,j} - T_{i,j}\right\}^{(t)} + \frac{2\alpha\Delta t}{(\Delta h)}\left\{T_{i,j-1} - T_{i,j}\right\}^{(t)} \quad \text{Eq. 9}$$

Estas 4 ecuaciones pueden ser utilizadas para una serie de temperatura consecutiva con una progresión en el tiempo (Δt). La temperatura de cada nodo se ve influenciada por las condiciones iniciales y por la temperatura de los nodos adyacentes a este. El orden de temperatura de un grupo de nodos a un tiempo *t*, esta relacionado con un intervalo posterior al tiempo ($t+\Delta t$). Así es posible calcular la temperatura de cualquier punto nodal a cualquier momento desde el inicio del proceso de acuerdo al cambio de temperatura en la superficie de la lata y considerando las asunciones necesarias (Mohammed, 2003).

La solución de las ecuaciones 6 a 9 requieren la especificación de las coordenadas de la red nodal; las condiciones iniciales y límites para realizar la resolución del sistema son:

- $T_{i,j} = T_p$ cuando $t = 0$
- $T_{i,j} = T_R$ cuando r = R, h= 0 y h=H

Siendo T_p la temperatura del producto a cualquier momento *t*; y T_R la temperatura del autoclave.Además la aplicación de la técnica discreta, requiere las siguientes asunciones, para transferencia de calor en estado estacionario por medios conductivos (Bakalis & Cox, 2001). En la tabla 1 se indican las consideraciones relativas a la ecuación de Fourier en transferencia de calor por conducción y las restricciones para su validez.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el desarrollo de la herramienta, se uso el software el de programación Borland Delphi™ 6.0, el cual esta calificado como un entorno de programación visual de alto nivel, donde se usan referencias en las declaraciones de variable, lo que significa que utiliza punteros a una dirección donde se almacena el dato que se quiere escribir o leer (Forero et al, 2004).

Tabla 1. Consideraciones sobre la ecuación de Fourier en transferencia de calor por conducción.

Asunción	Cumplimiento
El calor es conducido solo por conducción	Completamente
Geometrías simples (placas, cilindros, esferas)	Completamente
No hay cambio de fase	Aprox cumplido
El producto es homogéneo	Aprox cumplido
Los parámetros térmicos (difusividad, conductividad, calor específico) son constantes	Aprox cumplido
La temperatura inicial del producto es constante	Aprox cumplido
La temperatura del ambiente es constante	Aprox cumplido
El coeficiente de transferencia de calor es infinito	Asumido

La estimación de las curvas de penetración de calor en alimentos sólidos, como medio para determinar el efecto letal de los tratamientos térmicos sobre los productos agroalimentarios esta acompañada de errores frecuentes de cálculo que se cometen por la gran cantidad de aproximaciones que es necesario realizar. Por lo tanto es necesario conocer todas y cada una de las ecuaciones que hacen parte del método de cálculo, además de llegar a modelos matemáticos que eliminen la utilización de las tablas predefinidas, buscando con ello una mayor confiabilidad en los resultados, al no depender de la interpolación de dichas tablas. Se las partes del problema, optándose por la división en pequeñas rutinas de cálculo, que facilitaran la programación de las ecuaciones utilizadas.

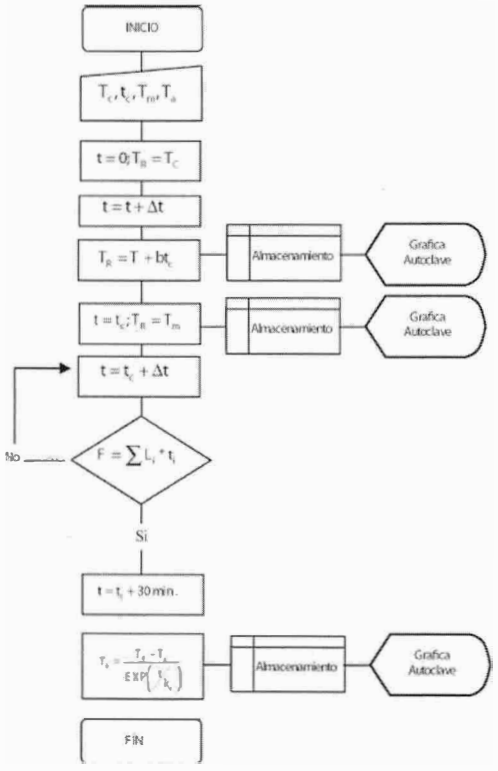


Figura 2. Algoritmo considerado para la predicción de la temperatura del autoclave (T_R)

Los datos que el usuario deberá ingresar al software se redujeron al mínimo, con el fin de facilitar el dinamismo del proceso de cálculo, las ecuaciones y procedimientos establecidos en las fases anteriores se codificaron en el lenguaje de programación del entorno Delphi™ 6.0, la estructura interna del programa se dividió en unidades de cálculo, cada una de las cuales es la encargada de ejecutar una parte del código que comprende la totalidad del programa Durante todo el proceso de codificación se implementaron procedimientos continuos de optimización, para evitar cálculos repetitivos y de carácter cíclico, además se siguieron las estructuras lógicas planteadas por los algoritmos de cálculo diseñados para cada unidad. El programa comprende dos

algoritmos de generales; que a través de la definición de los parámetros de operación del autoclave (tiempo y temperatura), permiten determinar en primera instancia el perfil de temperatura del autoclave, durante las 3 etapas del proceso, como se observa en la figura 2. Además como complemento al anterior la determinación de la letalidad proporcionada por el tratamiento al alimento se determina siguiendo el algoritmo mostrado en la figura 3, que a partir de los parámetros del microorganismo a inactivar, la composición del alimento, las dimensiones del envase y el efecto letal deseado, mediante el desarrollo de las ecuaciones 6-9, de manera iterativa estima la temperatura de los puntos nodales de la red hasta llegar al centro del alimento para finalmente calcular el efecto letal de cada temperatura por el tiempo de exposición de la misma, hasta alcanzar el valor deseado.

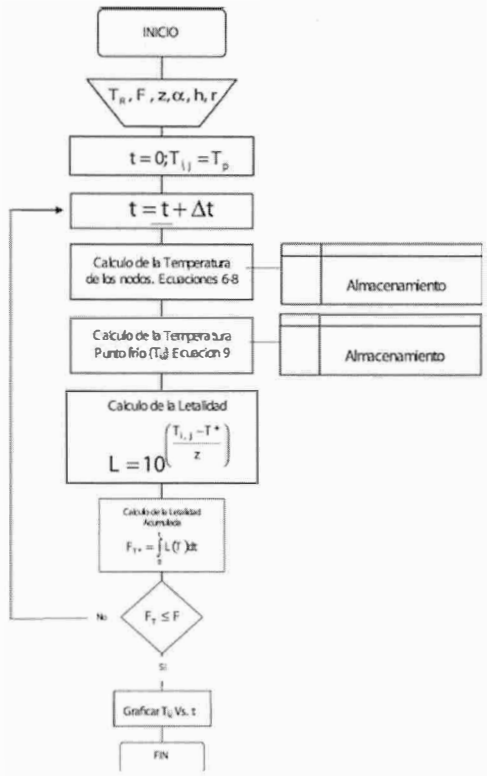


Figura 3. Algoritmo considerado en la discretización para el cálculo de la letalidad del tratamiento térmico.

RESULTADOS

En la industria de conservas de pescado se suele comercializar Salmon (*Oncorhynchus sp*), Atun (*Thunnus thynnus*) o Sardinas (*Sardinops agax sagax)* enlatadas. Si se usa un bote de **400 x 401**, para Sardina y asegurar la ausencia del agente patógeno ***Staphyloccocus aureus***. Las propiedades térmicas del Sardina derivadas de su composición se estiman desde el modulo producto:

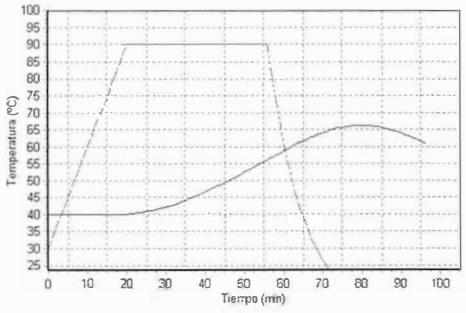


Figura 4. Modulo de entrada para estimación de las propiedades térmicas del producto

Fijando una temperatura de llenado de 40 °C; Temperaturas (Autoclave) inicial, de mantenimiento y enfriamiento: 30, 90 y 10 °C respectivamente, con una población de *S aureus* inicial de $1x10^7$ a $1x10^5$ ufc/g. Los resultados son como se muestran a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Esterilización de un enlatado de Sardinas en aceite.

Tratamiento térmico	
Etapa Calentamiento	
T: 30 °C	*t: 20 min.*
Etapa Mantenimiento	
T: 90 °C	*t: 36 min.**
Etapa Enfriamiento	
T: 10 °C	*t: 40 min.*
Validación	
F	***F*$_{T0}$**
24 min.	*24,72 min.**



** Valores calculados por CPC Plus*

CONCLUSIONES

La herramienta elaborada, permite realizar estudios del comportamiento y evolución de calor durante la trasferencia de calor al bote con el alimento y en la misma autoclave, reduciendo así el tiempo que demandaba la estimación de las curvas de penetración de calor en alimentos sólidos, como medio para determinar el efecto letal de los tratamientos térmicos sobre los productos agroalimentarios de manera experimental.

BIBLIOGRAFÍA

BAKALIS, S.; COX, P.W. 2001 Thermal Technologies in Food Processing: Modelling Particular Thermal Technologies. Woodhead Publishing. Inglaterra.

CASP, A.; ABRIL, J. 2003. Procesos de Conservación de Alimentos. 2° ed. Ediciones Mundi-Prensa. España. 494 p.

FORERO, F.; PULIDO, A. 2004. Diseño de un sistema de climatización para la conservación de muestras de madera en el laboratorio de Ingeniería Forestal de la Universidad del Tolima y desarrollo de un software para el cálculo de cargas térmicas. Universidad del Tolima. 144 p.

GHANI, A.; FARID, M.; CHEN, X. D. 1999 An Investigation of deactivation of Bacteria in a Canned Liquid Food during Sterilization Using Computational Fluid Dynamics (CFD). In : *Journal of Food Engineering*. Vol. 42 (1999); p. 207-214.

HERMIDA, J. R. 2000. Fundamentos de Ingeniería de Procesos Agroalimentarios. Grupo Mundi-Prensa. España 463 p.

JUNG, A.; FRYER P.J. 1999 Optimising the quality of safe food : Computational modelling of a continuous sterilisation process. In : *Chemical Engineering Science*. Vol. 54 (1999); p. 717-730

JONGEN, W. 2002 Fruit and Vegetable Processing. Improving Quality. CRC Press. Estados Unidos

MOHAMED, I. 2003 Computer Simulation of Food Sterilization using an Alternating Direction Implicit Finite Difference Method. In : *Journal of Food Engineering*. Vol. 60 (); p. 301-306

ÖZIŞK _K. 1993. Heat conduction (2nd ed., p. 460). New York:John Wiley& Sons.

RICHARDSON, P. 2004 Improving the Thermal Processing of Foods. CRC Press. Estados Unidos.

Nomenclatura

H	Altura de la lata (cm)
R	Radio de la lata (cm)
i	Índice de nodo en la dirección radial
j	Índice de nodo en la dirección axial
t	Tiempo (min.)
t_c	Tiempo de calentamiento (min.)
T	Temperatura (°C)
T_P	Temperatura inicial del producto (°C)
T_R	Temperatura de la autoclave (°C)
T_c	Temperatura de calentamiento (°C)
T_m	Temperatura de mantenimiento (°C)
T_a	Temperatura de enfriamiento (°C)
Δt	Incremento en el tiempo (min.)
Δr	Incremento en la dirección radial (cm)
Δh	Incremento en la dirección axial (cm)
α	Difusividad térmica (cm/s^2)
b	Pendiente de calentamiento
L	Letalidad del tratamiento (min.)
F	Tiempo de muerte térmica (min.)
F_T	Letalidad acumulada (min.)
k	Constante experimental del cambiador
z	Constante de muerte térrnica (°C)

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA LA DETERMINACION DE CURVAS DE PENETRACION DE CALOR EN ALIMENTOS ENLATADOS *"CPC PLUS"*

Rodríguez Barragán, Oscar Alberto; Forero Longas, Freddy; Salamanca Grosso, Guillermo.

GRUPO DE INVESTIGACIONES MELLITOPALINOLOGICAS Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD DEL TOLIMA
IBAGUÉ-COLOMBIA

Palabras clave: Modelado y simulación. Inactivación térmica. Transferencia de calor. Herramienta de cálculo.

RESUMEN

Se ha desarrollado un material educativo computarizado (MEC), haciendo uso del lenguaje de programación hacia objetos, bajo plataforma BORLAND DELPHI™ 6.0. Se consideraron las soluciones explicitas asociadas al modelo de Fourier para la transferencia de calor por mecanismos conductivos en estado estacionario sobre cilindros finitos, usando envases de hojalata convencionales, especificando los microorganismos de mayor incidencia en la industria alimentaria. Se elaboraron bases de datos sobre la composición de los alimentos y las constantes cinéticas de inactivación (tiempo de reducción decimal y muerte térmica) de dichos microorganismos. Para los alimentos susceptibles de envasado se incluyo un sistema de calculo para estimar sus propiedades térmicas (conductividad, difusividad y capacidad calorífica a presión constante), siguiendo los modelos de Choi & Okos. El sistema de transferencia de calor se modeló considerando una autoclave horizontal con operación a vapor de agua saturado y enfriamiento interno. Se fijó una red bidimensional de puntos nodales (81) a lo largo de la lata, siguiendo técnicas de discretización, evaluándose el efecto letal durante la transferencia de calor sobre un microorganismo en particular.

INTRODUCCIÓN

El estudio de las curvas de penetración de calor para la inactivación de microorganismos en alimentos, asegura la inocuidad de los productos y facilita la estimación de parámetros necesarios para la optimización de sistemas de transferencia de calor (Scenna, 1999).

En los procesos térmicos de alimentos, un rápido y uniforme calentamiento es esperado debido a que el efecto letal sobre el microorganismo objetivo puede ser alcanzado en el menor tiempo posible con una destrucción mínima en el color, la textura y los nutrientes de los alimentos. La penetración de calor en los alimentos envasados se cumple de manera compleja, debido a que la mayoría de las veces se tiene masa de producto que se calentará o enfriará dentro de un envase, y estos intercambios térmicos dependerán de algunos de los factores que deben ser seguidos durante el tratamiento (Jung,1999; Jongen, 2002).

El factor más importante que limita la penetración de calor, es la naturaleza del alimento, además es la que condiciona el mecanismo de transmisión por el que va a producirse el intercambio térmico. (Casp, 2003). Indudablemente para estudiar el proceso de calentamiento de cualquier producto en su envase es necesario saber como evoluciona la temperatura en su interior, la cual deberá ser medida en el punto donde el calentamiento es más lento, también conocido como Punto Critico, asegurando así que todos lo demás puntos hayan recibido un tratamiento térmico de mayor intensidad. (Bakalis, 2001)

Con este propósito distintos modelos matemáticos se han desarrollado, basados en soluciones analíticas a los problemas de transferencia de calor en alimentos, las condiciones del proceso y los constantes de resistencia térmica de los microorganismos. Entre los más destacados encontramos los desarrollados por *Ball & Olson* (1957), *Hayakawa* (1970), *Jen et al* (1971), y *Pflug* (1968).

MATERIALES Y MÉTODOS

Modelos Matemáticos: Para un calentamiento por conducción en una lata cilíndrica finita cuyas propiedades térmicas serán constantes a lo largo del proceso, la ecuación diferencial parcial gobernante es como se indica a continuación:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial^2 r} + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial^2 h}\right) \qquad \textbf{Ec. 1}$$

Donde: α es la difusividad térmica del producto (m^2/s); r es la distancia radial desde el eje vertical de la lata (m); h es la distancia vertical desde el eje horizontal de la lata (m); T es la temperatura (°C) en el punto de interés y t es el tiempo al momento de interés transcurrido desde el momento previo al momento de interés. (Mohamed, 2003).

La solución de la ecuación 1 requiere la especificación de las coordenadas de la red nodal; las condiciones iniciales y límites para realizar la resolución del sistema son las siguientes:

- $T_{ij} = T_p$ cuando $t = 0$
- $T_{ij} = T_R$ cuando r = R, h= 0 y h=H

Özişk (1993) mostró que mediante la ley de L' Hospital's una modificación puede ser hecha para la ecuación 1, de esta manera se puede aplicar cunado r=0.

Si se pretende dominar un proceso térmico, es necesario disponer de un criterio para evaluar la eficacia del mismo; la influencia de la temperatura del autoclave sobre el alimento es establecida mediante las ecuaciones 2 y 3 que permiten determinar el valor esterilizador del tratamiento térmico como se indica a continuación:

$$L_T = 10^{\frac{T-T^*}{z}} \qquad \textbf{Ec. 2}$$

Esta seria la relación de la letalidad entre dos tratamientos de 1 minuto, uno realizado a la temperatura de referencia (T^*) y otro a cualquier temperatura (T),para un microorganismo cuyo parámetro de resistencia vale z (°C). Si el tratamiento es de t minutos tendremos

$$F_C = \int_0^t L(T)dt \qquad \text{Ec. 3}$$

Donde F_C (min.), es el tiempo necesario para alcanzar la letalidad requerida, L (min.), es la porción de letalidad que el tratamiento genera sobre el alimento a una temperatura T (°C).

Para la esterilización de productos enlatados el valor F_c es medido en el centro geométrico de la lata o punto de más lento calentamiento; y su importancia radica en el hecho de que si el valor F_C obtenido para un producto bajo un tratamiento térmico es mayor que el mínimo especificado para el proceso, entonces los demás puntos en la lata habrán alcanzado al menos el mínimo requerido y se podrá asegurar que el producto es comercialmente estéril.

Discretización: La discretización consiste en tomar intervalos finitos pero suficientemente pequeños en el tiempo y en el espacio, estudiando la transferencia de calor en cada elemento en condiciones variables y dispares (Hermida, 2000). La técnica de diferencia finita establece una red bidimensional de puntos nodales a lo largo de la lata. De acuerdo a la ley de la simetría, es necesario tan solo establecer la red nodal para un cuadrante de la sección a través de la lata como se muestra en la figura 1. Tres incrementos deben ser declarados: el cambio en la distancia radial desde el eje vertical (Δr); el cambio en la distancia vertical desde el eje horizontal (Δh); y el cambio de tiempo desde el comienzo del proceso térmico hasta el momento bajo consideración (Δt).

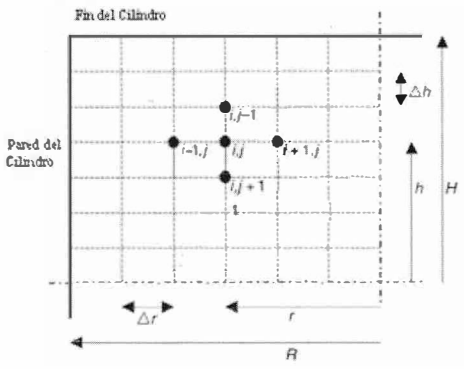


Figura 1. Red nodal para un cilindro finito.

La temperatura de un nodo localizado en la columna *i*, y la fila *j*, del tiempo nodal *t*, es descrito como $T_{i,j}^{(t)}$; al tiempo $t+(\Delta t)$ como $T_{i,j}^{(t+\Delta t)}$; cuando ocurra un incremento radial desde el eje vertical como $T_{i+1,j}^{(t)}$; y para un incremento vertical lejos del eje horizontal como $T_{i,j+1}^{(t)}$. De igual manera los subíndices de T son expresados como $i-1$ o $j-1$ si la posición del nodo bajo consideración esta más cerca del eje vertical u horizontal. La discretización usada en esta herramienta, implementa una malla de 81 nodos, los cuales abarcan un plano que cubre la totalidad de la lata, ubicando el punto frió en el centro del mismo.

Implementación: El entorno de programación DELPHI 6.0 tiene múltiples ventajas, al desarrollar software para ingeniería, ya que al ser un lenguaje estructurado, permite crear rutinas de cálculo complejas, como es el caso del software que se realizó. Al presentar reglas sencillas de sintaxis, permite un entendimiento más profundo del código fuente que se esta escribiendo, facilitando así la programación de las ecuaciones, el lenguaje utiliza palabras básicas del inglés que son de fácil comprensión e interpretación.

RESULTADOS

En la validación de la herramienta desde el punto de vista practico se consideró el agente patógeno *Clostridium botulinum* frecuentemente tomado como referencia en los estudios de inactivación térmica. (Forsythe, 2003) Fijando las condiciones de procesado en la herramienta. Producto: Fresas; Envase: lata 99 mm x 102 mm (400x401), con una temperatura de llenado de 60 °C; Temperaturas (Autoclave) inicial, de mantenimiento y enfriamiento: 30, (120, 130, 140 y 150) y 20 °C respectivamente, con una población de *C. botulinum* inicial de $1x10^7$ y final de $1x10^{-5}$ ufc/g (F= 2.52 min.). Los tiempos de calentamiento y enfriamiento son 20 y 40 minutos. Se evaluaron los perfiles de temperatura para la autoclave y la curva de penetración de calor en el producto de la referencia; como se muestra en la Figura 2

Los perfiles observados a través de la herramienta *C.P.C Plus©*, son análogos a los reportados en la literatura por Casp (2003), para la esterilización por conducción; en los que se observan las tres etapas del proceso; una etapa inicial de calentamiento en donde la temperatura del producto sigue la del recinto con un retraso, función de su naturaleza y el envase; una segunda etapa de mantenimiento en la que el producto tiende a igualar la temperatura del recinto; y una etapa final de enfriamiento en la que la temperatura del producto es siempre mayor a la del recinto.

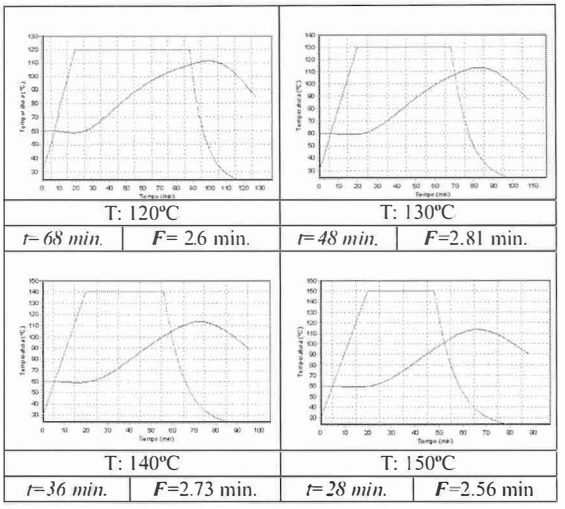


Figura 2. Curvas del proceso de esterilización de una conserva de fresa contaminada con *Cl. botulinum*.

Los perfiles observados a través de la herramienta *C.P.C Plus©*, son análogos a los reportados en la literatura por Casp (2003), para la esterilización por conducción; en los que se observan las tres etapas del proceso; una etapa inicial de calentamiento en donde la temperatura del producto sigue la del recinto con un retraso, función de su naturaleza y el envase; una segunda etapa de mantenimiento en la que el producto tiende a igualar la temperatura del recinto; y una etapa final de enfriamiento en la que la temperatura del producto es siempre mayor a la del recinto.

En el caso que nos ocupa, la imposición de condiciones bajas en un sistema de autoclavado para esterilización, hacen que la fase de mantenimiento del proceso se vea incrementada respecto de aquellas donde la condición térmica es mas severa; de otra parte la letalidad estimada en cada caso será mayor cuanto mayor sea la temperatura de mantenimiento. Desde el punto de vista práctico seria conveniente evaluar las propiedades organolépticas del producto y su estabilidad durante la vida en anaquel.

CONCLUSIONES

CPC PLUS permite identificar, correlacionar y modelar la evolución del las curvas de penetración de calor, en sistemas enlatados bajo tratamientos térmicos encaminados a la inactivación microbiana, a partir de datos experimentales o reportados en la literatura sobre microbiología industrial y verificar las variables relacionadas en la cinética de la destrucción microbiana y que de manera significativa influyen en la evolución de los perfiles de temperatura en los sistemas enlatados. La elaboración de la herramienta, permite evaluar las curvas de penetración de calor alimentos mediante el dominio de las variables que intervienen en un proceso de esterilización de latas. CPC plus aborda la valoración del tratamiento térmico teniendo en cuenta todas las variables inmersas en el proceso de esterilización de alimentos enlatados, de esta manera el usuario puede seleccionar el tipo de alimento y la especie contaminante que desee inactivar; de igual manera determina las condiciones del tratamiento haciendo más versátil su uso, para obtener la final una informe que comunica los detalles de la aplicación.

Este trabajo contribuye significativamente al proceso de formación ingenieril de con énfasis en el desarrollo de herramientas aplicativas, complementarias enfocadas a la microbiología de alimentos.

BIBLIOGRAFÍA

BAKALIS, S.; COX, P.W. 2001 Thermal Technologies in Food Processing: Modelling Particular Thermal Technologies. Woodhead Publishing. Inglaterra.

CASP, A.; ABRIL, J. 2003. Procesos de Conservación de Alimentos. 2° ed. Ediciones Mundi-Prensa. España. 494 p.

FORERO, F.; PULIDO, A. 2004. Diseño de un sistema de climatización para la conservación de muestras de madera en el laboratorio de Ingeniería Forestal de la Universidad del Tolima y desarrollo de un software para el cálculo de cargas térmicas. Universidad del Tolima. 144 p.

FORSYTHE, S. 2003. Alimentos Seguros: Microbiología. Acribia. España

GEANKOPLIS, C. 1998 Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. 3° ed. CECSA. México. 1008 p

GHANI, Abdul et al.(1999) An Investigation of deactivation of Bacteria in a Canned Liquid Food during Sterilization Using Computational Fluid Dynamics (CFD). In : *Journal of Food Engineering.* Vol. 42 (1999); p. 207-214.

HERMIDA, J. R. 2000. Fundamentos de Ingeniería de Procesos Agroalimentarios. Grupo Mundi-Prensa. España 463 p.

JUNG, A.; FRYER P.J. 1999 Optimising the quality of safe food : Computational modelling of a continuous sterilisation process. In : *Chemical Engineering Science.* Vol. 54 (1999); p. 717-730

JONGEN, W. 2002 Fruit and Vegetable Processing. Improving Quality. CRC Press. Estados Unidos

MANRIQUE, P. 2006. Predicción del Crecimiento e inactivación de microorganismos patógenos en productos agroalimentarios mediante herramientas de simulación. Universidad del Tolima 124 h..

MOHAMED, I. 2003 Computer Simulation of Food Sterilization using an Alternating Direction Implicit Finite Difference Method. In : *Journal of Food Engineering.* Vol. 60 (); p. 301-306

ÖZIŞK _K, 1993. Heat conduction (2nd ed., p. 460). New York:John Wiley& Sons.

RAO, M.; DATTA, A. 2005. Engineering Properties of Foods. CRC Press. Estados Unidos.

RICHARDSON, P. 2004 Improving the Thermal Processing of Foods. CRC Press. Estados Unidos.

SCENNA, N 1999 Modelado, Simulación y Optimización de Procesos Químicos. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional. Argentina. 841 p.

DESARROLLO DE UN SOFTWARE EMPLEANDO LabVIEW® PARA EVALUACIÓN Y CÁLCULO DE PROCESOS TÉRMICOS

Inoura, Hiroko y Velezmoro*, Carmen
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Apartado postal 12-056. Lima 12. e-mail*: cevs@lamolina.edu.pe
LIMA-PERÚ

Palabras clave: Modelado y simulación, software, RGM, APNS.

RESUMEN

Se desarrolló un software usando el lenguaje gráfico LabVIEW®. El software permitió calcular la letalidad de un proceso a partir de los datos experimentales por integración numérica; además se incluyó la opción de recalcular los procesos térmicos por el método general revisado (RGM) de Simpson *et al.* (2003) y/o la solución numérica de posición aparente (APNS) de Noronha *et al.* (1995). Con el software se realizaron predicciones a dos diferentes temperaturas de proceso para un producto a base de bloques de papa envasado con agua como solución de cubierta, en frascos de vidrio. Las validaciones dieron como resultado porcentraje de error entre 1 a 14 % para RGM y de 6 a 34 % para APNS.

INTRODUCCION

A partir de primer método presentado para el cálculo de procesos térmicos por Bigelow 1920 (Ball y Olson, 1957), diversos investigaciones han propuesto modificaciones para predecir las curvas de transferencia de calor en el tratamiento térmico, entre ellos Teixeira *et al.* (1969), Datta *et al.* (1986) y Noronha *et al.* (1995); quienes usaron métodos numéricos para la solución de la ecuación general de transferencia de calor con el fin de obtener cálculos seguros de los tiempos de tratamiento térmico en envases, para letalidades requeridas. Simpson *et al.* (2003) desarrollaron un procedimiento nuevo de Método General, llamado Método General Revisado (RGM), para ampliar el uso del método Bigelow, así como para predicciones de diferentes condiciones que las originales. El procedimiento de RGM es claro y simple, pero requiere esfuerzo y tiempo, siendo necesario programar el procedimiento completo para el uso práctico del método.

La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar un software capaz de realizar evaluación, cálculo y predicción del tiempo de tratamiento de alimentos envasados por el RGM, empleando LabVIEW® y comparar los resultados con el método de Solución Numérica de Posición Aparente (APNS), propuesto por Noronha (1995).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de automatización de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Software para evaluación y cálculo de procesos térmicos

El desarrollo del software para evaluación y cálculo del proceso térmico se hizo empleando LabVIEW® 7.1, versión para estudiante, National Instruments®. El software denominado "ThermoCAL" fue diseñado para cumplir con las siguientes funciones: 1). Lectura de datos del registro de penetración de calor y detección de parámetros experimentales, 2). Cálculo del valor F de proceso, 3). Ejecución de RGM y APNS, y 4).Archivo de los parámetros obtenidos para resumen y utilización posterior en evaluación del mismo proceso.

Sistema de control de Módulo de Tratamiento Térmico

Para realizar las pruebas experimentales y adquisición de datos se empleó el módulo de tratamiento térmico. Para generar el vapor se adaptó el cuerpo de una limpiadora a vapor Porti® Modelo ECO PRO 3000 BASIC PTEU 129. La salida de vapor fue controlada por una válvula solenoide ON/OFF Danfoss®, modelo EVI 3 WD. Para el control se usaron una termocupla tipo J para la temperatura de retorta (rango de 0 a 700°C) y un sensor de presión Danfoss®, modelo MBS 3000 (rango de trabajo de 0 a 6 Bar). Los que estuvieron conectados a la tarjeta DAQ (PCI-6024E, National Instruments®) por un relé (5V), un transmisor y una fuente (24V), todos de la marca Weidmüller®. El control del funcionamiento del módulo se realizó a través de un programa desarrollado en LabVIEW® 7.0, desde una computadora personal (software de operación de Microsoft® Windows® 98).

La temperatura promedio de retorta resultó tener variación de -0,1 a 2°C con respecto al valor de control.

Pruebas experimentales

Para la validación del software desarrollado se emplearon papas blancas variedad "Canchán" adquiridas en supermercado local. Las papas fueron peladas y cortadas en bloques de 3x3x7 cm. Envasadas en frascos de vidrio rectos de 156 ml sellado con tapas metálicas. Los bloques de papa fueron colocados dentro de los frascos con agua como solución de cubierta, dejando un espacio de cabeza de 2 mm, insertando una sonda de DataTrace® en el centro de la tapa hasta el punto más frío del envase (determinado previamente). Se utilizó otra sonda de DataTrace® para la medición y registro de la temperatura de retorta. El envase se colocó en el punto más frío de la olla, previamente determinado. La sonda para la medición de la temperatura de retorta se colocó cerca de la termocupla tipo J; para evitar el contacto directo con la base de la olla se utilizó una malla de acero inoxidable como soporte.

Se hicieron dos tratamientos térmicos a diferentes temperaturas promedio (a 115,4 y a 110,8°C). Estos procesos se denominaron como procesos originales 1 y 2. Se determinaron los parámetros de penetración de calor de los procesos originales y se hicieron predicciones de los tiempos de proceso para obtener F_0=4 minutos, para diferente temperatura de retorta que la de proceso original, a 111°C a partir del proceso original 1 y a 116°C a partir del proceso original 2, empleando el software ThermoCAL. Se hicieron tratamientos térmicos para cada combinación de temperatura-tiempo predicho, con ocho repeticiones.

Comparación del tiempo de proceso real y predicho

Dado que los procesos experimentales no registraron temperaturas constantes exactamente iguales a las usadas para la predicción (111 y 116°C), se recalcularon los tiempos predichos (usando ThermoCAL) considerando la temperatura de retorta promedio y el valor F_p. Los tiempos reales de proceso fueron comparados con los calculados. Se calculó el error absoluto medio del porcentaje de error de los datos en el que el tiempo predicho es mayor que el tiempo real (predicción en lado seguro). En caso contrario, predicciones al lado no seguro, se excluyó el dato para el cálculo de error.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtención de curvas experimentales y predicciones

Proceso original 1: Se llevó a cabo un tratamiento térmico de

papa blanca envasada a TR = 115,4°C con el tiempo de proceso de 26 minutos cuyo valor de esterilización fue F_0= 3,64 minutos. Se obtuvieron los parámetros de calentamiento y enfriamiento para RGM empleando ThermoCAL fueron: f_h = 12,22 minutos, j_h = 1,95, f_c = 120,03 minutos y j_c = 1,05; y para APNS fueron: f_h = 10,99 minutos, j = 1,84, α = 0,0212 cm^2/min y r/R= 0,222.

Proceso original 2: Se llevó a cabo un tratamiento térmico de papa blanca envasada a TR = 110,8°C con el tiempo de proceso de 60 minutos cuyo valor de esterilización fue F_0= 4,73 minutos. Usando las opciones de ThermoCAL del mismo modo que los cálculos del Proceso original 1, se obtuvieron los parámetros de calentamiento y enfriamiento para RGM: f_h = 13,18 minutos, j_h = 2,16, f_c = 168,45 minutos y j_c = 1,04; y para APNS: f_h = 11,44 minutos, j = 1,75, α = 0,0204 cm^2/min y r/R= 0,283.

Se obtuvieron los tiempos de proceso predichos de 54,0 minutos y 58,6 minutos para F_0=4 minutos a 111°C por RGM y APNS respectivamente empleando ThermoCAL a partir del proceso original 1. Asimismo a partir del proceso original 2, se obtuvieron los tiempos de proceso predichos de 25,3 minutos y 31,8 minutos para F_0=4 minutos a 116°C por RGM y APNS respectivamente.

Validación de la predicción de los procesos térmicos

En el Cuadro 1 se muestran los tiempos de procesos calculados para las corridas experimentales de 3 al 10, por RGM y APNS, cuyas predicciones estuvieron basadas en el proceso original 1, y las predicciones del tiempo de proceso para las corridas experimentales 11 al 18, calculadas por RGM y APNS a partir de proceso original 2. De los resultados obtenidos se observa que el porcentaje de error, dentro del mismo método de predicción, fue siempre menor para las predicciones realizadas a partir del proceso original 1 (de mayor a menor temperatura), siendo además menor para RGM en ambos procedimientos: a partir de la mayor o la menor temperatura.

Sin embargo RGM presentó dos predicciones que cayeron en el lado no seguro, es decir el tiempo fue menor al real, aunque en porcentaje bastante bajo de hasta 3% para las predicciones a partir del proceso original 1. Esta diferencia puede ser atribuida a la etapa de enfriamiento la que en la realidad estuvo distinta a la predicción como se observa en la Figura 1.

Simpson *et al.* (2003) sostienen que RGM es insensible a la temperatura, lo que significaría que la variación de la temperatura (hacia arriba o hacia abajo) no aumenta los errores del método en forma significativa. De los resultados obtenidos en este trabajo se observó que RGM cuando se trabaja desde alta temperatura (116°C) hacia una temperatura menor (111°C), presenta errores menores al 6%. En tanto que APNS, presenta mayor porcentaje de error (de 6 a 12%). A pesar de lo indicado por Simpson (2003) se observó que las predicciones de menor a mayor temperatura tuvieron mayor porcentaje de error, en ambos casos, para RGM (hasta 14%) y para APNS (hasta 34 %). Sin embargo RGM fue menos sensible a los cambios de temperatura que APNS.

Como se muestra en la Figura 2, la curva predicha por APNS tuvo un enfriamiento mucho más rápido que la curva experimental. En la validación experimental de Tucker *et al.* (1996) quienes evaluaron diferentes métodos matemáticos, entre ellos APNS, también observaron desviaciones entre ambas curvas en el comienzo del enfriamiento. Las desviaciones de la curva predicha se dan debido a las diferentes formas de enfriamiento en el proceso real, que muchas veces son difíciles de predecir matemáticamente. Es por esto que la aplicación de estos métodos se basa en un control adecuado del proceso para conseguir la exacta repetición de la curva de transferencia de calor en el producto. En este trabajo puede considerarse que la desviación es debida al control de enfriamiento que se realizaba lentamente para evitar el choque

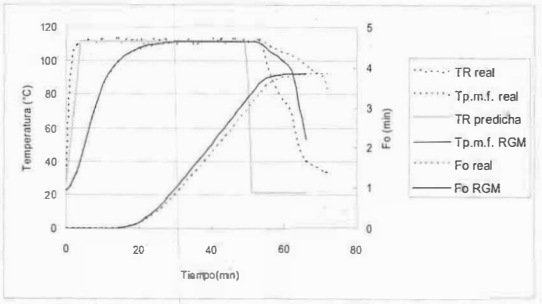


FIGURA 1: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS REALES (PROCESO 8) Y PREDICHAS POR RGM.

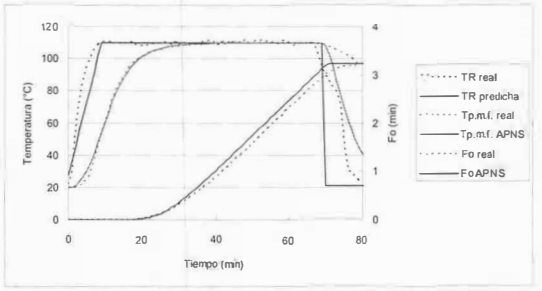


FIGURA 2: COMPARACIÓN DE LAS CURVAS REALES (PROCESO 3) Y PREDICHAS POR APNS.

térmico del envase de vidrio.

CONCLUSIONES

El software fue capaz de predecir en pocos segundos el tiempo de proceso térmico de papas envasadas en frasco de vidrio a temperatura diferente al proceso original.

La predicción del tiempo de proceso de RGM (error de 3,0% para las TR más bajas y 10,2% para las TR más altas) tuvo menos error que la de APNS (error de 8,5 % para las TR más bajas y 30,2 % para las TR más altas).

En los dos métodos (RGM y APNS) las predicciones del tiempo de proceso a temperatura de retorta menor que la original, tuvieron menor error que cuando las predicciones se hicieron a temperatura de retorta mayor que la original.

BIBLIOGRAFÍA

Ball, C., and Olson, F. 1957. Sterilization in food technology. Theory, practice and calculations. 1st Ed. McGraw-Hill Book Co., New York. 654 p.

Datta, A. Teixeira, A. and Manson, J. 1986. Computer-based retort control logic for on-line correction of process deviations. J.Food Sci. 51(2):480-483, 507.

Noronha, J., Hendrickx, M., Van Loey, A. and Tobback, P. 1995. New semi-empirical approach to handle time-variable boundary conditions during sterilisation of non-conductive heating foods. J. Food Engr. 24: 249-268.

Simpson, R., Almonacid, S., and Teixeira, A. 2003. Bigelow's general method revisited: development of a new calculation technique. J. Food Sci. 68(4):1324-1333.

Teixeira, A., Dixon, J., Zahradnik, J., and Zinmeister, G. 1969. Computer optimization of nutrient retention in the thermal processing of conduction-heated foods. Food Technol. 23(6):845-850.

Tucker, G., Noronha, J., and Heydon, C. 1996. Experimental validation of mathematical procedures for the evaluation of thermal processes and process deviations during the sterilization of canned foods. Trans IChemE, 74:140-148.

CUADRO 1 : PREDICCIONES A PARTIR DE LOS PROCESOS ORIGINALES POR EL MÉTODO RGM Y APNS

Tratamientos térmicos					Tiempo de proceso predicho y error			
Num.	TR promedio (°C)	CUT (min)	Tiempo de proceso real (min)	Fp (min)	RGM (min)	Error (%)	APNS (min)	Error (%)
PREDICCIONES A PARTIR DEL PROCESO ORIGINAL 1 (115,4°C)								
3	109,7	9,0	55,0	3,20	57,2	3,93	59,5	8,12
4	110,2	11,0	47,0	2,97	49,6	5,61	51,3	9,05
5	110,9	8,0	53,0	3,85	53,3	0,58	56,1	5,81
6	111,4	4,0	47,0	3,72	47,9	1,91	52,4	11,40
7	111,5	5,0	47,0	3,87	48,4	3,05	52,5	11,60
8	111,7	5,0	48,0	3,85	46,8	(2,54)	50,8	5,79
9	112,2	6,0	46,0	4,15	45,6	(0,92)	49,1	6,78
10	112,6	6,0	52,0	5,67	53,4	2,67	56,9	9,46
					Promedio	2,96		8,50
PREDICCIONES A PARTIR DEL PROCESO ORIGINAL 2 (110,8°C)								
11	114,4	8,0	31,0	4,70	33,9	9,23	39,1	26,02
12	115,2	8,0	28,0	4,94	31,3	11,64	36,4	30,08
13	115,2	5,0	24,0	3,43	25,7	6,94	31,7	32,13
14	115,4	8,0	22,0	3,34	24,8	12,57	29,5	34,08
15	115,6	9,0	20,0	2,86	22,5	12,65	26,7	33,62
16	115,9	8,0	32,0	6,37	33,1	3,39	38,3	19,62
17	116,4	10,0	18,0	2,69	20,5	13,65	24,0	33,23
18	116,5	9,0	20,0	3,45	22,3	11,38	26,5	32,57
					Promedio	10,18		30,17

( ) Error de predicción en lado no seguro

DESARROLLO DE UN PROGRAMA EN MICROBIOLOGÍA PREDICTIVA PARA EL CRECIMIENTO DE AGENTES DE SIGNIFICACIÓN EN PRODUCTOS AGROALIMENTARIOS

Pilar A. Martínez Manrique; Henry A. Váquiro Herrera; [1]Guillermo Salamanca Grosso
[1]GRUPO DE INVESTIGACIONES MELLITOPALINOLOGICAS Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD DEL TOLIMA
PBX +57(8) 264 42 19 Fax +57(8) 264 48 69
B. Santa Helena A.A. 546 - Ibagué, COLOMBIA. Email: salamancagrosso@gmail.com

Palabras clave: Modelado y Simulación. Microbiología predictiva. Herramientas de cálculo. Tecnología de alimentos.

RESUMEN

Este trabajo permitió elaborar una herramienta educativa computacional (MEC) interactiva denominada LabFIT 1.0 que permite predecir el crecimiento de microorganismos en alimentos, teniendo en cuenta algunos factores ambientales. El producto final es una herramienta a nivel de software, que facilita los procesos de aprendizaje en cuanto a la microbiología predictiva en programas académicos de Biología, Microbiología, Ingeniería y Tecnología de Alimentos. El modulo es parte de una estructura mas amplia donde se considera no solo el crecimiento sino la inactivación y los efectos ambientales en la evolución o retardo de la actividad de microorganismos de significación. LabFIT 1.0 permite el análisis simultáneo de hasta un conjunto de cinco datos diferentes a variadas condiciones ambientales, haciéndolo más funcional y operativo. Se incluye como aplicación la curva de crecimiento de *Salmonella enteritidis* y *E. coli* a 25, 30 y 37° C, manteniendo constantes el pH y la actividad de agua (a_w). La validación de la herramienta se fundamento en la comparación de la respuesta simulada con respecto a los registros de las curvas de crecimiento de diversos estudios científicos disponibles en publicaciones especializadas y bases de datos como *Combase*, que goza de gran reconocimiento en el ámbito de la microbiología predictiva. A través de la implementación del método de ajuste no lineal de Levenberg-Marquardt univariado en el diseño de los módulos de crecimiento e inactivación, se obtuvieron estimaciones comparables con datos experimentales y valores encontrados en otros modelos de ajuste tal como MicroFIT y GInaFIT, para el caso de *Salmonella* y *E. coli*, particularmente en la tasa de crecimiento máximo específico μ_{max}, la densidad celular inicial y_0 y final y_{max}.

INTRODUCCIÓN

La microbiología predictiva con aplicación en la industria alimentaria combina elementos de microbiología, matemáticas y estadística para el desarrollo de modelos que describen y predicen el crecimiento y declive de los microorganismos bajo condiciones ambientales preestablecidas y variables, para lo que se requiere poseer un conocimiento detallado del comportamiento de los microorganismos en los alimentos utilizando modelos matemáticos que faciliten la evaluación objetiva de la seguridad microbiológica y calidad de los alimentos. Existen diversos modelos de predicción usados en microbiología predictiva, entre ellos los del tipo cinético (Legan, 2002), sigmoidales (Baranyi, *et al*. 1993 McKellar 1997; Baty, *et al*. 2004); otros modelos se han centrado en el crecimiento fundamental que incluye las fases de latencia, exponencial, estacionaria y la velocidad de crecimiento específica de microorganismos de significación alimentaria (Baranyi y Roberts, 2004), aunque con anterioridad se ha formulado el modelo de Mckellar (1997) y Buchanan *et al* (1997). Un modelo de predicción microbiológico es una ecuación matemática de naturaleza empírica o compleja que describe y relaciona el crecimiento, supervivencia o muerte de microorganismos en alimentos a los niveles de los factores de control a través del espacio de diseño experimental. Los modelos implementados en este trabajo evalúan el comportamiento global del microorganismo, los cuales se someten a un método de ajuste para obtener los parámetros del modelo que permiten la predicción del crecimiento e inactivación bacteriana. Estos modelos no siempre aportan información a cerca de los mecanismos fisiológicos o fisicoquímicos, por ello son conocidos como de caja negra o "black box" y se definen a partir de relaciones empíricas entre las variables de entrada y de salida. La investigación moderna ha permitido avanzar en lo concerniente a nuevos sistemas de simulación logrando la formulación de herramientas y modelos de predicción. Para el desarrollo de los modelos predictivos algunas implicaciones analíticas asociadas a dichos modelos redundan en la predicción de riesgos, el control de calidad durante y hasta el desarrollo de un producto. Por lo tanto la clasificación de los diferentes tipos de modelos se basa en la valoración del incremento de un peligro o en su reducción, de esta manera los modelos pueden ser clasificados sobre la naturaleza de la respuesta microbiana. Los modelos cinéticos, adoptan parámetros definiendo con que rapidez crecerá un microorganismo, la duración de la fase lag y el tiempo de generación. Generalmente se modelan como variable de la respuesta basándose en curvas de crecimiento sobre una gama de condiciones; los modelos de frontera describen los límites de un conjunto de condiciones que permiten o no el desarrollo de un organismo. Estos pronostican el tiempo de crecimiento a partir de datos recopilados; son útiles para predecir la evolución en términos de semanas o meses y pueden ser usados para identificar nuevas condiciones de tratamiento que no permiten el incremento de microorganismos perjudiciales. Estos modelos son complementarios con los modelos cinéticos de crecimiento, ya que los modelos de frontera no predicen curvas pero predicen el crecimiento en términos de horas o días. Los modelos probabilísticos, proporcionan una valoración cuantitativa de la que ocurra un acontecimiento concreto en un tiempo dado, siendo más adecuados para situaciones en las que el riesgo es grave. Se utiliza con frecuencia para formación de toxina por *C. botulinum*. Un inconveniente de estos modelos es que no proporcionan información suficiente a cerca de la velocidad crecimiento. Los modelos predictivos se han dividido en tres niveles de acuerdo a la representación del crecimiento teniendo en cuenta o no las condiciones que rodean al microorganismo. En este trabajo se aborda el desarrollo de un programa en microbiología predictiva para el crecimiento de agentes de significación en productos agroalimentarios.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la estructura del software (modulo de crecimiento), se uso LabVIEW 7.0 Express (Laboratory Virtual Instrument

Engineering Workbench), como sistema basado en programación gráfica. La herramienta se desarrolló, teniendo en cuenta las fases de análisis, requisitos, diseño, codificación y prueba, conforme al diagrama de flujo se especifica en la figura 1 y 2. El modelo implementado para el desarrollo del módulo se ha formulado conforme a la solución explicita propuesta para un sistema de ecuaciones diferenciales desarrollada por el grupo de Baranyi *et al.* (1993).

$$y(t) = y_0 + \mu_{\max} t + \frac{1}{\mu_{\max}} \ln\left(e^{-v\cdot t} + e^{-h_0} - e^{-v\cdot t - h_0}\right) -$$

$$\frac{1}{m} \ln\left(1 + \frac{e^{m\cdot\mu_{\max}\cdot t + \frac{1}{\mu_{\max}} \ln\left(e^{-v\cdot t} + e^{-h_0} - e^{-v\cdot t - h_0}\right)} - 1}{e^{m(y_{\max} - y_0)}}\right)$$

Los términos de la ecuación hacen referencia al crecimiento o densidad celular en el tiempo t, con $y_0 = (\ln(x_0))$ correspondiente a la densidad inicial de la población, μ_{max} es la tasa de crecimiento máxima específica, expresada como Log UFC/ml/h; en la tercera parte de la ecuación se incluyen los parámetros v y m propios de la curvatura que caracterizan la transición desde la fase de adaptación a la exponencial y la transición desde la fase exponencial a la estacionaria; h_0 es un parámetro adimensional que cuantifica el estado fisiológico inicial de las células. El término y_{max} que es el logaritmo natural de la densidad máxima. Baranyi (1993), ha sugerido simplificaciones para ajustar los parámetros de la curvatura, de tal manera que v sea igual a μ_{max} y $m = 1$; en la representación de las asintotas, propias de las curvas de crecimiento, es por ello que se emplearon las funciones:.

$$y_{\max} = \ln(x_{\max}) \quad \text{y} \quad y_0 = \ln(x_0)$$

Las variables a considerar en el desarrollo de la herramienta computacional y de acuerdo a los objetivos establecidos requiere de información relacionada con la densidad de la población inicial y_0 y la población máxima y_{max} las cuales están explicitas en los datos que se le proporcionan al sistema (entre ellos el tiempo y las unidades formadoras de colonia en Log (UFC/ml/g)). Las variables desconocidas: la densidad celular $y(t)$, la velocidad de crecimiento máximo específico μ_{max} y el parámetro h_0 pueden ser estimadas a partir del modelo propuesto a través de la aplicación de uno de los métodos de ajuste no lineal denominado algoritmo de Levenberg-Marquardt, al cual se tiene acceso en uno de los subprogramas LabVIEW 7.0 EXPRESS™. Este algoritmo es un método de carácter iterativo que emplea mínimos cuadrados no lineales que evalúan diferentes funciones con el objeto de encontrar un punto o una función objetivo que se encuentre contenida dentro de las funciones evaluadas, hallándose la solución cuando la residual es igual o tiende a cero.

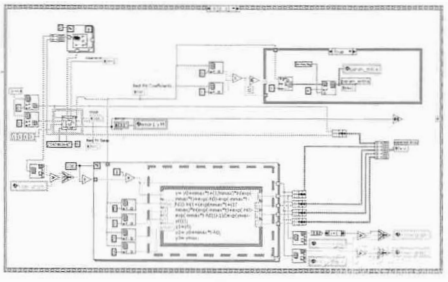


Figura 1. Diagrama de bloques para la estimación de los parámetros de crecimiento.

En este diagrama se presenta la estructura de programación gráfica en LabView, para el modelo de Baranyi *et al.* N el cual se ha incluido el algoritmo de Levenberg-Marquardt que proporciona los coeficientes de mejor ajuste al modelo de Baranyi y Roberts (19949. En la programación se consideraron las variables de entrada, los métodos de ajuste, la estimación de los parámetros y el entorno microbiano. El módulo descrito puede ser reutilizado para el análisis de nuevas series de datos. Una subrutina que permitiera la evaluación preliminar de los datos experimentales mediante el método de ajustes.

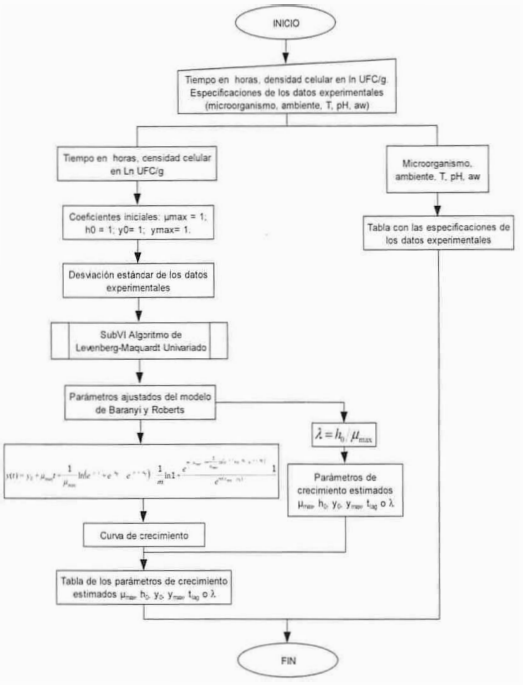


Figura 2. Algoritmo principal considerado en la estructura del módulo de crecimiento.

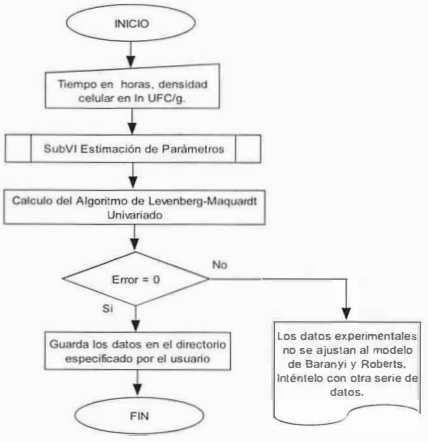


Figura 3. Algoritmo para la subrutina de nuevas series de datos experimentales en el módulo.

RESULTADOS EN APLICACIONES

Crecimiento. Se analizan los resultados de *Salmonella enteritidis*. Las condiciones de evaluación se realizaron por 28 horas conforme al trabajo experimental referido por Grijspeerdt y Vanrolleghem. (1999). El perfil de la curva de crecimiento *S. enteritidis* que se obtiene con la herramienta, muestra las fases de adaptación (lag), exponencial y estacionaria. Los parámetros característicos estimados con la herramienta LabFIT 1.0 corresponden a: la tasa de crecimiento máximo específico (μ_{max}) con 1.071 (Log UFC/ml)/h; el estado fisiológico de las células en los sistemas de simulación se verifica a través del parámetro adimensional (h_0) que en este

caso corresponde a 1.418; la densidad celular inicial (y_0) es del orden de 1.336 Log UFC/ml; la densidad celular máxima hasta el crecimiento es de 21.097 Log UFC/ml y el tiempo de adaptación (t_{lag}) estimado es de 1.324 horas (Figura 3). A partir de esta información se deduce
que el agente bacteriano tiene dificultad para adaptarse al sustrato y la transición a la fase exponencial es prolongada, no así la velocidad de crecimiento.

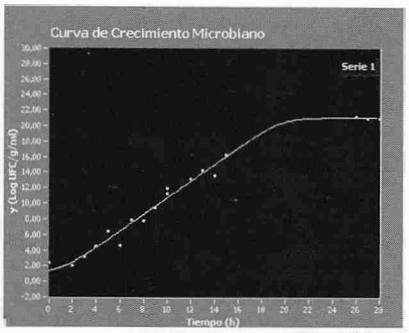
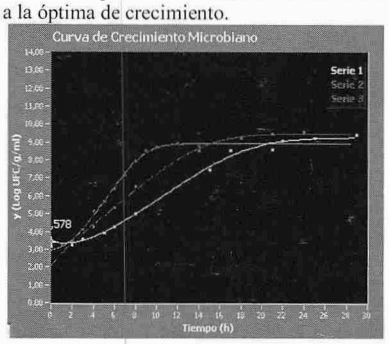


Figura 4. Curva tipo del crecimiento de *S. enteritidis*

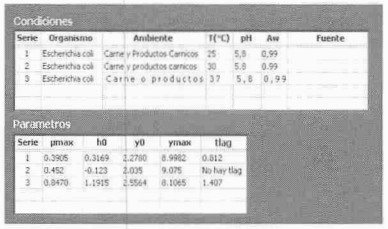
La temperatura óptima para el desarrollo de *Salmonella* en general oscila entre 35° C y 37° C; las condiciones experimentales evaluadas sobre *S. enteritidis* son inferiores a este rango, condición que afecta la actividad metabólica aumentando el tiempo de adaptación e incidiendo en la velocidad de crecimiento. Se ha indicado que el pH óptimo de este genero se sitúa entre 6.5 y 7.5, aunque se puede desarrollar a pH comprendidos entre 4.1 y 9.0, se nota que este no es un parámetro limitante en su evolución, los requerimientos de actividad acuosa mínima de crecimiento están entre 0.93 y 0.95, con un óptimo entre 0.945 y 0.999, factores estos que pueden incidir en el comportamiento del agente patógeno en un ambiente determinado. Desde el punto de vista comparativo, la evaluación de los datos experimentales para *S. enteritidis* usando LabFIT 1.0, MicroFIT™ (Versión 1.0 IFR) y el modelo desarrollado por Grijspeerdt y Vanrolleghem, para los parámetros ajustados del modelo, hacen comparable a LabFIT 1.0 con los otros modelos en cuanto a la tasa de crecimiento máximo específico (μ_{max}) con un valor de 1.071 (Log UFC/ml)/h similar a 1.089 (Log UFC/ml)/h del modelo de Grijspeerdt y Vanrolleghem, resultando en desventaja MicroFIT con 2.47 (Log UFC/ml)/h, significativamente mayor al estimado con las otras herramientas. Esta ventaja obedece a la aplicación del método de ajuste de Levenberg-Marquardt disponible en LabVIEW 7.0™

Curvas múltiples de crecimiento: En esta aplicación de la herramienta, se evalúa el efecto de la temperatura en el crecimiento de *E. coli* a 25, 30 y 37° C, manteniendo constantes el pH y la actividad de agua (a_w); para conocer otras características biotípicas de este agente microbiano remítase al apartado teórico. El microorganismo se aisló de un producto cárnico y los datos experimentales han sido tomados de la base de datos Combase™. El resultado para las condiciones establecidas y los parámetros estimados se muestran en la interfaz de usuario como se ilustra en la figura 5. A partir de las condiciones ambientales establecidas, se infiere que una tasa de crecimiento en Log (UFC/ml)/h de 0.3905 a 25° C, más baja en relación a 30 y 37° C con 0.452 y 0.847 respectivamente para la cepa aislada. Los datos experimentales reportados en la literatura revelan condiciones térmicas óptimas de 35 a 40° C y máximas de 44 a 46° C. La actividad de *E. coli* se ve favorecida a 37° C, sin embargo, las condiciones de pH y a_w podrían influenciar el tiempo de adaptación (1.41 horas), valor estimado más alto en relación a 30° C, donde se observa un tiempo reducido de adaptación.

A 25° C el tiempo calculado correspondió a 0.812 horas. Cabe indicar que densidades de población comparables generan tasas de crecimiento similar, pero en tiempos diferentes así: 25° C a 22 horas, 30° C a 18 horas y 37° C a 9 horas. Condiciones estas que revelan el efecto térmico en la evolución y desarrollo del microorganismo. Observaciones análogas para el caso de *Salmonella* a 30 y 40° C muestran el efecto positivo de la temperatura en relación a los tiempos de adaptación, velocidad de crecimiento y tiempo en alcanzar su máxima densidad celular. El efecto de la temperatura también es bastante claro en las pendientes que forman las curvas de crecimiento, en donde la serie 3 con una temperatura de 37 °C tiene una pendiente más pronunciada lo que se refleja en una tasa de crecimiento mayor y un tiempo de adaptación menor, fenómeno que frecuentemente se presenta cuando el microorganismo se desarrolla a una temperatura cercana a la óptima de crecimiento.



A



B

Figura 5. Sección de la interfaz de usuario del módulo de crecimiento que ilustra las curvas (A) y las condiciones establecidas con sus parámetros estimados (B).

El modulo ofrece diversas aplicaciones, entre las que se encuentran la predicción de riesgos en el que se puede establecer la probabilidad que un microorganismo patógeno sobreviva durante el almacenamiento; el control de calidad para predecir el efecto de los factores ambientales que coadyuvan en la decisión del Plan de análisis de Peligros y Puntos de Control Críticos (HACCP).

BIBLIOGRAFÍA

BARANYI, J.; McCLURE, P.J.; SUTHERLAND, J.P.; ROBERTS, T.A. 1993. Modelling bacterial growth responses. *Journal of Industrial Microbiology*. Vol. 12. p. 190 – 194.

BARANYI, J.; ROBERTS, T. 2004. Predictive microbiology – quantitative microbial ecology. *Culture*. [on line] Vol. 25 No 1 March. p. 1-20.

BASTI, A.; RAZAVILAR, V. 2004. Growth response and modeling of the effects of selected factors on the time to detection and probability of growth initiation of *Salmonella typhimurium*. *Food Microbiology*. [on line] Vol. 21. p. 431 – 438.

BATY, F.; DELIGNETTE-MULLER, M. 2004. Estimating the bacterial lag time: which model, which precision?. *International Journal of Food Microbiology*. [on line] Vol. 91, 2004; p. 261 – 277.

BELL, C.; KYRIAKIDES, A. 2002. Foodborne pathogens: Hazard, risk analysis and control. Cambridge, England: Clive de W. Blackburn and Peter J. McClure. 356 p.

BUCHANAN, R. L.; WHITING, R. C.; DAMERT, W. C. 1997. When is simple good enough: A comparison of the Gompertz, Baranyi and three-phase linear models for fitting bacterial growth curves. *Food Microbiology*. [on line] Vol. 14 1997; p. 313 - 326.

GRIJSPEERDT, K and VANROLLEGHEM, P. 1999. Estimating the parameters of the Baranyi model for bacterial growth. Food Microbiology. [online] Vol. 16. p. 593 - 605.

LEGAN, D. 2002. Foodborne pathogens: Hazards, risk analysis and control: Modelling the growth, survival and death of bacterial pathogens in foods. England: Kraft Foods North America. Food Science Australia. Woodhead Publishing,

HERRAMIENTA DE PREDICCION DE LA INACTIVACION EN MICROBIOLOGÍA DE AGENTES DE INTERES ALIMENTARIO

Pilar A. Martínez Manrique; Henry A. Váquiro Herrera; [1]Guillermo Salamanca Grosso
[1]GRUPO DE INVESTIGACIONES MELLITOPALINOLOGICAS Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD DEL TOLIMA
PBX +57(8) 264 42 19 Fax +57(8) 264 48 69
B. Santa Helena A.A. 546 - Ibagué, COLOMBIA. Email: salamancagrosso@gmail.com

Palabras clave: Modelado y Simulación. Microbiología predictiva. Herramientas de cálculo. Tecnología de alimentos.

RESUMEN

Este trabajo permitió diseñar, desarrollar y optimizar una herramienta de modelización y simulación para la predicción de la inactivación de microorganismos de significación alimentaria. La herramienta generada se pone a disposición de estudiantes, docentes e investigadores interesados en la microbiología predictiva, a través de un software interactivo denominado LabFIT versión 1.0. que en este caso opera conforme a las directrices de los modelos Geeraerd. La herramienta, permite el estudio diferentes tipos de curvas, ya que presenta linealidad en los efectos de hombro y o cola reflejando una suave transición entre fases. Se ilustran la aplicación con *E.coli*

INTRODUCCIÓN

El incremento constante de la población mundial, ha requerido que exista gran cantidad y variedad de alimentos disponibles en las centrales de abastecimiento, motivo por el cual la industria alimentaria en respuesta a las exigencias del mercado, ha implementado técnicas de procesamiento para fabricar eficientemente productos alimenticios de calidad. En microbiología predictiva se desarrollan ecuaciones que permiten obtener un detallado conocimiento del comportamiento de los microorganismos en los alimentos; sus orígenes radican desde 1922, cuando Esty y Meyer describieron la muerte térmica de las esporas de *Clostridium botilinum* mediante un modelo lineal. En 1936 Scout estudió el efecto de la temperatura sobre la tasa de muerte microbiana, actualmente conocida como la teoría de la constante de valor *z*. Posteriormente Gibson utilizó la función sigmoidal de Gompertz y los polinomios representando el efecto del pH, cloruro de sodio y la temperatura sobre el crecimiento de *Salmonella sp* los resultados indicaron que la función de Gompertz poseía el mejor ajuste dentro de los modelos existentes, convirtiéndose en la función más utilizada de esa época. Baranyi y Roberts han proporcionado modelos mecanicistas basados en leyes fundamentales de la ciencia con el objeto de describir la fase lag o de retraso, convirtiendo estos modelos en una útil herramienta para ajustar curvas sigmoidales y particularmente evidenciar la transición entre las fases exponencial y estacionaria para el crecimiento y muerte (Baranyi, 1993). Diversos grupos de investigadores han creado y acondicionado métodos para describir comportamientos bacterianos con respecto a las condiciones ambientales; entre ellos Ratkowsky, Hills, que generaron estudios en microbiología predictiva (Manrique, 2006: Vanaclocha, 2003).

El término "intoxicación alimentaría" se utiliza para designar las enfermedades producidas por la ingestión de toxinas elaboradas por los microorganismos en un alimento y para aquellas otras debidas a la entrada de bacterias al organismo por ingestión de alimentos contaminados. Entre los microorganismos de significación alimentaria se distingue *Salmonella*, *Escherichia coli* y *Vibrio parahaemolyticus*, *Campylobacter jejuni sp. Escherichia coli* 0157:H7 *Staphylococcus aureus sp.* la bacteria *Vibrio vulnificus sp. Listeria monocytogenes spp, Shigella sp. Clostridium botulinum sp. Yersinia enterocolitica sp.* que deben ser eliminadas de los alimentos mediante operaciones en las cuales se verifique una adecuada transferencia de calor. (Frazier, 1993; Anton y Amejeiras,1997; Rodriguez, et al 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

En la estructura del software (modulo de inactivación), se uso LabVIEW 7.0 Express (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench), como sistema basado en programación gráfica. La herramienta se desarrolló, teniendo en cuenta las fases de análisis, requisitos, diseño, codificación y prueba, conforme al diagrama de flujo se especifica en la figura 1 y 2.

Conforme a los criterios relacionados con la reducción de la actividad microbiana en productos agroalimentarios descritos en el marco referencial, se hicieron consideraciones para su implementación a través de una herramienta de cálculo, en este caso se planteó el uso de los modelos propuestos por el grupo de investigación de Geeraerd *et al.* (2000), siendo una de las soluciones explicitas de estos modelos la expresión:

$$N(t) = (N(0) - N_{res})e^{-k_{max}t}\left(\frac{e^{k_{max}S_l}}{1+(e^{k_{max}S_l}-1)e^{-k_{max}t}}\right) + N_{res}$$

Donde $N(0)$ representa la densidad de la población inicial (UFC/ml); k_{max} y N_{res} son la tasa de inactivación máxima especifica (Log UFC/ml)/min y la densidad de población residual (UFC/ml) respectivamente. S_l representa el tiempo de inicio del hombro correspondiente al descenso de la densidad microbiana presente en el material de interés.

Con el propósito de optimizar la rigurosidad del modelo a implementar se consideró que la tasa de inactivación correspondiera a la siguiente aproximación: $k_{max} > 0$ y $S_l > 0$ y $N_{res} < N(0)$ para asegurar la operatividad del módulo. En éste las variables funcionales conocidas son N_{res} y $N(0)$, que son de naturaleza explicita dentro de los datos experimentales y deben ser proporcionados por el usuario al sistema. Entre ellos el tiempo y las unidades formadoras de colonia UFC/ml/g durante el proceso de inactivación térmica en condiciones predefinidas. Establecidas estas condiciones se pueden estimar las variables $N(t)$, la tasa de muerte máxima especifica k_{max} y el parámetro S_l.

Para obtener los parámetros desconocidos y en consecuencia la curva de inactivación se ha implementado el ajuste no lineal mediante el algoritmo de Levenberg-Marquardt Univariado dando solución al modelo de Geeraerd, el cual se ajusta al conjunto de datos experimentales que se suministran a la herramienta de cálculo. En la figura 3 se ilustra el diagrama de programación en Labview generado luego de la implementación de los algoritmos.

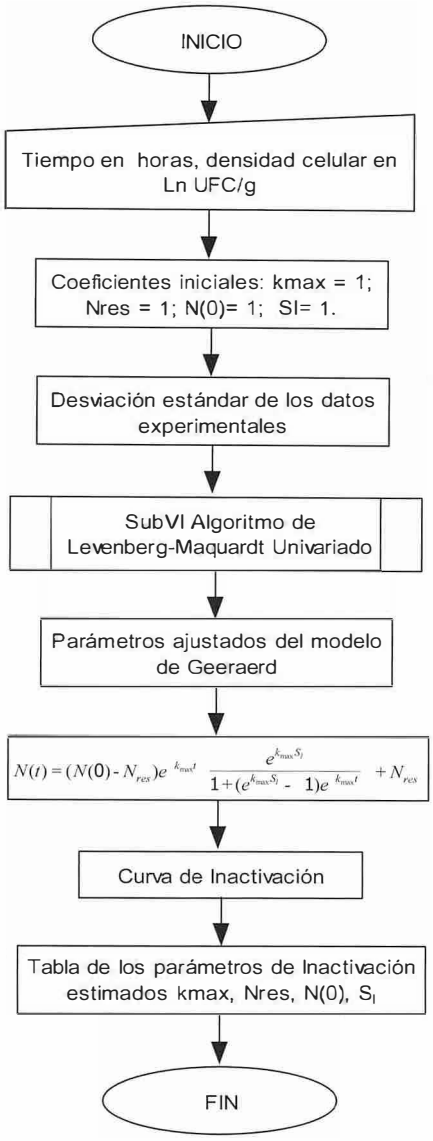


Figura 1. Algoritmo del subprograma para la estimación de parámetros considerado en la estructura del módulo de inactivación.

Desde el punto de vista operativo, el panel frontal del módulo de inactivación se compone por los siguientes elementos: cuatro comandos de acción denominados Cargar, Tabla de datos, Nueva y Eliminar; además dos tablas que reflejan los datos de referencia (organismo, ambiente en el que se desarrolla, temperatura, pH, actividad acuosa y la fuente de los datos) y los parámetros estimados (K_{max}, N_0, N_{res} y S_I); también se observa la ecuación de Geeraerd implementada para la construcción de este módulo y la valoración estadística.

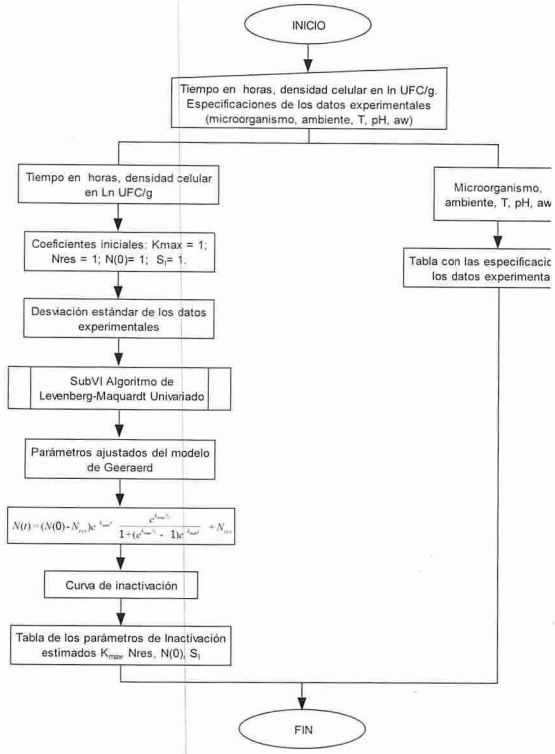


Figura 2. Algoritmo principal considerado en la estructura del módulo de Inactivación.

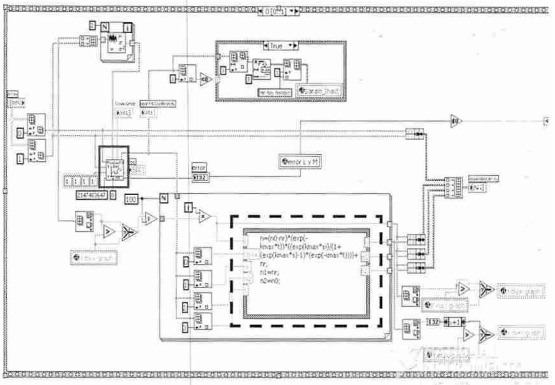


Figura 3. Diagrama de bloques para la estimación de los parámetros de inactivación

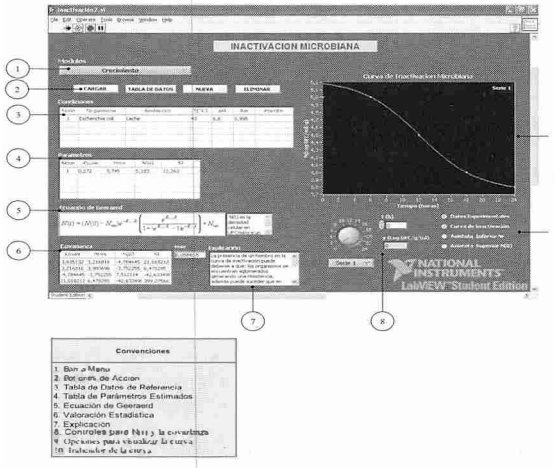


Figura 4. Módulo de Inactivación con sus diferentes elementos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Curvas de inactivación. Se realizó la evaluación de *Salmonella* bajo las siguientes condiciones: carne como sustrato calentada a 55° C durante 30 minutos de acuerdo al trabajo experimental de Juneja *et al.*(2003). Este microorganismo a las condiciones establecidas representa en la curva un hombro seguido por un área lineal reflejando una semicola, cuya representación se ilustra en la figura 5. Los parámetros del modelo estimados por LabFIT V.1.0. corresponde: a la tasa de inactivación máxima especifica K_{max} con 13.328 (Log UFC/ml)/h; la densidad celular residual es 6.520 Log UFC/ml y la inicial es de 9.009 Log UFC/ml; el tiempo de formación del hombro que se refleja en la curva corresponde a 0.292 horas. De acuerdo a estos resultados la presencia de hombro puede corresponder a cualquiera de las hipótesis planteadas por Mossel *et al.* (1995). El género *Salmonella* a más de 45° C resulta inhibido; condiciones de experimentación a altas temperatura, inciden notablemente en la velocidad de muerte, aunque con la presencia de una población residual que puede ser consecuencia del tiempo de exposición.

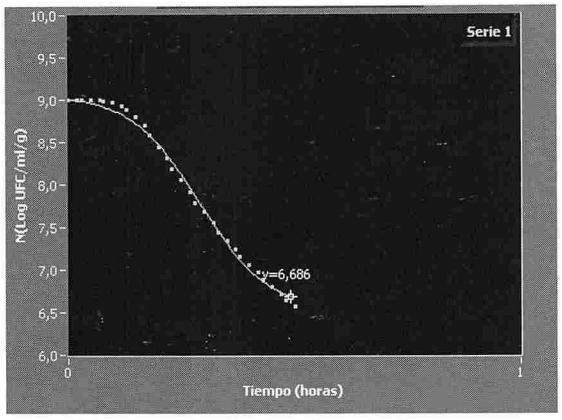
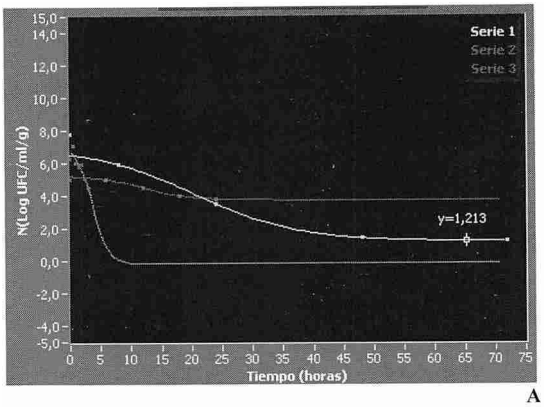


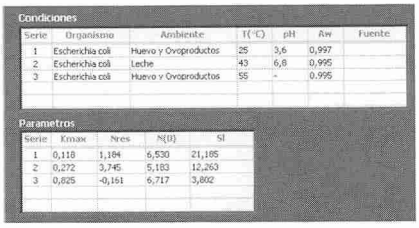
Figura 5. Curva de Inactivación para *Salmonella* ajustada al modelo de Geeraerd

Esta herramienta es comparable y superior en algunos aspectos a las existentes en el comercio. GlnaFIT V.1.4. que goza de gran reconocimiento en microbiología predictiva en el ámbito de la inactivación microbiana. En cuanto a la tasa de inactivación máxima especifica K_{max} tanto LabFIT como GlnaFIT poseen estimaciones similares, en donde la primera el K_{max} en (Log UFC/ml)/h es de 13.328 y la segunda es de 13.070. Esta semejanza en los resultados puede corresponder al empleo de un apropiado método de ajuste.

Curvas Múltiples de inactivación. Usado información disponible en la base de datos Combase™, se realizó la evaluación de *Escherichia coli* inoculada en huevo y leche. Los resultados usando la herramienta de predicción LabFIT V.1.0 revela que a temperaturas mayores de 46° C y pH inferiores a 4.0, el metabolismo de *E. coli* se afecta notablemente iniciándose un proceso de destrucción, en donde la temperatura es el factor ambiental que ejerce más influencia en el proceso; esto explica que en el caso expuesto, las tasas de inactivación para *E. coli* inoculada en huevo a 55°C sean significativamente mayores que la expuesta a 25°C, con valores en (Log UFC/ml)/h de 0.825 y 0.110 respectivamente. Es de resaltar que en este último la destrucción celular se manifiesta no propiamente por la temperatura (25°C) sino por el pH (3.6), como consecuencia de las características propias de supervivencia de este microorganismo. (Figura 6). Para el caso de *E. coli* inoculada en leche y expuesta a un calentamiento de 43°C, se observa una resistencia en la población microbiana como consecuencia de un tiempo de formación del hombro de 12.26 horas, tal vez generado por la naturaleza del sustrato; de igual forma la temperatura no es la óptima para inactivar completamente a este microorganismo.



A



B

Figura 6. Sección de la interfaz de usuario del módulo de inactivación que ilustra las curvas (A) y condiciones establecidas con sus parámetros estimados (B).

CONCLUSIONES

La solución explicita del modelo de Geeraerd, definido para la inactivación microbiana, es representativo y fácilmente ajustable a la creación de herramientas de simulación, que permite el estudio diferentes tipos de curvas, ya que presenta linealidad en los efectos de hombro y o cola reflejando una suave transición entre fases. A través de la implementación del método de ajuste no lineal de Levenberg-Marquardt univariado, se obtuvieron estimaciones comparables con datos experimentales y valores encontrados en otros modelos de ajuste tal como MicroFIT y GlnaFIT, para el caso de *E. coli*. El potencial de la herramienta elaborada es amplio y posibilita su uso en cursos de formación en Ciencia de los alimentos.

BIBLIOGRAFÍA

ANTON, A.; AMEJEIRAS, R.; 1997. Toxiinfecciones alimentarias de origen bacteriano. España: Trouw Nutrition, Laboratorio de microbiología, 1997. 87 p.

BARANYI, J., McCLURE, P.J., SUTHERLAND, J.P., ROBERTS, T.A. 1993. Modelling bacterial growth responses. *Journal of Industrial Microbiology*. Vol. 12 1993; p. 190 – 194.

CASP. V. A. 2003. Procesos de conservación de alimentos. Mundiprensa. Ed. España. 494 Pp.

FRAZIER, W.C. 1993. Microbiología de los Alimentos. 4° ed. Zaragoza : Acribia. España. 110 p.

GEERAERD, A. H., HERREMANS, C.H. and VAN IMPE, J. F. 2000. Structural model requirements to describe microbial inactivation during a mild heat treatment. *International Journal of Food Microbiology*. [on line] Vol. 50: p. 185 - 209.

MARTÍNEZ, M. P. 2006. Predicción del crecimiento e inactivacion de microorganismos patógenos en productos agroalimentarios mediante herramientas de simulación. Trabajo de Grado Programa de Ingeniería Agroindustrial Universidad del Tolima 124Pp.

RODRÍGUEZ, B.; FORERO, L.; SALAMANCA, G. 2007. Implementación de una herramienta de cálculo para la estimación de curvas de penetración de calor en alimentos enlatados. Memorias IX Congreso Iberoamericano de Microbiología e Higiene de los Alimentos. Venezuela.

MODELADO MATEMÁTICO DE LA CINÉTICA DE SECADO DE ALGUNOS ALIMENTOS A TRAVÉS DE ECUACIONES EMPÍRICAS.

Vega-Gálvez, Antonio*; Lemus-Mondaca, Roberto; Miranda, Margarita y Uribe, Elsa.
Departamento Ingeniería en Alimentos, Universidad de La Serena, Av. Raúl Bitrán s/n, La Serena, Chile
Tel: 56-51-204305; Casilla: 599; E-mail: avegag@userena.cl

RESUMEN

Se estudio el comportamiento de la cinética de secado de diferentes alimentos (papaya, gracilaria, aloe vera y pimiento) a rangos de temperaturas entre 40 y 90°C. Se utilizaron cinco modelos, Newton, Henderson-Pabis, Page, Page modificado y Wang-Singh para simular la cinética de secado. Además se proponen dos nuevos modelos en este estudio, MR=exp $(n_2+k_3 \cdot t)$ y MR= $(n_3+k_4 \cdot \sqrt{t})$. Los parámetros cinéticos k_i=1, 2,...7, presentaron dependencia con la temperatura, evaluadas por una ecuación tipo-Arrhenius, no así los parámetros empíricos n_i=1, 2,...6. La calidad de ajuste de los modelos sobre los datos experimentales se evaluó por medio de tres estadísticos, *SSE* suma errores cuadrados, *RMSE* raíz media errores cuadrados y χ^2 Chi-cuadrado. Al comparar los valores experimentales con los calculados, se demostró que Wang-Singh obtuvo la mejor calidad de ajuste para cada producto, representando una excelente herramienta para estimar el tiempo de secado de estos productos.

Palabras-claves: *deshidratación, modelado, Wang-Singh, Arrhenius, estadísticos.*

Nomenclatura

X_{wt} = contenido de humedad (g agua/g d.m.)
X_{wo} = contenido de humedad inicial (g agua/g d.m.)
X_{we} = contenido de humedad equilibro (g agua/g d.m.)
MR = razón de humedad (adimensional)
MR_{ei} = razón de humedad experimental (adimensional)
MR_{ci} = razón de humedad calculado (adimensional)
k_i (i=1, 2,...7) = parámetros cinéticos (min^{-1})
n_i (i=1, 2,...6) = parámetros empíricos (adimensional)
k_{oi} (i=1, 2,...7) = factor de Arrhenius (min^{-1})
t = tiempo (minutos)
E_a = energía de activación ($kJ \cdot mol^{-1}$)
R = constante universal de gases (8.314 $J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$)
T = temperatura absoluta (K)
N = número de datos
z = número de parámetros
d.m.= materia seca
i = numero de términos

INTRODUCCIÓN

La industria de los alimentos deshidratados presenta la mayor tendencia al aumento en los últimos años. La deshidratación en sus diferentes formas como aire caliente, liofilización, atomización, deshidratación osmótica y solar, es un método de preservación de alimentos, definido como un proceso de remoción de humedad, debido a un transferencia simultanea de calor y masa, que logra reducir considerablemente el contenido de humedad y de actividad de agua (a_w), con grandes ventajas como mayor diversidad de productos, reducción sustancial del peso y volumen facilitando el transporte, impedir deterioro durante largos periodos de almacenamiento, y la facilidad de ser almacenados a temperatura ambiente [1, 2]. Actualmente, la deshidratación sirve de base para desarrollar nuevos alimentos por ser fuentes de vitaminas, minerales y fibra dietética, por esta razón es que son considerados como componentes o ingredientes de alimentos funcionales, debido a su fácil incorporación final [3, 4]. Existen varias ecuaciones empíricas para simular el proceso de secado que sirven para el estudio, el modelado de la cinética y optimización del proceso mismo, como también para el diseño y construcción de secadores. El objetivo de este estudio fue estudiar y modelar la cinética de secado de varios productos agropecuarios a diferentes temperaturas, además de proponer dos nuevos modelos lo que permite ampliar las ecuaciones de predicción para este estudio.

MATERIALES Y MÉTODO

2.1 Material

Las experiencias de secado se efectuaron a temperaturas desde 40 a 90°C, en un secador convectivo, diseñado y construido por el Depto. Ingeniería en Alimentos de la Universidad de La Serena (*Figura 1*). Este secador posee un calentador de resistencias, un ventilador y un panel de control el cual permite monitorear la velocidad y temperatura del aire. El aire se calienta por medio de resistencias eléctricas de Nicrom, el cual tiene un flujo perpendicular hacia las muestras. Los distintos productos se lavaron y pelaron, luego se cortaron en forma de láminas de espesor conocido. Las muestras se depositaron en forma capa fina sobre un canasto metálico de acero inoxidable que cuelga de una balanza (*Ohaus, SP402, USA*) de precisión 0.01 g, comunicada por un sistema interfase (*Ohaus, RS232, USA*) a un PC, donde se registran y almacenan los datos de masa a tiempo real, hasta alcanzar peso constante. La velocidad de aire fue de 2.0±0.2 $m \cdot s^{-1}$. Para cada experiencia, se asumió una geometría de lámina infinita y tiempos largos de proceso. El contenido de humedad de equilibrio que alcanzarán los productos, se determinó por sus isotermas de desorción por el método COST 90. El contenido de humedad se determinó por medio de la metodología A.O.A.C. nº 934.06 (1990) usando una estufa a vacío (*Gallenkamp, UK*) y una balanza analítica de presición ±0.0001 g (*CHYO, Jex120, USA*). El contenido de humedad inicial de la papaya, gracilaria, aloe vera y pimiento fueron de 13.28±0.17, 6.25±0.40, 69.23±1.13 y 4.86±0.45 g agua/g m.s., respectivamente [1, 2, 3, 4].

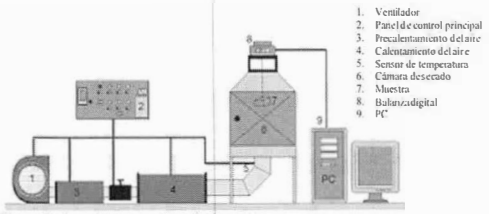


Figura 1. Secador convectivo de bandejas.

2.3 Modelos matemáticos de las curvas de secado

Todos estos modelos utilizan como variable dependiente la razón de humedad (*MR*), que relaciona el gradiente entre la humedad de la muestra a tiempo real con la humedad inicial y de equilibrio [1, 2, 3, 4]. Para el modelado de la curvas de secado de los cuatro productos, se utilizaron siete ecuaciones matemáticas, dos de las cuales son propuestas [3]. Se analizó la dependencia de la temperatura del aire de secado sobre los parámetros cinéticos k_i y empíricos n_i, mediante una ecuación tipo-Arrhenius.

Razón Humedad	$MR=(X_{wt}-X_{we})/(X_{wo}-X_{we})$
Newton	$MR = \exp(-k_1 t)$
Henderson-Pabis	$MR = n_1 \exp(-k_2 t)$
1er modelo propuesto	$MR = n_2 + k_3 \sqrt{t}$
2do modelo propuesto	$MR = \exp(n_3 + k_4 t)$
Wang-Singh	$MR = n_4 t^2 + k_5 t + 1$
Page	$MR = \exp(-k_6 t^{n_5})$
Modified Page	$MR = \exp(-(k_7 t)^{n_6})$
Arrhenius	$k_i = k_{oi} \cdot \exp[-E_a / RT]$

Para evaluar la calidad ajuste de los modelos utilizados sobre los datos experimentales, se utilizaron los estadísticos *SSE*, *RMSE* y χ^2 [1, 2, 3].

$$RMSE = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(MR_{ci}-MR_{ei})^2\right]^{1/2}$$

$$SSE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(MR_{ei}-MR_{ci})^2$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(MR_{ei}-MR_{ci})^2}{N-z}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Comportamiento de las curvas experimentales

La Figura 2 a, b, c y d, muestran las curvas de secado a las diferentes temperaturas, para papaya, gracilaria, aloe vera y pimiento, respectivamente. Se puede observar el claro efecto de la temperatura del aire de secado, ya que esta al aumentar disminuye el tiempo de secado [1, 4], con un aumento en la velocidad de transferencia de materia, para lograr humedades de equilibrio en promedio cercanas a 0.080±0.002 g agua/g m.s., en los cuatro productos. En las mismas figuras se observa la distancia entre las curvas de secado por el efecto de la temperatura, sin embargo una tendencia al equilibrio (asintótica) de las mismas se observa en el transcurso del proceso hacia el final.

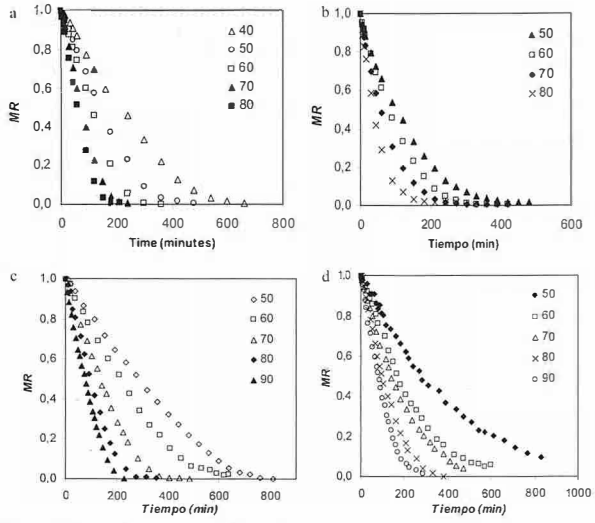


Figura 2. Curvas de secado experimentales de a) papaya, b) gracilaria, c) aloe vera y d) pimiento.

3.2. Modelado de la cinética de secado

La Tabla 1 muestra los resultados de todos los parámetros k_i, apreciando que estos valores aumentan a medida que aumenta la temperatura de secado, en cada producto. Un análisis *ANOVA* realizado (Statgraphics^{TM} 5.1) sobre las medias de los parámetros k_i, para un nivel de confianza del 95%, se obtuvo un valor $p<0.05$, por lo que existen diferencias estadísticamente significativas de cada parámetro k_i con la temperatura para cada uno de los producto en estudio. Estos parámetros cinéticos obtuvieron valores de $r^2>0.90$, al ser evaluados por la ecuación tipo-Arrhenius, como se aprecia en las Fig. 2. Inmediatamente, se determinaron las energías de activación E_a y factores de Arrhenius (k_o) para cada uno de ellos, como se muestra en la Tabla 2 y 3, respectivamente. Los parámetros n_i presentaron valores $p>0.05$, al mismo nivel de confianza del 95%, lo que indica que no son dependiente de la temperatura, sino mas bien dependerían de las características propias del tejido y tal vez de la velocidad del aire de secado. Entonces, como el efecto de la temperatura se ve reflejado ciertamente sobre los parámetros cinéticos k_i de cada modelo, se podría decir que presentan un comportamiento pseudo-difusional.

Tabla 1. Resultado de los parámetros cinéticos k_i (x 10^{-2}) de cada modelo para los cuatro productos evaluados.

Papaya	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
40	0.38	0.41	0.67	4.75	0.28	0.09	0.41
50	0.56	0.61	1.06	5.70	0.42	0.17	0.59
60	0.76	0.86	1.15	6.61	0.48	0.21	0.69
70	1.08	1.20	2.10	8.10	0.79	0.27	1.08
80	1.27	1.39	3.13	8.79	0.99	0.39	1.42
Gracilaria	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
50	1.00	0.67	1.65	6.73	0.72	0.24	0.35
60	1.46	1.89	1.89	7.05	0.90	0.51	0.73
70	1.81	2.06	2.06	7.63	0.94	0.73	0.90
80	1.88	4.50	4.50	10.42	1.71	1.02	1.37
Aloe vera	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
50	0.44	0.53	0.53	4.33	0.20	0.03	0.29
60	0.50	0.57	0.57	4.99	0.27	0.05	0.40
70	0.97	1.14	0.60	5.99	0.43	0.06	0.64
80	1.24	1.45	1.45	7.17	0.58	0.08	0.87
90	1.75	2.09	2.08	7.80	0.77	0.11	1.12
Pimiento	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
50	0.27	0.28	0.28	3.70	0.21	0.14	0.26
60	0.51	0.56	0.53	4.98	0.33	0.15	0.43
70	0.58	0.60	0.62	5.05	0.41	0.23	0.51
80	0.81	0.90	1.35	6.68	0.56	0.27	0.83
90	1.32	1.46	1.37	7.48	0.72	0.28	1.07

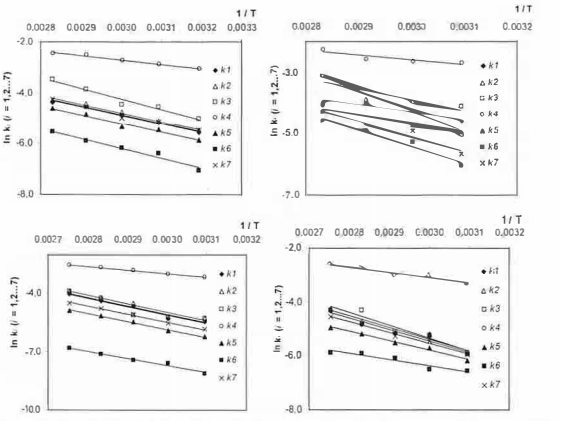


Figura 3. Relación de Arrhenius de los parámetros cinéticos para a) papaya, b) gracilaria, c) aloe vera y d) pimiento.

Tabla 2. Resultado de energías de activación (E_a) de cada parámetro cinético k_i de los modelos propuestos por producto.

Producto	E_a (kJ·mol^{-1})						
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
Papaya	28.32	28.79	34.50	14.58	29.01	31.34	28.35
Gracilaria	20.19	55.15	29.00	13.04	24.81	44.80	40.99
Aloe vera	35.77	35.82	35.36	15.04	33.80	30.00	34.01
Pimiento	35.49	36.86	40.25	16.62	29.27	19.34	34.05

Tabla 3. Resultado de factores de Arrhenius (k_o) de cada parámetro cinético de los modelos propuestos por producto.

Producto	k_o x10^{-3} (min^{-1})						
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
Papaya	4.817	3.6862	0.272	77.468	5.178	5.911	4.623
Gracilaria	50.58	0.0001	1.412	122.89	14.39	0.021	0.061
Aloe vera	0.409	0.3427	0.458	85.942	1.751	44.20	1.102
Pimiento	0.634	0.3640	0.104	53.981	8.407	548.1	1.166

3.3. Evaluación estadística

La Figura 4 muestra los resultados de los tres estadísticos propuestos, con el fin de evaluar la calidad del ajuste den los modelos utilizados sobre los datos experimentales (*SSE, RMSE* y χ^2). Al comparar los siete modelos matemáticos utilizados, todos presentaron valores de *SSE, RMSE* y χ^2 inferiores a 0.98. No obstante, una vez analizados a través de la Figura 4 para cada uno de los estadísticos y para cada producto se comprobó que el modelo *Wang-Singh* obtuvo la mejor calidad de ajuste sobre los datos experimentales, seguido muy de cerca por *Page. Page modificado* y por nuestro 2do *modelo propuesto*, en general para cada producto. Con respecto a las otras ecuaciones, como son *Newton, Henderson-Pabis* y el 1er *modelo propuesto* se observa valores muy superiores de los estadísticos por cada producto con respecto a los de mayor ajuste. La buena simulación de los datos experimentales que posee el modelo de *Wang-Singh*, se puede deber a que posee dos parámetros k_5 y n_4, mas aún que es una ecuación polinomial de segundo grado, lo cual otorga una mayor aproximación matemática sobre las curvas de secado, ya que presenta una forma de media parábola que asemeja de muy buena manera las curvas de secado.

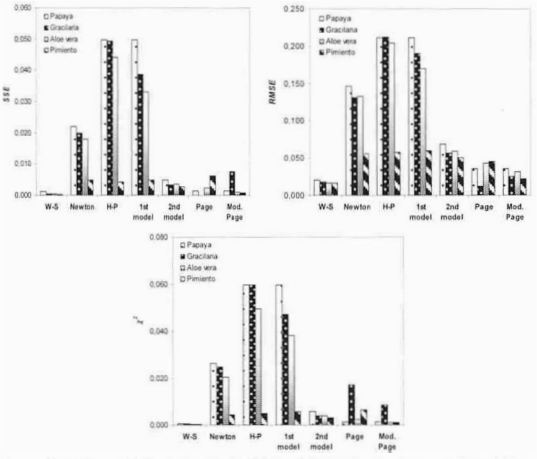


Figura 4. Valores de los estadísticos *SSE, RMSE* y χ^2 para cada modelo por producto.

El modelado matemático de las curvas de secado experimentales con *Wang-Singh*, se aprecian en la Figura 5 a, b, c y d, para cada producto. Se puede observar la buena calidad de ajuste de *Wang-Singh*, en todo el proceso de secado, desde el inicio hasta el equilibrio, pero sin duda es la mitad del proceso de secado, donde se necesita de una buena simulación, ya que, es donde se presenta el mayor retiro de agua del alimento, antes de comenzar con la difusión de vapor de agua, que presenta el mayor tiempo de secado.

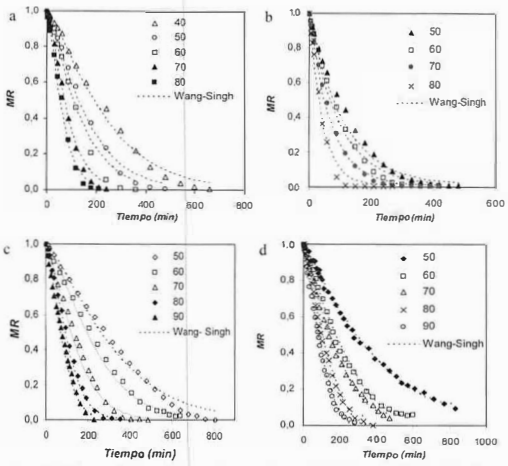


Figura 5. Curvas de secado experimentales y calculadas por *Wang-Singh*, para a) papaya, b) gracilaria, c) aloe vera y d) pimiento.

CONCLUSIÓN

Se observó una clara influencia de la temperatura sobre la cinética de secado en los cuatros productos evaluados. En general los siete modelos matemáticos mostraron una buena calidad de ajuste sobre las curvas experimentales, de acuerdo a los resultados de la evaluación estadística de *SSE, RMSE* y χ^2. Al evaluar la influencia de la temperatura sobre los parámetros cinéticos, aplicando Arrhenius (E_a 13.0-55.0 kJ·mol^{-1}). *Wang-Singh* presentó la mejor calidad de ajuste en promedio para los cuatro productos. Por último, se puede decir que los dos modelos propuestos $MR=\exp(n_2+k_3 \cdot t)$ y $MR=(n_3+k_4 \cdot \sqrt{t})$, también pueden ser considerados como una buena herramienta para el cálculo del tiempo de secado de los productos estudiados.

REFERENCIAS

1. Vega, A. & Lemus, R. 2006. Modelado de la cinética de secado de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*). Revista Información Tecnológica: 17(3). 23-31.

2. Vega, A., Tello, C. & Lemus, R. 2007. Simulación matemática del proceso de secado de la gracilaria chilena (*Gracilaria chilensis*). Ingeniare - Revista Chilena de Ingeniería: 15(1), 55-64.

3. Vega, A., Uribe, E., Lemus, R. & Miranda, M. 2007. Hot-air drying characteristics of Aloe vera (*Aloe barbadensis* M.) and influence of temperature on kinetics parameters. LWT - Food Science and Technology. In press.

4. Vega, A., Lemus, R., Bilbao, C., Yagnam, F. & Rojas, A. 2007. Mass transfer kinetics during convective drying of red pepper var. Hungarian (*Capsicum annuum* L.): mathematical modelling and evaluation of kinetics parameters. Journal of Food Process Engineering: In press.

POTENCIAL DE TINCIÓN Y ESTABILIDAD TÉRMICA DE UN JUGO DE CRANBERRY CONCENTRADO POR NANOFILTRACIÓN

Ah-Hen, Kong Shun[1], Rebolledo, Fernanda[1], Figuerola, Fernando[1], Costa, Marcia[1] Y Martínez, Maria Adela[2]

[1]Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile. Casilla 47 Valdivia, Chile. kshun@uach.cl

[2] Instituto de Farmacia, Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile. Casilla 567 Valdivia, Chile.

Palabras Claves: Modelado, degradación de antocianos, concentrado de cranberry, estabilidad térmica, tinción

RESUMEN

El próposito del trabajo fue conocer el potencial de tinción como también la estabilidad térmica de un jugo de cranberry concentrado por nanofiltración para su uso como colorante alimenticio. Se utilizó para los ensayos muestras de un jugo concentrado, en las cuales sobre 93 % de los pigmentos antociánicos presentes en el jugo inicial de cranberry han sido recuperados a través del proceso de nanofiltración. Las muestras fueron sometidas a distintos tratamientos térmicos a temperatura entre 70 y 120 °C. La estabilidad térmica fue determinada a través de ensayos cinéticos, para describir el comportamiento de degradación de los pigmentos antiociánicos durante el tratamiento térmico como también durante el almacenamiento a 4 °C ± 1 °C de las muestras tratadas térmicamente. Para evaluar el potencial de tinción se midió el color a través del sistema CIE XYZ a distintas concentracionen y distintos tiempos en un medio acuoso, en yogurt y en gelatina.

Por medio de los parámetros cinéticos determinados, se demostró que en general el potencial de tinción disminuye cuanto más fuerte es el tratamiento térmico, debido a la degradación de los pigmentos antociánicos, pero la calidad de la tinción no varia después de tratamientos hasta 110 °C y depende sólo de la concentración de los pigmentos presentes. Se pudo demostrar también que los pigmentos antociánicos se degradan más rápidamente a temperaturas sobre 90 °C y que las muestras tratadas sobre 115 °C sufren cambios en la tinción, aun más notable con el tiempo de almacenamiento.

INTRODUCCIÓN

Debido al interés de la industria de alimentos de disponer de un colorante rojo natural, ha habido muchos trabajos sobre la estabilidad de los antocianos y las posibles aplicaciones (Erlandson y Wrolstad, 1972; Skrede, 1985; Chulkyoon y Hettiarachchy, 1991; Skrede et al., 2000; Rodríguez-Saona et al., 1999; Camire et al. 2002). Skrede et al. (1992) compararon la estabilidad de jugo concentrado de casis con el jugo de frutilla fortificado con ácido ascórbico y antocianos purificados de la misma frutilla. Encontraron que ambos jugos tenían la misma estabilidad. Según Wrolstad et al. (1994) la hidrólisis por ácidos o enzimas (glucosidasa) lleva a la destrucción de los pigmentos. En tanto, a baja actividad de agua la estabilidad de los antocianos aumenta (Garzon y Wrolstad, 2001), lo que hace adecuado su uso en alimentos seco o de bajo contenido de agua (Wrolstad, 2004). Los pigmentos antociánicos del cranberry han sido identificados por varios autores a lo largo de los años y se ha encontrado en el jugo de cranberry la ocurrencia frecuente de cianidina-3-galactosida (Sakamura y Francis, 1960; Shrikhande y Francis, 1974; Camire y Clydesdale, 1979; Zhou y Sing, 2004). La degradación de antocianos ha sido cuantificada por numerosos autores bajo condiciones específicas. Iversen (1999) encontró que se retiene durante el almacenamiento de néctar de casis sólo la mitad del contenido original de antocianos monoméricos después de 6 meses. El procesamiento térmico destruye las antocianinas de la frutilla y se ha determinado para las antocianinas una vida media de 1 hora a 100 °C. Durante el almacenamiento a 20 °C la vida media es de sólo 54 días, mientras que a 38 °C ésta se reduce a sólo 10 días (Markakis 1982). Las antocianinas se degradan a un pigmento de color rojo pardo en la frutilla (Markakis 1982) como también en los productos de cranberry (Shrikande y Francis, 1974) y en vinos. Además los azúcares y sus productos de degradación suelen reaccionar con las antocianinas para producir pigmentos pardos (Francis 1989). Rodríguez-Saona et al. (1999) entregaron modelos cuadráticos para describir la degradación de pigmentos antociánicos de papas y rábanos en jugos modelos, encontrándose con diferencia en vida útil dependiendo de la estructura química de los antocianos. Por lo tanto, en este trabajo, se tiene como objetivo cuantificar la estabilidad de los antocianos de un jugo de cranberry concentrado por nanofiltración bajo condición de tratamiento térmico y de almacenaje a 4 °C, y determinar el cambio en su poder de tinción como colorante natural.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó para los ensayos jugo de cranberry concentrado por el proceso de nanofiltración con un equipo de membranas planas *DDS Lab. module 20-0. 36 Lab*, que cuenta con 20 membranas *HC-50P DDS Filtration*. El concentrado tenía una concentración de 270 mg/L de antocianos totales con 30 °Brix de sólidos solubles, lo cual fue diluido 1:3 con agua destilada para reducir el contenido de azúcar en las muestras sometidas a los tratamientos térmicos, con el objetivo de minimizar el efecto de los productos de caramelización sobre el color. El jugo concentrado de cranberry fue almacenado en una cámara frigorífica, a una temperatura de -25 °C ± 1 °C hasta el uso para los análisis y los tratamientos térmicos.

Se utilizaron para la determinación de la concentración de pigmentos antociánicos y del color, y para los ensayos de cinética de degradación, un espectrofotómetro Spectronic UV modelo Genesys 5, dos colorímetros Dr. Lange, uno para liquidos y otro para sólidos, una olla a presión adaptada con termocuplas tipo T y un registrador de temperatura y tiempo, *Datalogger ColeParmer Digisense* 91090.00 de dos canales, y diversos utensilios de laboratorio, y reactivos como el ácido clorhídrico (1M y 0,2 M), acetato de sodio (1 M), y cloruro de potasio (0,2 M).

Se definió la degradación como una concentración relativa de pigmentos antociánicos degradados, ΔC^*, con respecto a C_i, la concentración inicial y C_t, la concentración restante de antocianos totales después del tiempo t de tratamiento, según la siguiente ecuación:

$$\Delta C^* = \frac{C_i - C_t}{C_i - C_\infty} = \frac{\Delta C_t}{\Delta C_\infty} \qquad (1)$$

En tiempo $t = \infty$ la concentración C_∞ es igual a cero, lo que significa una degradación total de los pigmentos.

Para evaluar la estabilidad del jugo concentrado de cranberry durante el tratamiento térmico, se determinó la cinética de degradación de las antocianinas, sometiendo el jugo concentrado a 11 tratamientos térmicos entre 70 °C y 120 °C. Se utilizaron un total de 12 muestras, incluyendo 1 muestra como testigo sin tratamiento térmico. Se realizó cada ensayo en triplicado con 20,0 ± 0,1 ml de muestra en pequeños frascos de vidrios. Se registró el tiempo de ensayo y la temperatura de la muestra y del medio de calentamiento. Se determinó la concentración de las antocianinas, como cianidina-3-galactosa de peso molecular 449,2 g/mol y coeficiente de extinción

molar de 46230, a través del método de diferencial de pH según Wrolstad (1976) y Guisti y Wrolstad (2005).
Para evaluar el potencial de tinción del jugo concentrado de cranberry, se determinó la variación de la coloración en función del tiempo de almacenamiento a un temperatura de refrigeración de 4 °C ± 1 °C, midiendo el color de las muestras en 5 diluciones acuosas después de los tratamientos térmicos y también en otras 2 diferentes muestras de alimentos, como el yoghurt, y una preparación de gelatina sin azúcar, a 5 distintas concentraciones del colorante.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tratamientos térmicos fueron evaluados definiendo una equivalencia energética para la carga térmica sobre 60 °C, el cual se logra durante el calentamiento y enfriamiento, como se muestra en la Figura 1 para un calentamiento hasta la temperatura máxima de 120 °C. Se calculó la equivalencia energética como el área bajo la curva de calentamiento-enfriamiento y sobre la temperatura de 60 °C, y se determinó un tiempo equivalente de tratamiento a una temperatura constante. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

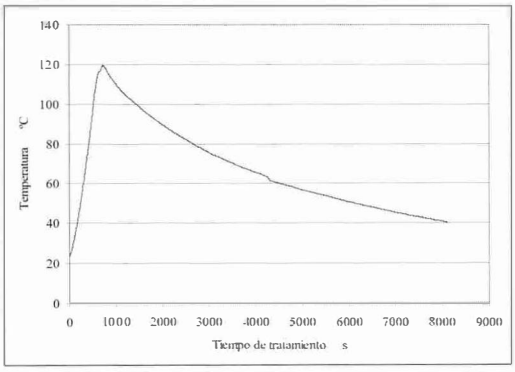


Figura 1. Calentamiento y enfriamiento de una muestra de jugo de cranberry durante un tratamiento térmico hasta 120 °C

Tabla 1. Tiempos equivalentes en función de la equivalencia energética para los distintos ensayos

Equivalencia energética desde 60 °C	Tiempo equivalente de tratamiento a temperatura constante s										
K s	I 70 °C	II 75 °C	III 80 °C	IV 85 °C	V 90 °C	VI 95 °C	VII 100 °C	VIII 105 °C	IX 110 °C	X 115 °C	XI 120 °C
5304	**530**	354	265	212	177	56	53	51	48	46	44
18861	1886	**1258**	943	755	629	199	189	180	171	164	157
20936	2094	1396	**1047**	837	698	220	209	199	190	182	174
31320	3132	2088	1566	**1253**	1044	330	313	298	285	272	261
57018	5702	3801	2851	2281	**1901**	600	570	543	518	496	475
54948	5495	3663	2747	2198	1832	**578**	549	523	500	478	458
76888	7689	5126	3844	3076	2563	809	**769**	732	699	669	641
83126	8313	5542	4156	3325	2771	875	831	**792**	756	723	693
82580	8258	5505	4129	3303	2753	869	826	786	**751**	718	688
101788	10179	6786	5089	4072	3393	1071	1018	969	925	**885**	848
103368	10337	6891	5168	4135	3446	1088	1034	984	940	899	**861**

Como se muestra en la Figura 2, las muestras de todos los tratamientos tienen el mismo espectro de absorbancia con un valor máximo a 520 nm. Los diferentes valores del máximo indican diferencias en la concentración de pigmentos, lo que fueron utilizados para la determinación de los antocianos luego de las correcciones ilustradas en la Figura 3.

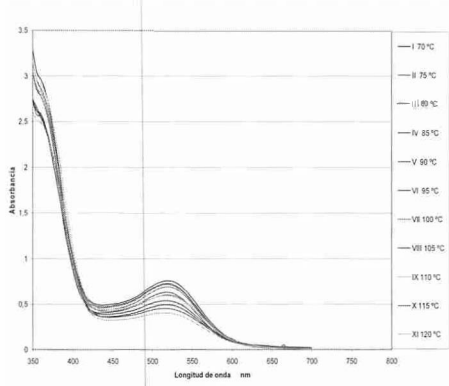


Figura 2. Espectro de absorbancia para el jugo de cranberry de los 11 distintos tratamientos térmicos

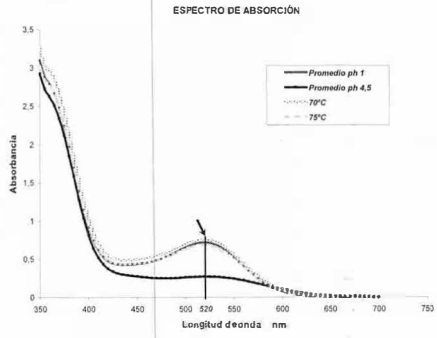


Figura 3. Espectro de absorbancia para el jugo de cranberry a pH 1 y 4,5 para los cálculos de concentración de antocianos

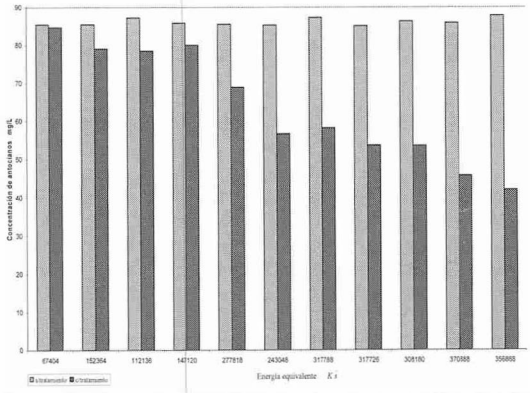


Figura 4. Concentración de antocianos antes y después de cada tratamiento térmico en función de la equivalencia energética

Las concentraciones antes y después de los tratamientos térmicos se muestran en la Figura 4, donde se puede observar una mayor degradación en los ensayos con una temperatura máxima sobre 95 °C. La degradación de los antocianos en un rango de temperatura entre 70 y 120 °C (Figura 5) demuestra un comportamiento lineal con $R^2 = 0{,}941$ según la ecuación 2.

$$\Delta C^* = A \cdot t + B \qquad (2)$$

Los coeficientes A y B para los 11 tratamientos se muestran en la Tabla 2. El tiempo *D* para la reducción decimal de ΔC^* disminuye rápidamente entre 70 y 90 °C y entre 95 y 120 °C la variación es casi imperceptible (Figura 6), aunque la velocidad de degradación, *k*, en este último rango de temperatura es prácticamente diez veces mayor que a 70 °C.

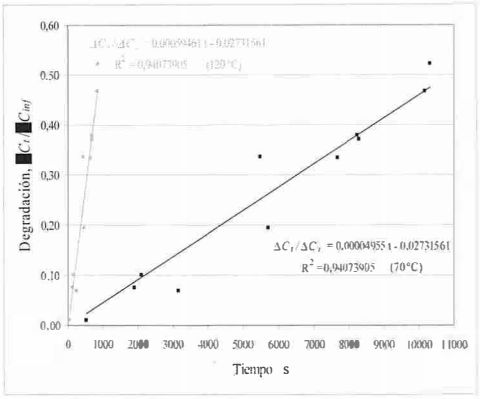


Figura 5. Degradación de antocianos a 70 °C y a 120 C

Tabla 2. Coeficientes de las ecuaciones lineales que definen la degradación de antocianos a temperaturas de tratamiento entre 70 y 120 °C

Temperatura de tratamiento	Pendiente de recta *A*	Intercepto de recta *B*	R^2
70°C	0,00004955	$-2.731561 \cdot 10^{-2}$	0,9407
75 °C	0,00007433	$-2.731561 \cdot 10^{-2}$	0,9407
80 °C	0,00009910	$-2.731561 \cdot 10^{-2}$	0,9407
85 °C	0,00012388	$-2.731561 \cdot 10^{-2}$	0,9407
90°C	0,00014865	$-2.731561 \cdot 10^{-2}$	0,9407
95°C	0,00047073	$-2.731561 \cdot 10^{-2}$	0,9407
100 °C	0,00049551	$-2.731561 \cdot 10^{-2}$	0,9407
105 °C	0,00052028	$-2.731561 \cdot 10^{-2}$	0,9407
110 °C	0,00054506	$-2.731561 \cdot 10^{-2}$	0,9407
115 °C	0,00056983	$-2.731561 \cdot 10^{-2}$	0,9407
120°C	0,00059461	$-2.731561 \cdot 10^{-2}$	0,9407

En cuanto a la coloración de la muestras durante el almacenamiento a 4 °C ± 1 °C, todas las muestras demuestran una degradación similar (Figura 7). La muestras calentadas sobre 115 °C tienden a degradar más rápido (Figura 8). La calidad de la coloración no varía entre muestras tratadas hasta 110 °C. Como se observa en la Figura 9 no demuestran diferencias significativas ($p < 0,05$). Las muestras tratadas sobre 115 °C demuestran cambios notables durante el almacenamiento. Después de 60 días de almacenamiento la coloración a los alimentos cambió a un rojo amarillento.

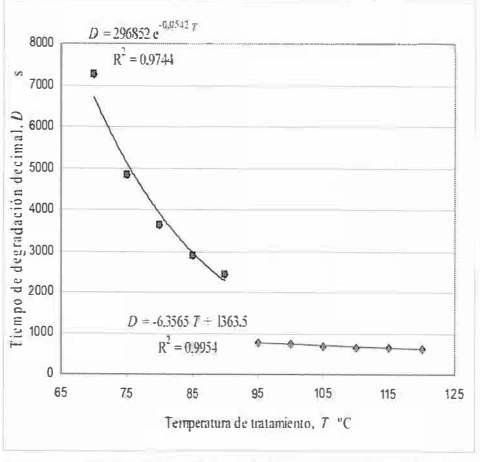


Figura 6. Variación del valor *D* en función de la temperatura

Tabla 3. Valores calculados de los parámetros cinéticos

Tratamiento térmico	*D* s	$k = 2,303D^{-1}$ s^{-1}	*z* K
I 70°C	7265	$3.17 \cdot 10^{-4}$	17
II 75 °C	4843	$4.76 \cdot 10^{-4}$	17
III 80°C	3633	$6.34 \cdot 10^{-4}$	17
IV 85 °C	2906	$7.92 \cdot 10^{-4}$	17
V 90°C	2422	$9.51 \cdot 10^{-4}$	17
VI 95°C	765	$3,01 \cdot 10^{-3}$	108
VII 100°C	727	$3,17 \cdot 10^{-3}$	236
VIII 105 °C	692	$3,33 \cdot 10^{-3}$	247
IX 110 °C	660	$3,49 \cdot 10^{-3}$	259
X 115 °C	632	$3,65 \cdot 10^{-3}$	270
XI 120°C	605	$3,80 \cdot 10^{-3}$	287

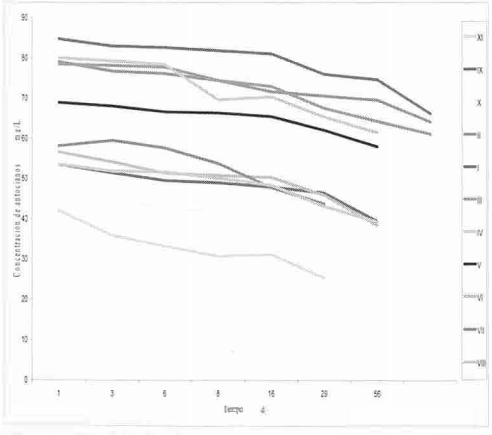


Figura 7. Variación de la concentración de antocianos durante el almacenamiento a 4 °C ± 1 °C en el jugo de cranberry tratado térmicamente

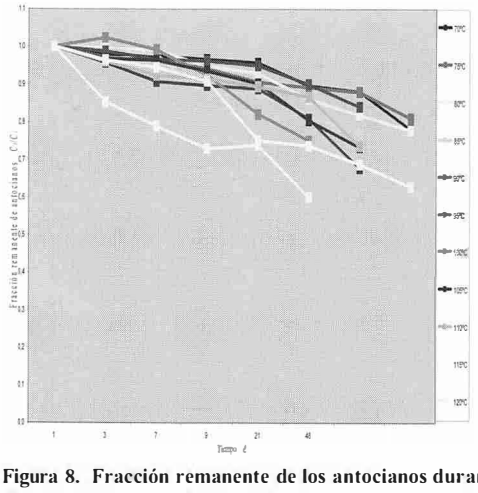


Figura 8. Fracción remanente de los antocianos durante el almacenamiento a 4 °C ± 1 °C en el jugo de cranberry tratado térmicamente

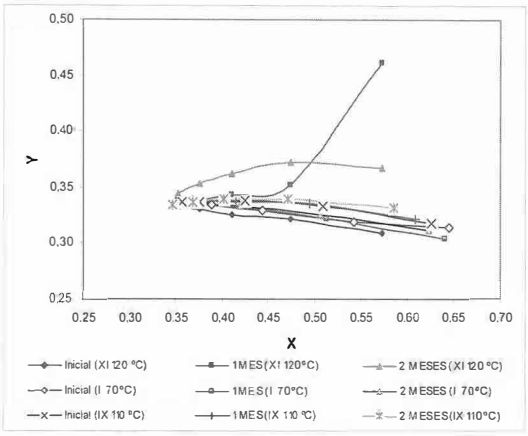


Figura 9. Variación del color en diluciones acuosas durante el período de almacenamiento en los tratamientos I, IX y XI.

CONCLUSIONES

Al definir un concepto de equivalencia energética es posible cuantificar la degradación de los antocianos del jugo de cranberry concentrado en un tratamiento térmico. Se obtuvo un compartamiento lineal con la temperatura. Se pudo observar también que los pigmentos antociánicos se degradan lentamente a temperaturas por debajo de 90 °C. Sobre esta temperatura la degradación es cerca diez veces mayor, y prácticamente constante, lo que se puede observar comparando los parámetros cinéticos. Durante el almacenamiento a 4 °C se degradan también los antocianos del concentrado, pudiendo bajar hasta un 50 % de su concentración original después de 60 diás, pero la calidad de tinción no sufre deterioro, si el concentrado no ha sido tratado a temperaturas sobre 110 °C. La coloración depende sólo de la concentración de antocianos.

REFERENCIAS

- Badui, S. 1999. Quimica de los Alimentos. Longman México Editores. México. 648 p.
- Camire, A y Clydesdale, F. 1979. High-Pressure Liquid Chromatography of Cranberry Anthocyanins. J. Food Sci. 44: 926-927
-Camire, M. E.; Chaovanalikit, A.; Dougherty, M. P.; Briggs, J. 2002. Blueberry and Grape Anthocyanins as breakfast cereal colorants. J. Food Sci. 67: 438-440
-Chulkyoon, M.; Hettiarachchy, N. S. 1991. Heat stability of sunflower-hull anthocyanin pigment. J. Food Sci. 56: 553-555
-Erlandson, J. A.; Wrolstad, R. E. 1972. Degradation of anthocyanins at limited water concentration. J. Food Sci. 37 592-595
- Francis, F. J. 1989. Food colorants: Anthocyanins. Crit. Rev Food Sci. Nutr. 28: 273
- Garzon, G. A.; Wrolstad, R. E. 2001. The stability of pelargonidin-based anthocyanin at varying water activity. Fooc Chem. 75: 185-196
- Giusti, M. M. y Wrolstad, R. E. 2005. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy Current Protocols in Food Analytical Chemistry. In: Wrolstad R. E., editor. Handbook of food analytical chemistry - pigments, colorants, flavors, texture, and bioactive fooc components. NewYork: John Wiley & Sons Inc. p. 19-32
- Markakis, P. 1982. Stability of anthocyanin in foods. In Anthocyanins as food colors. pp. 163-181. P. Markakis (Ed.) Academic Press, New York
- Iversen, C. 1999. Black Currant Nectar: Effect of Processing and Storage on Anthocyanin and Ascorbic Acid Content. J. Food Sci.64: 37-41.
- Rodríguez-Saona, L. E.; Guisti, M. M.; Wrolstad, R. E. Color and pigment stability of red radish and red flesch potato anthocyanins in juice model system. J. Food Sci. 64: 451-456
- Sakamura, S y Francis, F. 1960. The anthocyanins of american cranberry. J. Food Sci.25: 318-321
- Shrikhande, A. 1976. Anthocyanins in foods. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 15: 193-218
- Shrikande, A y Francis, F. 1974. Effect of flavonols or ascorbic acid and anthocyanins stability in model systems. J Food Sci. 39: 904-906
- Skrede, G. 1985. Color quality of blackcurrant syrups during storage evaluated by Hunter L, a, b values. J. Food Sci. 50: 514-517
- Skrede, G.; Wrolstad, R. E., Durst, R. W. 2000. Changes in anthocyanins and polyphenolics during juice processing of highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). J. Food Sci. 65: 357-364
- Skrede, G.; Wrolstad, R. E., Lea, P.; Enersen, G. 1992. Color stability of strawberry and blackcurrant syrups. J. Food Sci. 57: 172-177
- Wrolstad, R. E. 2004. Anthocyanins Pigments-Bioactivity and Coloring Properties. J. of Food Sci. 69: 419-421.
- Wrolstad, R. E.. 1976. Color and Pigment Analysis in Fruit Products. Oregon State University Agricultural Experimen Station, Bulletin 624.
- Zhou, Y. y Sing, B. 2004. Effect of light on anthocyanin levels in submerged, harvested cranberry Fruit. J. Biomed Biotechnol. 5:259-263.

MODELACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO DE AMIGDALINA Y PRUNASINA DURANTE EL DESARROLLO DE LA ALMENDRA(*Prunus dulcis miller).*

Arrázola Paternina Guillermo[1]; Villalba Cadavid Marcela[2]; Dicenta Federico.[3]

(1) Departamento de Ingeniería de Alimentos, Universidad de Córdoba, Colombia. E. mail. garrazola@sinu.unicordoba.edu.co, (2) Universidad Nacional Sede Medellín, E. mail. mivillal@unal.edu.co, (3) Departamento de Mejora y Sanidad, CEBAS. CSIC. E. mail.fdicenta@cebas.csic.es, Muria.

Palabras claves. Compuestos cianogénicos, evolución, maduración, modelación

RESUMEN

Los compuestos cianogénicos, como compuestos del metabolismo del almendro, es de esperar que sufran cambios durante la formación de la semilla, si bien no hay mucha información sobre este proceso. Frehner y *col.* (1990) estudiaron la evolución de estos compuestos en judía de lima, en semillas de lino y en almendras amargas. En la judía de lima y en el almendro los compuestos cianogénicos empezaron a aumentar justo después de la floración, estabilizándose antes de la maduración. Por el contrario, en el lino las flores tuvieron un mayor contenido.

Los compuestos cianogénicos encontrados al inicio de la formación del fruto fueron los monoglucosidos prunasina (almendro), y linamarina y lotaustralina (lino), mientras que en la maduracion sólo fueron detectados los diglucósidos amigdalina (almendro) y linustatina y neolinustatina (lino) (Frehner y *col.* 1990).

El objetivo de la investigación fue estudiar la evolución de la amigdalina y la prunasina durante el desarrollo de la almendra, con objeto de conocer su metabolismo y de predecir mediante un modelo matemático el contenido de estos compuestos cianogénicos en un momento dado del desarrollo del fruto.

MATERIALES Y MÉTODOS.

Se han estudiado 12 variedades de almendra, 3 de las cuales son amargas (S3067, S3062, S3056), 4 ligeramente amargas (S3065, Garrigues, Genco y Tuono) y 5 dulces (Marcona, Del Cid, Peraleja, Ferragnès y Atocha). El estudio se ha llevado a cabo durante dos años consecutivos. Cada año, una muestra de 50 frutos fue recogida a intervalos de 30 días desde la floración hasta maduración del fruto. Las muestras fueron preparadas y la determinación de los compuestos cianogénicos se realizó mediante HPLC. Al objeto de poder comparar los contenidos obtenidos de prunasina y amigdalina durante el desarrollo de la almendra, los valores de estos compuestos determinados mediante HPLC fueron transformados a cianuro total (mg / 100g). Gradziel y col (2001) También se calculó el cianuro total durante el desarrollo del fruto mediante Microdifusión. Dado que el contenido relativo de humedad de la almendra disminuye enormemente durante su desarrollo y al objeto de poder estudiar la evolución de la concentración de los compuestos cianogénicos, las concentraciones de prunasina, amigdalina y cianuro total se han referido a peso fresco Tatsuma T. 1996 . En el análisis de los datos se ha determinado un modelo matemático de una aproximación de segundo orden de una ecuación diferencial, que permite conocer el contenido de estos compuestos en una variedad dada, en función de su estado de desarrollo.

RESULTADOS

En la tabla 1, se muestran los valores medios de dos años de cianuro obtenidos a partir de los contenidos de amigdalina y prunasina (obtenidos por HPLC) y de cianuro total obtenidos mediante microdifusión, expresados en mg cianuro/100 g de muestra fresca.

Se ha observado un comportamiento similar de la evolución de los compuestos cianogénicos dentro de cada grupo de variedades (dulces, amargas y ligeramente amargas) Jones DA. (1998). Por ello en las Figuras 1 y 2 se ha representado la evolución de estos compuestos durante el desarrollo de la almendra para cada uno de los grupos citados.

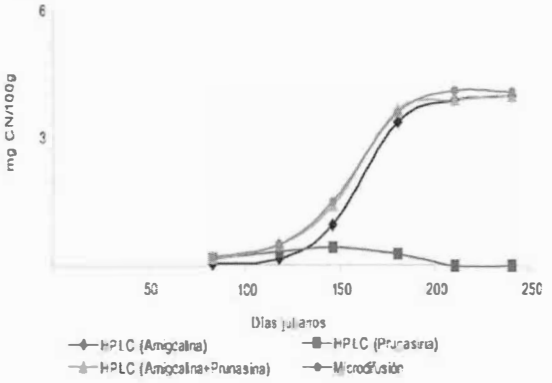
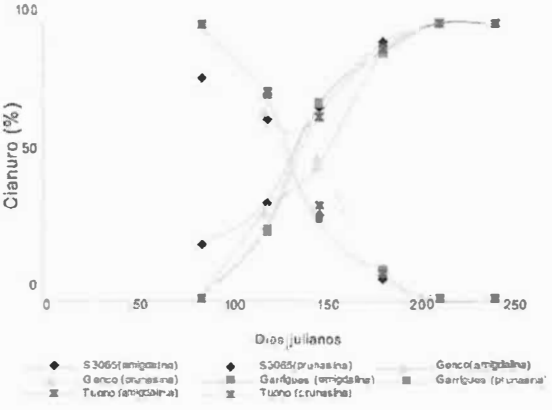


Figura 1. Evolución del contenido de cianuro (mg/100g de muestra fresca) calculado a partir del contenido de amigdalina y prunasina (HPLC) y mediante microdifusión en almendras ligeramente amargas (S3065, Garrigues, Tuono y Genco).

En la Figura 1, se observa una buena correspondencia entre los contenidos de cianuro obtenidos por microdifusión y los obtenidos mediante HPLC (equivalentes de amigdalina + prunasina) en todos los casos, lo que viene a confirmar que la amigdalina y la prunasina son los únicos glucósidos cianogénicos presentes en la almendra.



La evolución del cianuro total y de la amigdalina fue similar en los tres grupos de variedades (dulces, amargas y ligeramente amargas). Hasta el día 120 los niveles de cianuro son prácticamente inexistentes. Luego se experimenta un incremento aproximadamente entre los días 120 y 180 para luego estabilizarse, sobre todo a partir del día 210. El contenido en prunasina se mantuvo muy bajo en general a lo largo del desarrollo del fruto (ausente en el caso de las dulces), para desaparecer en todos los casos cuando la almendra estuvo madura. Dado que la prunasina es el monoglucósido presente en la parte vegetativa (Frehner *y col.* 1990) y que este compuesto no se encuentra en la almendra madura, hemos querido profundizar en el papel de este compuesto en la acumulación de amigdalina en la almendra. En las Figuras 2 y 3, se muestra el porcentaje del cianuro total debido a la amigdalina y a la prunasina durante el desarrollo de la almendra, en el caso de las amargas y las ligeramente amargas respectivamente Kakes P. (1990).. Puede observarse que la contribución de amigdalina al contenido de cianuro total va incrementándose a lo largo de las sucesivas etapas del desarrollo del fruto, hasta llegar a ser la única fuente de cianuro cuando la almendra está madura.

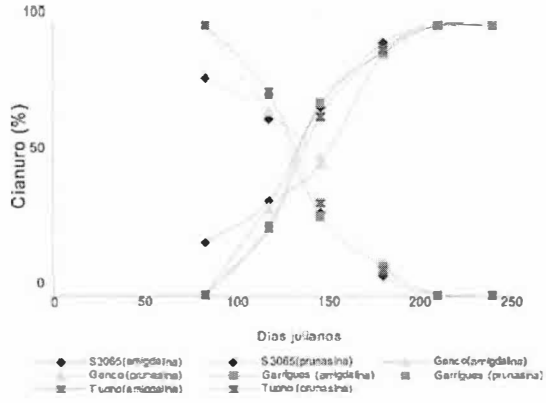


Figura 3. Porcentaje del cianuro total debido a la amigdalina y a la Prunasina (determinadas con HPLC) durante el desarrollo de la almendra para muestras ligeramente amargas.

Dado que todas las variedades siguen una pauta similar respecto a la evolución de cianuro en la semilla, se estableció un modelo matemático que nos permitiera, con independencia de la variedad considerada, estimar la concentración de este compuesto en la semilla en función de su estado de desarrollo.

Si se parte de la transformación de un reactivo R en un producto P que sigue una cinética de orden "n", la velocidad de aparición del producto se expresa mediante la siguiente ecuación diferencial:

$$\frac{d[P]}{dt} = K[P]^r$$

[P] = Concentración de producto. t = Tiempo. K = Constante de reacción.

Si se considera el efecto provocado por la variación de la temperatura, la constante K vendrá dada por: $K = K_0 \cdot e^{-E/RT}$

K_0 = Constante. E = Energía de activación. R = Constante de los gases. T = Temperatura. Se observa que las concentraciones de cianuro calculadas con el modelo propuesto se ajustan bien a los datos experimentales obtenidos, por lo que el modelo es válido para las variedades dulces, ligeramente amargas y amargas estudiadas. El modelo permite estimar el contenido de cianuro total a lo largo del desarrollo de la almendra, si bien la cinética real no es tan sencilla como la propuesta, ya que se debe producir un aporte de prunasina por parte de la planta, y ésta se debe ir consumiendo para formar amigdalina. Por tanto, por una parte se está produciendo un aporte de prunasina y por otra una disminución, debida a una reacción de transformación de prunasina en amigdalina. El modelo se ajusta bien a la necesidad de cuantificar en cualquier día juliano la cantidad de compuesto producido en el fruto durante su maduración.

Tabla 1. Valores medios de contenido de cianuro obtenido por HPLC y cianuro obtenido por microdifusión expresado en mg de cianuro/100 g de muestra seca.

	HPLC		Microdifusión	
Muestra	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
1	Nd	-	nd	-
2	Nd	-	nd	-
3	Nd	-	nd	-
4	Nd	-	nd	-
5	Nd	-	nd	-
6	Nd	-	nd	-
7	Nd	-	nd	-
8	Nd	-	nd	-
9	Nd	-	nd	-
10	Nd	-	nd	-
11	0.06	0.01	0.08	0.02
12	0.07	0.01	0.12	0.03
13	0.10	0.02	0.10	0.04
14	0.11	0.01	0.09	0.01
15	0.11	0.01	0.11	0.02
16	0.11	0.01	0.19	0.06
17	0.12	0.01	0.12	0.01
18	0.15	0.04	0.12	0.03
19	0.16	0.04	0.15	0.03
20	0.16	0.04	0.19	0.04
21	0.20	0.01	0.21	0.01
22	0.21	0.01	0.37	0.01
23	0.24	0.04	0.27	0.02
24	0.25	0.05	0.36	0.04
25	0.27	0.01	0.29	0.01
26	0.29	0.07	0.33	0.04
27	0.30	0.02	0.30	0.05
28	0.30	0.03	0.24	0.04
29	0.31	0.01	0.25	0.03
30	0.33	0.04	0.32	0.09
31	0.35	0.01	0.30	0.09
32	0.35	0.05	0.34	0.04
33	0.39	0.01	0.43	0.04
34	0.70	0.14	0.58	0.03
35	0.78	0.07	0.97	0.06
36	1.13	0.06	1.80	0.10
37	1.29	0.11	1.29	0.03
38	1.35	0.04	1.39	0.06
39	1.35	0.01	1.29	0.12
40	1.36	0.01	1.36	0.06
41	1.40	0.01	1.30	0.06
42	1.41	0.04	1.38	0.04
43	1.42	0.08	1.52	0.10
44	1.44	0.01	1.40	0.07
45	1.47	0.05	1.43	0.03
46	1.49	0.02	1.56	0.01
47	1.74	0.11	1.61	0.11
48	2.07	0.15	2.13	0.23
49	2.10	0.11	1.98	0.12
50	2.35	0.04	1.94	0.01
51	2.35	0.04	2.36	0.03
52	2.48	0.05	2.42	0.01
53	2.67	0.12	2.40	0.44
54	6.60	0.05	6.90	0.75
55	8.60	0.10	8.26	0.05
56	9.60	0.01	10.20	0.10
57	10.73	0.05	10.13	0.49
58	10.78	0.13	9.92	0.62
59	11.60	0.30	9.67	0.06
60	11.66	0.66	12.17	0.06
61	12.16	0.12	12.33	0.06
62	12.56	0.49	10.27	1.10
63	13.35	0.50	13.47	0.85
64	13.90	0.02	12.10	0.80
65	14.33	0.06	15.40	0.50
66	15.03	0.21	18.04	0.81
67	15.12	0.01	15.30	0.10
68	15.30	1.13	15.36	1.74
69	15.57	1.27	14.73	1.37
70	16.83	0.06	12.94	0.04
71	19.07	2.21	19.73	3.82
72	19.11	0.02	15.45	0.46
73	19.30	1.95	20.18	1.63
74	20.32	0.68	22.07	0.31
75	21.45	1.11	14.32	1.62
76	134.1	7.5	134.2	5.00
77	138.6	2.7	136.4	3.10
78	208.7	2.8	218.0	8.30
79	214.0	4.0	216.2	4.90
80	215.0	3.8	212.8	4.60
81	215.8	1.2	215.4	4.50
82	216.5	1.4	215.9	4.10
83	219.9	4.9	224.2	1.00
84	234.8	1.9	231.5	5.30
85	235.9	3.8	228.0	5.90
86	279.3	2.0	281.2	0.70
87	284.7	3.6	286.7	3.30
88	286.1	3.3	284.4	5.90
89	295.8	3.2	284.1	4.40
90	309.0	6.2	304.5	5.70
91	334.9	4.8	338.3	0.50
92	337.3	2.2	320.2	2.00
93	342.5	1.1	338.5	1.50
94	401.0	5.4	405.0	1.00
95	411.8	1.1	383.4	1.90

BIBLIOGRAFÍA

-Frehner M, Scalet M, Conn EE. 1990) Pattern of the Cyanide potential in Developing Fruits. Plant. Physiol. 94, pp. 28-34.

-Gradziel T, Martínez-Gómez P, Dicenta F, Kester D. E. 2001. The utilization of related Prunus species for almond variety improvement. J. of American Pomological Society 55, pp. 100-108.

-Jones DA. 1998. Why are so many food plants cyanogenic. Phytochemistry 47, pp. 115-162.

-Kakes P. 1990. Properties and functions of the cyanogenic system in higher plants. Euphytica 48, pp. 25-43.

-Tatsuma T. 1996. Linamarin sensors: Amperometic sensing of linamarin using linamarase and glucose oxidase. J. Electroanal. Chem. 407, pp. 155-159.

MODELADO Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE HONGOS Y PEREJIL POR SECADO COMBINADO CONVECTIVO Y A VACIO.

Gerla, Patricia; Martínez, Jorge; Zecchi, Berta; Clavijo, Leonardo
UNIV. DE LA REPÚBLICA-INSTITUTO DE INGENIERÍA QUÍMICA-FACULTAD DE INGENIERÍA
Julio Herrera y Reissig 565, CP 11300 – E-mail: gerla@fing.edu.uy
MONTEVIDEO – URUGUAY

Palabras claves: Modelado, secado a vacío, secado convectivo.

RESUMEN

Este trabajo aborda el modelado y optimización de un proceso combinado de secado convectivo y a vacío, como alternativa tecnológica y económicamente viable para la obtención de productos deshidratados de alta calidad. Se apunta a la utilización de un proceso combinado para minimizar el tiempo del proceso evitando los efectos negativos en las cualidades de productos naturales termo sensibles. Se obtuvieron las cinéticas de secado experimental en un secador piloto convectivo con flujo de aire a través y en un secador a vacío de gabinete y se determinaron los modelos teóricos más adecuados para describirlas. Para el proceso combinado de secado en el cual el proceso se inicia con el producto fresco en un secador convectivo y se culmina en un secador a vacío hasta la humedad final requerida, se determinó la humedad intermedia del producto a la que es necesario pasar de una a otra tecnología, de forma de trabajar siempre a la máxima velocidad de secado compatible con la calidad del producto final, logrando un tiempo total mínimo para el proceso de deshidratación.
Como resultado se logró una propuesta tecnológica que combina ambos tipos de secado y que permite obtener productos deshidratados de alta calidad, con el menor tiempo de proceso posible.

INTRODUCCIÓN

Las nuevas tendencias en el desarrollo y mejoramiento de procesos y productos en el área de alimentos deshidratados apuntan a la combinación de distintas tecnologías de secado convencionales y no convencionales en un mismo proceso. El objetivo de esta tendencia es lograr una estrategia de secado que contemple la evolución de las características del producto al reducirse su humedad, se adapte a la termosensibilidad creciente del mismo y logre un producto final de alta calidad con un proceso eficiente y de costo adecuado al valor del producto.
Dependiendo del producto, habrá una o más características (aroma, sabor, textura, integridad, etc.) que serán definitorias de su valor y aceptación por el consumidor. Las formas de secado convencionales, en secadores convectivos producen efectos negativos en las cualidades de muchos productos naturales termosensibles, resultando particularmente importante la degradación en el aroma y color del producto deshidratado frente al fresco. Por otro lado, la liofilización que se ha desarrollado como proceso de deshidratación para generar productos de alta calidad, solo resulta económicamente viable para productos de muy alto valor. Esto lleva a que existan una serie de productos deshidratados de interés comercial, para los cuales se requiere buscar alternativas más adecuadas para su producción. Apuntando a este problema tecnológico, en este trabajo se aborda el estudio, modelado y optimización de un proceso combinado de secado convectivo y secado al vacío, como alternativa tecnológica y económicamente viable para la producción de determinados productos deshidratados de alta calidad.

MATERIALES Y METODOS

Entre los posibles productos que se adecuan al tipo de proceso que se propone desarrollar, se seleccionaron hongos pleurotas y perejil, por ser productos de producción nacional que tienen un alto valor de mercado como productos deshidratados.

Para el secado convectivo con aire se utilizó un secador piloto de lecho fijo con flujo a través que cuenta con controles que permiten trabajar a distintas temperaturas y velocidades del aire de secado. Para el secado a vacío se empleó un secador de gabinete a vacío que cuenta con controles que permiten trabajar a distintas temperaturas y presiones en la cámara y con un sistema de pesada continua consistente en una balanza interna con lector remoto conectado a un PC. Ambos secadores están instrumentados con sensores de temperatura y humedad y velocidad de aire o presión de vacío y se implementó la adquisición automática de estos datos.
En estos secadores se realizaron experiencias de secado a 35°C, 45°C y 55°C, sobre muestras frescas de hongos enteros y hojas de perejil y se relevaron las curvas de secado, registrando la variación de la humedad de cada producto en función del tiempo de secado en ambos secadores, desde la humedad inicial del producto fresco (92,5% para hongos y 85% para perejil) hasta una humedad final del 5 a 7%. Asimismo se implementaron ensayos de secado combinando ambos procesos, iniciando con el secado convectivo del producto fresco y terminando el secado a vacío hasta la humedad final, con las mismas condiciones de velocidad de aire y presión de vacío utilizadas en los procesos independientes.
Se formularon tres modelos fenomenológicos que podrían resultar adecuados para describir los procesos de secado convectivo, de secado a vacío y para el proceso combinado. Se hizo el ajuste de los datos experimentales y el correspondiente modelo teórico propuesto. La comparación del grado de ajuste de los distintos modelos y los datos experimentales para los distintos casos considerados (dos productos, dos procesos, tres niveles de temperatura y tres modelos teóricos) permitió decidir cuál es el modelo que mejor describe la cinética de secado de cada producto en cada proceso y condiciones de operación del correspondiente secador.
Mediante programas de regresión no lineal multiparamétrica, implementados en MatLab 6.0, se obtuvieron los valores de los parámetros de cada uno de los modelos. La comparación del grado de ajuste de cada uno de los modelos y los datos experimentales se realizó analizando los valores del error absoluto promedio, lo que permitió decidir que modelo predice con menor error, la evolución de la humedad con el tiempo de secado para cada uno de los casos, siendo:

$$\%e = \frac{100}{n}\sqrt{\sum\left(X^2_{calc} - X^2_{exp}\right)} = \frac{100}{n}\,Norma \qquad (1)$$

Formulación de los modelos de secado convectivo y a vacío
Se formularon modelos fenomenológicos con control difusivo del proceso de salida del agua del sólido, tanto para la deshidratación convectiva como a vacío. En todos los casos la ecuación diferencial que representa la migración del agua en el sólido, es la 2° ley de Fick:

$$\partial X/\partial t = \partial(D_e \partial X/\partial z)\partial z \qquad (2)$$

donde X es la humedad en base seca, t es el tiempo, D_e es el coeficiente de difusión efectivo del agua en el producto y z es la variable espacial según la dirección de difusión. Se asumió que la humedad inicial del producto, (X_0) esta uniformemente distribuida en el sólido al comienzo del proceso de secado, por lo que la condición inicial es:

$$X = X_0 \qquad -L \le z \le L \qquad t = 0 \qquad (3)$$

En muchos casos, como sucede con las hojas de perejil o los hongos, la geometría del sólido a secar es compleja. Se optó por considerar al proceso como unidireccional y expresar el modelo resultante en función del número de Fourier ($Fo=D_e t/L^2$) donde D_e/L^2 es un parámetro a ser determinado, que engloba la difusividad (D_e) y la longitud (L) efectivas de difusión del agua en el sistema y toma en cuenta factores como la porosidad y tortuosidad y geometría del producto.

Se consideraron tres casos posibles para la formulación de los modelos teóricos que surgen de resolver la Ec.(2) con distintas hipótesis para la difusividad efectiva (D_e) del agua en el sólido así como para la condición de interfase. Integrando la ecuación (2) con las condiciones para cada caso, se obtienen ecuaciones que describen la variación de la humedad del sólido con el tiempo y la posición. Las curvas de secado teóricas o modelo de la evolución del contenido de humedad medio del sólido en el tiempo, se obtienen por integración de dichas ecuaciones en la longitud de difusión (L) del agua en el sólido, resultando los modelos que se presentan a continuación.

Modelo 1: Difusividad efectiva constante y condición de interfase constante.

En primer lugar se asumió que en la Ec. (2) el coeficiente de difusión efectivo permanece aproximadamente constante en todo el proceso y que la humedad en la interfase es la humedad de equilibrio (X_e) y permanece constante durante todo el proceso a la temperatura del sistema, o sea:

$$D_e = D_0 \quad \forall\ t \geq 0 \qquad (4)$$

$$X = X_e \quad z = \pm L \qquad t > 0 \qquad (5)$$

la solución de la Ec. (2), integrada para calcular valores medios de la humedad del sólido ($\overline{X}$) en base seca es:

$$\frac{\overline{X}-X_e}{X_0-X_e} = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}\exp\left(\frac{-(2n+1)^2\pi^2 D_e t}{4L^2}\right) \qquad (6)$$

Modelo 2: Difusividad efectiva variable y condición de interfase constante.
En segundo lugar, se consideró que el coeficiente de difusión varía durante el proceso debido a la disminución del contenido de humedad y a los cambios estructurales que ocurren durante el secado. Esta variación se consideró a través de una relación funcional entre el coeficiente de difusión efectivo y el número de Fourier (Álvarez y Legues, 1986)

$$D_e = D_0(1+Fo)^{\beta-1} \qquad Fo = D_0 t/L^2 \qquad (7)$$

donde D_0 es la difusividad efectiva inicial del agua en el sólido y β es una constante a ser determinada experimentalmente.
Para la condición de interfase se asumió que la humedad en la interfase es la humedad de equilibrio (X_e) y permanece constante durante todo el proceso a la temperatura del sistema, lo que está representado por la condición de contorno dada por la ecuación (5). En este caso, la solución, integrada para calcular valores medios de la humedad del sólido ($\overline{X}$) en base seca es:

$$\frac{\overline{X}-X_e}{X_0-X_e} = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}\exp\left(\frac{-(2n+1)^2\pi^2}{4\beta}\left(\left(1+\frac{D_e t}{L^2}\right)^{\beta}-1\right)\right) \qquad (8)$$

Modelo 3: Difusividad efectiva constante y condición de interfase variable.
En tercer lugar se supuso que el coeficiente de difusión efectivo permanece aproximadamente constante en todo el proceso, tal como se establece en la ecuación (4), pero que la humedad en la interfase cambia con el tiempo de secado según una función exponencial, o sea:

$$X - X_e = (X_0 - X_e)\exp(-\alpha D_e t/L^2) \quad z = \pm L, \quad t \geq 0 \qquad (9)$$

siendo α un parámetro del sistema.

En este caso, la solución de la Ec.(2), integrada para calcular valores medios de la humedad del sólido ($\overline{X}$) en base seca es:

$$\frac{\overline{X}-X_e}{X_0-X_e} = \exp\left(-\frac{\alpha D_e}{L^2}t\right)\frac{\tan\alpha^{1/2}}{\alpha^{1/2}} + \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}\frac{\exp\left(\frac{-(2n+1)^2\pi^2 D_e t}{4L^2}\right)}{\left[1-(2n+1)^2\frac{\pi^2}{4\alpha}\right]} \qquad (10)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cinéticas de secado convectivo, a vacío y combinado.
Para cada producto (perejil y hongos) y cada proceso de secado (convectivo y vacío) a tres temperaturas, se determinaron las curvas de secado y las curvas de velocidad de secado, a partir de los datos experimentales de variación de masa vs tiempo obtenidos en las distintas experiencias. De la evaluación de la calidad del producto surge que la máxima temperaturas de secado admisibles es 45°C para perejil y 55°C para hongos.
Los datos experimentales y el modelo de mejor ajuste para el secado convectivo y a vacío se presentan en la figuras 1 para perejil y en la figura 2 para hongos.

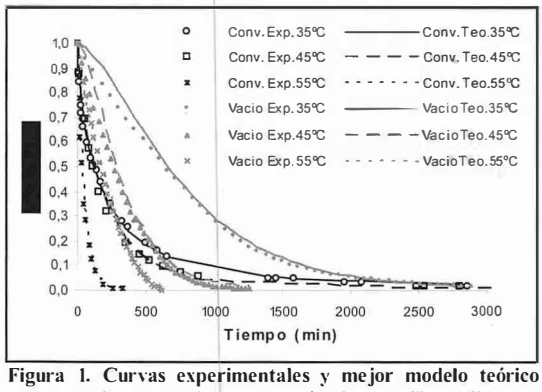


Figura 1. Curvas experimentales y mejor modelo teórico para secado convectivo y a vacío de perejil, a distintas temperaturas.

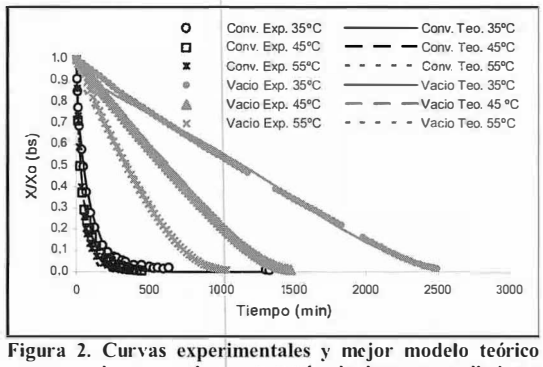


Figura 2. Curvas experimentales y mejor modelo teórico para secado convectivo y a vacío de hongos, a distintas temperaturas

Los valores de los parámetros obtenidos para los modelos de mejor ajuste se presentan en la tabla 1. Tanto para perejil como para hongos y para todas las temperaturas ensayadas, se encontró que el Modelo 2 es el que mejor describe el secado por convección, mientras que el modelo 3 es el que mejor describe el secado a vacío para todas las temperaturas ensayadas. En particular tienen interés las curvas de secado a 45°C para perejil y a 55°C para hongos, que corresponden a las máximas temperaturas admisibles para el producto y máxima velocidad de secado en cada tipo de proceso.

Tabla 1. Parámetros de los modelos 2 y 3

Producto / secador	T (°C)	Modelo	De/L^2x10^3 (min^{-1})	Parámetros	%e
Perejil / convec.	35	2	1.87	β=-0.29	1.8
	45		1.77	β=0.54	3.3
	55		6.19	β=1.62	2.1
Perejil / a vacío	35	3	2.19	α=0.72	0.3
	45		6.19	α=0.59	0.5
	55		9.72	α=0.57	0.9
Hongos / convec.	35	2	3.72	β=1.19	4.9
	45		7.36	β=0.33	4.6
	55		6.14	β=1.92	8.3
Hongos / a vacío	35	3	0.63	α=2.23	0.9
	45		1.17	α=2.11	2.2
	55		1.95	α=2.24	1.3

Para el proceso combinado (secado convectivo seguido de secado a vacío), se determinó experimentalmente que cada parte del proceso coincide con las cinéticas experimentales obtenidas para los procesos individuales dentro del error experimental. En consecuencia resulta que el proceso combinado queda definido por la combinación de las cinéticas de secado convectivo o a vacío individuales, siendo posible determinar la humedad intermedia más conveniente para hacer el cambio de un proceso a otro, en base a las cinéticas de los procesos independientes.

Del análisis de los resultados presentados en las figuras 1 a 4, surge que la velocidad de secado aumenta al aumentar la temperatura del proceso tanto en el secado convectivo como a vacío, y que para la misma temperatura, el secado convectivo de hongos ocurre a mayor velocidad que el secado convectivo de perejil, mientras que el secado a vacío de perejil ocurre a mayor velocidad que el secado a vacío de hongos. Asimismo para altas humedades de un mismo producto, el secado convectivo ocurre a velocidades mayores que el secado a vacío para todas las temperaturas ensayadas, mientras que al reducirse la humedad del producto, la velocidad del secado convectivo baja más rápidamente que la velocidad de secado a vacío.
Estos dos factores, la temperatura de secado y la humedad del producto, inciden simultáneamente en la velocidad de secado y hacen que las velocidades relativas de ambos procesos puedan llegar a invertirse durante el avance del secado como se observa en la figura 3.

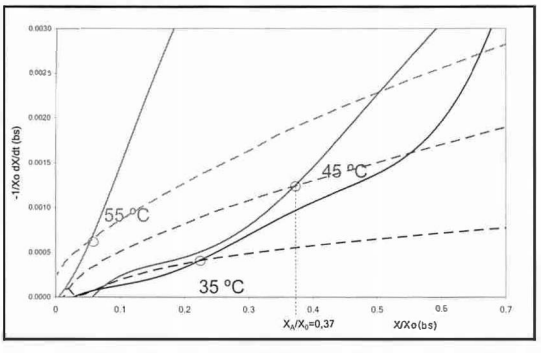


Figura 3. Velocidad de secado convectivo (−) y a vacío (---) de perejil en función de la humedad adimensional del producto

En las figuras 3 y 4 se presentan las curvas que se obtuvieron para la velocidad de secado convectivo y al vacío de perejil y de hongos en función de la humedad adimensional del producto. En particular tienen interés las curvas correspondientes a las máximas temperaturas de secado admisibles para cada producto (45°C para perejil y 55°C para hongos) y las correspondientes humedades intermedias a la cual es conveniente pasar de un tipo de secado a otro, para mantener la máxima velocidad del proceso.

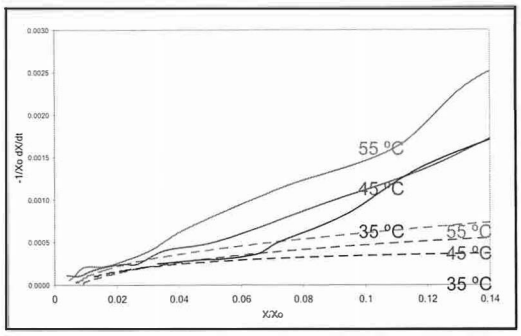


Figura 4. Velocidad de secado convectivo (−) y a vacío (---) de hongos en función de la humedad adimensional del producto

Determinación de la mejor combinación de ambos procesos
El criterio utilizado fue determinar la humedad intermedia (X_A) del producto, a la cual pasar de un proceso a otro de modo de mantener el proceso global a la máxima velocidad posible, logrando así un tiempo total mínimo de proceso. Las restricciones a este criterio estarán impuestas sólo por las condiciones operativas de temperatura máxima admisible para evitar una degradación sensible de la calidad del producto.
A partir de las curvas de curvas de velocidad de secado a la misma temperatura para ambos procesos, se determinó el punto de intersección (X_A/X_0) correspondiente a igual velocidad de secado en ambos procesos. Con éste valor se determinó el tiempo del secado convectivo desde X_0 hasta X_A, (t_C). Asimismo, con el valor de X_A/X_0 y el valor de la humedad final deseada para el producto deshidratado (X_F/X_0), se determina el intervalo de tiempo que durará el secado a vacío ($t_F - t_V$). El tiempo mínimo total requerido para el proceso global de secado es $t = t_C + (t_F - t_V)$.

CONCLUSIONES

Para perejil se observó que operando a la máxima temperatura de secado (45 °C) admisible e iniciando el proceso de secado convectivo a partir del producto fresco, la inversión de velocidades se produce aproximadamente en (X_A/X_0)=0.37, lo que corresponde con una humedad del sólido del 67% (bh). A partir de esta humedad el secado se continuará en un secador a vacío a 45°C, secándolo desde 67% hasta la humedad final de 7%, resultando en un ahorro del 63.4 % en el tiempo de proceso respecto al secado convectivo y del 16.2 % respecto al secado a vacío.
Para el caso de hongos que admiten una temperatura de secado mayor (55°C), se observa que operando a la máxima temperatura la tecnología mas adecuada es el proceso de deshidratación en un secador convectivo, ya que no se produce inversión de las velocidades de los procesos para este producto y temperatura.
Esta diferencia de comportamiento entre perejil y hongos se debe en parte a las características propias de cada producto, pero también el aumento de la velocidad con la temperatura es mucho más importante para el secado convectivo que para el secado a vacío, y la reducción de la velocidad del secado convectivo al reducirse el contenido de humedad del producto, no llega a compensar el efecto del aumento por la temperatura, por lo cual a la temperatura más alta (55°C) el secado convectivo resulta más rápido y permite realizar el proceso en tiempos menores. Por otro lado, para temperaturas moderadas, el secado convectivo no es tan rápido y su velocidad disminuye al reducirse el contenido de humedad, mientras que para el secado a vacío, aunque su velocidad inicial es menor, ésta no disminuye en forma tan importante con la reducción de humedad, por lo que puede llegar a ser superior a la de secado convectivo a humedades bajas del producto.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Programa de Desarrollo Tecnológico del Ministerio de Educación y Cultura- Uruguay por el financiamiento de este trabajo a través de un proyecto de investigación.

REFERENCIAS

– Alvarez, P., Legues, P. (1986). A semi theoretical model for the drying of Thomson Seedles grapes. *Drying Technology, 4*,1.
– Crank J. (1998). The Mathematics of Diffusion. *Claredon Press*. Oxford.
– Cui ZW., Xu SY,, Sun DW. (2003). Dehydration of Garlic Slices by Combined Microwave-Vaccum and Air Drying. *Drying Technology, 21*, 1173.
– Efremov, G. (2002). Drying kinetics derived from diffusion equation with flux type boundary conditions. *Drying Technology, 20*, 55.
– Jaya S., Das S. (2003) "A Vacuum Drying Model for Mango Pulp. *Drying Technology 21*, 1215.
– Mujumdar, A. (1995). Handbook of Industrial Drying. *Marcel Dekker Inc*. N.Y.

MODELADO MATEMÁTICO DE LA CINÉTICA DE SECADO POR AIRE CALIENTE DE MÚSCULO DE CAMARÓN GIGANTE

Díaz-Viteri, Javier [1], Medina-Vivanco, Mari[2] y Mendieta-Taboada, Oscar [2]
[1]UNIVERSIDAD NACIONAL DE MADRE DE DIOS, CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL, PUERTO MALDONADO-PERÚ
[2]UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN, FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL, TARAPOTO-PERÚ

Palabras clave: modelado, deshidratación, cinética, *Macrobrachium rosenbergii*

RESUMEN

Se realizaron ensayos de deshidratación por aire caliente de músculo de camarón gigante, a temperaturas de 40, 50 y 60°C y velocidades de aire de 0,5, 0,8 y 1,1 m/s. En el estudio de la cinética de secado fueron utilizados 10 modelos matemáticos diferentes. Se determinó que la pérdida de agua es mayor cuando se incrementa la temperatura del aire de secado. El modelo que mejor representó los datos experimentales fue el denominado Aproximación de la difusión con valores de R^2 mayores que 0,997.

INTRODUCCIÓN

El camarón gigante (*Macrobrachium rosenbergii*) es un crustáceo que tiene por hábitat países de clima cálido y cálido-templado, es de rápido crecimiento y se desarrolla muy bien en cautiverio. La producción mundial de *M. rosenbergii* se incrementó en más del 650% entre 1989 y 1998, sin embargo los acuicultores han tenido que enfrentar problemas relacionados con el deterioro de la calidad de la carne, debido principalmente a la falta de información sobre manejo post-cosecha y formas de preservación (congelado, salado y otras técnicas) que puedan garantizar la alta calidad del producto, siendo esta la mayor dificultad para el desarrollo del mercado (Kirschnik et al., 2006). A nivel mundial, el principal productor de camarón gigante es China, con 128 338 toneladas, ubicándose a continuación Vietnam, India, Tailandia y Bangladesh; a nivel de Sudamérica los mayores productores son Ecuador y Brasil, pudiendo mencionarse también a Guyana Francesa y Perú (New, 2005).

El secado es uno de los métodos más antiguos de preservación, ayudando a prevenir la ocurrencia de cambios indeseables debido a la actividad microbiana. Aunque la preservación es la razón principal para el secado, también permite disminuir la masa y el volumen del producto. La reducción en masa y volumen mejora la eficacia del empaquetado, almacenado y transporte (Goyal et al., 2006). Varios factores pueden influenciar el secado por aire caliente, como por ejemplo: velocidad y temperatura del aire, difusión del agua a través del material, densidad de carga, grosor y forma del producto a ser secado.

La cinética de secado de los alimentos es un fenómeno complejo, requiriéndose representaciones simples para predecir el comportamiento del secado, y para optimizar los parámetros del proceso. Se han efectuado diversos estudios sobre la cinética de secado de frutas y de vegetales (Goyal et al., 2006; Vega et al., 2007; Wang et al., 2007), sin embargo, no se han encontrado en la literatura referencias detalladas sobre cinética de secado de músculo de camarón gigante.

Los objetivos del presente trabajo fueron: determinar la cinética de secado por aire caliente de músculo de camarón gigante y modelar dicha cinética utilizando modelos matemáticos indicados en la literatura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales.

Ejemplares de camarón gigante fueron adquiridos en una piscigranja ubicada en el distrito de Morales, Región San Martín. Las muestras fueron seleccionadas con tamaño total comprendido entre 18 y 21 cm y peso total entre 80 y 100 g.

Métodos.

Luego del lavado con agua clorinada (5 ppm), los camarones fueron colocados en agua destilada a 90°C por un tiempo aproximado de 90 segundos, eliminándose a continuación el cefalotórax y el exoesqueleto. El músculo caudal fue sometido a pretratamiento osmótico según lo indicado por Donsi et al. (2000). El contenido inicial de agua de las muestras fue determinado según la metodología de la AOAC (1990).

Los ensayos de secado fueron realizados en secador convectivo de laboratorio, a 40, 50 y 60°C y velocidades de aire de 0,5, 0,8 y 1,1 m/s. La pérdida de peso fue registrada en balanza digital con 0,01 g de precisión (Denver Inst., USA) a diferentes tiempos. La velocidad del aire fue determinada con un termo-anemómetro.

Para modelar la cinética de secado del músculo de camarón gigante fuero empleados diez modelos aplicados comúnmente en alimentos y que se indican en la Tabla 1. El grado de ajuste de los modelos utilizados a los datos experimentales fue evaluado a través del coeficiente de determinación (R^2), y los valores de chi-cuadrado (χ^2) y la raíz cuadrada del error medio (RMSE), que pueden ser calculados con las ecuaciones (1) y (2).

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} (M_e - M_c)^2}{N - z} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} (M_e - M_c)^2} \quad (2)$$

Tabla 1. Modelos matemáticos utilizados

N°	Nombre modelo	Modelo	Referencias
1	Lewis	$MR = \exp(-k\,t)$	Bruce (1985)
2	Page	$MR = \exp(-k\,t^n)$	Wang et al. (2007)
3	Page modificado	$MR = \exp(-k\,t)^n$	White et al. (1981)
4	Henderson-Pabis	$MR = a\exp(-k\,t)$	Henderson y Pabis (1961)
5	Logarítmico	$MR = a\exp(-k\,t) + c$	Togrul y Pehlivan (2002)
6	Dos términos	$MR = a\exp(-k_o t) + b\exp(-k_1 t)$	Wang et al. (2007)
7	Aproximación de difusión	$MR = a\exp(-k\,t) + (1-a)\exp(-k\,a\,t)$	Yaldiz et al. (2001)
8	Wang-Singh	$MR = 1 + a\,t + b\,t^2$	Wang y Singh (1978)
9	Simplificado difusión Fick	$MR = a\exp(-c(t/L^2))$	Diamante y Munro (1991)
10	Page modificado II	$MR = \exp(-c(t/L^2)^n)$	Diamante y Munro (1991)

donde M_e son valores del contenido de humedad experimental, M_c valores del contenido de humedad calculado, N es el número de observaciones y z el número de constantes de los modelos utilizados. Para efectuar el análisis de regresión no linear fue utilizado el software MicroCal Origin 5.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las colas de camarón fueron secadas a temperaturas de 40, 50 y 60°C y velocidades de aire de 0,5, 0,8 y 1,1 m/s. El contenido de agua inicial fue de 2,24 kg agua por kg de materia seca. La relación de humedad versus tiempo de secado para las temperaturas consideradas en el experimento y velocidad de aire de 1,1 m/s se presenta en la Figura 1. Puede verse que la relación de humedad disminuye con el incremento del tiempo, y que el tiempo requerido para alcanzar un valor de 0,1 en la relación de humedad fue de 350, 700 y 900 minutos para las temperaturas de 60, 50 y 40°C, respectivamente, es decir la velocidad de pérdida de agua se incrementó con el aumento de temperatura. Resultados similares han sido reportados para el secado de filetes de tilapia (Tello et al., 2004), tiburón (Mujaffar y Sankat, 2005), merluza y sardina (Pinto y Tobinaga, 2006), como también para diversos productos de origen vegetal (Vega et al., 2007; Wang et al., 2007; Goyal et al., 2006). Para las otras dos velocidades de aire consideradas (0,5 y 0,8 m/s), el comportamiento fue similar.

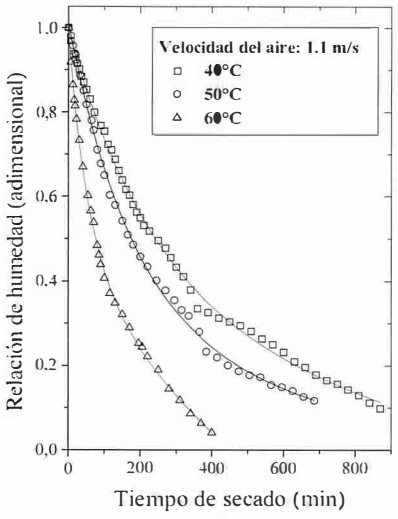


Figura 1. Curvas de cinética de secado de músculo de camarón a diferentes temperaturas

Los datos de contenido de humedad observados en los experimentos de secado fueron transformados en relación de humedad y ajustados con los 10 modelos indicados en la Tabla 1. Los resultados estadísticos de los diferentes modelos, incluyendo los coeficientes de los modelos y los criterios de comparación utilizados para evaluar el grado de ajuste, denominados R^2, χ^2 y RSME, se presentan en la Tabla 2. En todos los casos, los valores de R^2 fueron mayores que 0,91, y los valores de χ^2 y RSME fueron menores que $5,27 \times 10^{-3}$ y 0,3729, respectivamente. Los valores de R^2 de los modelos Page, logarítmico, dos términos, aproximación de la difusión y Page ecuación II fueron mayores que 0,99, y los correspondientes valores de χ^2 y RMSE fueron menores que $3,73 \times 10^{-4}$ y 0,0261, respectivamente, lo cual indica que los cinco modelos se ajustan muy bien a los datos experimentales de secado de músculo de camarón gigante.

En la Figura 2 se muestra la comparación de los cinco modelos matemáticos mencionados a la temperatura de 60°C, habiéndose obtenido resultados similares para las otras dos temperaturas de secado. Puede verse que los cinco modelos presentan pequeñas sobre o subestimación en comparación con los datos experimentales. El modelo Aproximación de la difusión fue el que mejor se ajustó a los datos experimentales como se muestra en la Tabla 2, ya que presentó los valores más elevados para R^2 y los valores más bajos para χ^2 y RMSE que fueron 0,997, $1,87 \times 10^{-4}$ y 0,0068, respectivamente.

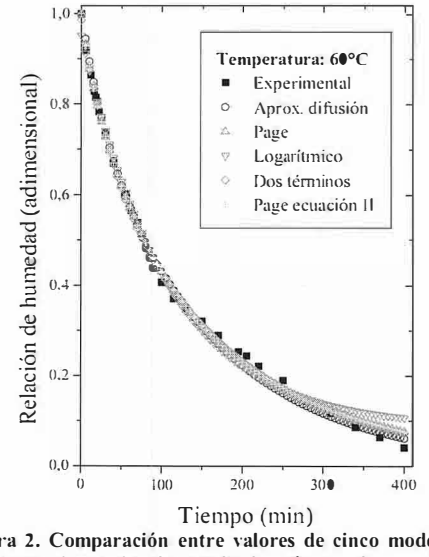


Figura 2. Comparación entre valores de cinco modelos y datos experimentales de secado de músculo de camarón a 60°C

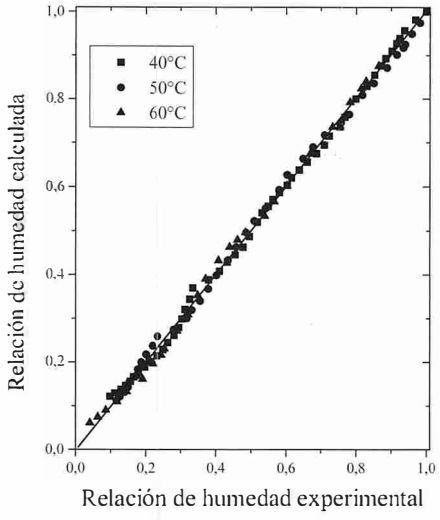


Figura 3. Valores de Relación de humedad experimentales y calculados por el modelo de Aproximación de la difusión

La Figura 3 muestra la comparación entre los valores de relación de humedad experimentales y los calculados por el modelo de Aproximación de la difusión. Como puede verse, los valores graficados están muy cercanos a la línea recta de 45°, lo cual indica una buena correspondencia entre los valores calculados y experimentales y que el modelo seleccionado puede describir adecuadamente el comportamiento durante el secado de músculo de camarón.

CONCLUSIONES

Se estudió el secado de músculo de camarón gigante, se analizó la cinética de secado, y 10 modelos matemáticos fueron ajustados a los datos experimentales. Los resultados indican que el modelo denominado Aproximación de la difusión representó los datos experimentales mejor que los otros modelos. El tiempo de secado disminuyó con el aumento de la temperatura, para todas las velocidades de aire utilizadas.

Tabla 2. Constantes de los modelos utilizados

N°	T (°C)	Constantes				R^2	χ^2	RMSE
1	40	k=0,00282				0,9937	$4,21x10^{-4}$	0,0367
	50	k=0,00379				0,9920	$5,39x10^{-4}$	0,0510
	60	k=0,00848				0,9744	$1,49x10^{-3}$	0,1074
2	40	k=0,00479	n=0,90512			0,9978	$1,46x10^{-4}$	0,0124
	50	k=0,00613	n=0,90938			0,9961	$2,64x10^{-4}$	0,0241
	60	k=0,02044	n=0,80701			0,9975	$1,43x10^{-4}$	0,0100
3	40	k=0,0053	n=1,60095			0,9744	$1,51x10^{-3}$	0,1074
	50	k=0,0354	n=1,07049			0,9920	$5,45x10^{-4}$	0,0501
	60	k=0,0036	n=0,92353			0,9936	$4,26x10^{-4}$	0,0367
4	40	k=0,00269	a=0,97273			0,9961	$2,61x10^{-4}$	0,0224
	50	k=0,00308	a=0,98274			0,9930	$4,78x10^{-4}$	0,0440
	60	k=0,00749	a=0,92715			0,9894	$6,27x10^{-4}$	0,0445
5	40	k=0,00308	a=0,93087	c=0,05520		0,9980	$8,70x10^{-5}$	0,0062
	50	k=0,00465	a=0,90162	c=0,10194		0,9972	$1,92x10^{-4}$	0,0175
	60	k=0,00933	a=0,86481	c=0,08631		0,9938	$3,73x10^{-4}$	0,0261
6	40	k_o=0,00281	k_1=0,00281	a=0,49111	b=0,49111	0,9973	$8,41x10^{-5}$	0,0067
	50	k_o=0,00359	k_1=0,00359	a=0,48969	b=0,48969	0,9938	$5,61x10^{-4}$	0,0202
	60	k_o=0,00744	k_1=0,00744	a=0,46603	b=0,46603	0,9908	$8,48x10^{-4}$	0,0220
7*	40	k=0,00549	a=0,35425			0,9980	$1,34x10^{-4}$	0,0072
	50	k=0,00798	a=0,32961			0,9977	$1,60x10^{-4}$	0,0057
	60	k=0,03487	a=0,18568			0,9969	$1,87x10^{-4}$	0,0068
8	40	a=-0,00245	$b=1,7676x10^{-6}$			0,9827	$1,15x10^{-3}$	0,0987
	50	a=-0,00325	$b=3,0839x10^{-6}$			0,9795	$1,40x10^{-3}$	0,1287
	60	a=-0,00659	$b=1,1676x10^{-5}$			0,9109	$5,27x10^{-3}$	0,3737
9	40	a=0,97291	c=0,04469	L=4,07472		0,9961	$2,64x10^{-4}$	0,0224
	50	a=0,98273	c=0,32562	L=9,40661		0,9930	$4,83x10^{-4}$	0,0440
	60	a=0,92711	c=5,85403	L=27,96345		0,9894	$6,36x10^{-4}$	0,0445
10	40	n=0,90487	c=0,03758	L=3,11876		0,9978	$1,46x10^{-4}$	0,0124
	50	n=0,90865	c=0,06488	L=3,65655		0,9962	$2,64x10^{-4}$	0,0241
	60	n=0,80703	c=0,28278	L=5,09245		0,9976	$1,43x10^{-4}$	0,0100

REFERENCIAS

-A.O.A.C. 1990. Official methods of analysis. Arlington, USA: Association of official analytical chemists.

-Bruce, D. M. 1985. Exposed-layer barley drying, three models fitted to new data up to 150°C. J. Agric. Eng. Res., 32: 337-347.

-Diamante, L. M. and Munro, P. A. 1991. Mathematical modeling of hot air drying of sweet potato slices. Int. J. Food Sci. Technol., 26: 99-109.

-Donsi, G., Ferrari, G. and Di Matteo, P. Atmosferic and vacuum freeze drying kinetics of shrimp, Proc. 12th Int. Drying Symp. IDS 2000, Paper No. 279.

-Goyal, R.K., Kingsly, A.R.P., Manikantan, M.R., Ilyas, S.M. 2006. Thin layer drying kinetics of raw mango slices. Biosys. Eng., 95: 43-49.

-Henderson, S. M. and Pabis, S. 1961. Grain drying theory. II. Temperature effects on drying coefficients. J. Agric. Eng. Res., 6: 169-174.

-Kirschnik, P. G., Viegas, E. M. M., Valenti, W. C. and Oliveira, C. A. F. 2006. Shelf-life of tail meat of the giant river prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, stored on ice. J. Aquatic Food Prod. Technol., 15: 57-71.

-Mujaffar, S. and Sankat, C. K. 2005. The air drying behaviour of shark fillets. Can. Biosys. Eng., 47: 314-321.

-New, M. B. 2005. Freshwater prawn farming: global status, recent research and a glance at the future. Aquaculture Res., 36: 210-230.

-Pinto, L. A. A. and Tobinaga, S. 2006. Diffusive model with shrinkage in the thin-layer drying of fish muscles. Drying Technol., 24: 509-516.

-Tello-Panduro, B., García-Vásquez, Y., Medina-Vivanco, M., Mendieta-Taboada, O. 2004. Air drying of clams (*Anodontites trapesialis*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillet. Proc. 14th Int. Drying Symp. IDS 2004, vol. C, 1977-1983.

-Togrul, I. T. and Pehlivan, D. 2002. Mathematical modeling of solar drying apricots in thin layers. J. Food Eng., 55: 209-216.

-Vega, A., Fito, P., Andrés, A., and Lemus, R. 2007. Mathematical modeling of hot-air drying kinetics of red Bell pepper (var. Lamuyo). J. Food Eng., 79: 1460-1466.

-Wang, C. Y. and Singh, R. P. 1978. Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 11: 668-672.

-Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen, F., Zhao, G., Wu, J. and Hu, X. 2007. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. Food Res. Int. 40: 39-46.

-White, G. M., Ross, I. J. and Ponelert, R. 1981. Fully exposed drying of popcorn. Trans. ASAE, 24: 466-468.

-Yaldiz, O., Ertekin, C. and Uzun, H. 2001. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. Energy, 26, 457-465.

PREDIBAL 1.0: HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA LA PREDICCIÓN DE LA POBLACIÓN DE DOS BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS, AISLADAS DEL SUERO COSTEÑO

Cueto Clementina, García Diego, Cepeda Jihan

Universidad de La Sabana
Facultad de Ingeniería
Campus Universitario Puente del común, Km 21 Autopista Norte de Bogotá D.C.,
Chía Cundinamarca - Colombia

Palabras clave: Software de predicción, Java, Microbiología predictiva, Bacterias Ácido Lácticas, Suero Costeño.

RESUMEN

El suero costeño es un producto lácteo fermentado de carácter artesanal proveniente de la costa Caribe Colombiana. A partir de muestras obtenidas en la región, se realizaron los aislamientos y posterior identificación de varias bacterias ácido lácticas (BAL) responsables de la producción de suero costeño.

Se realizaron las curvas de crecimiento a diferentes condiciones (temperaturas de 28, 32, 36, 40°C y valores de pH de 6, 6.5, 7) de dos cepas de BAL previamente aisladas y se desarrollaron dos modelos de crecimiento (Gompertz modificado y Baranyi). Posteriormente, con los modelos obtenidos se elaboró una aplicación en Java que permite predecir el crecimiento de los microorganismos a diferentes condiciones en un ambiente amigable para el usuario.

Una de las mayores aplicaciones de la herramienta desarrollada se encuentra en la industria, al facilitar la predicción del comportamiento fermentativo de las bacterias modeladas en procesos productivos y las condiciones de operación de suero costeño o de otros alimentos fermentados.

INTRODUCCIÓN

Suero costeño

El suero costeño es un producto típico de la costa Caribe Colombiana, producido mayoritariamente en forma artesanal; consiste en leche entera fermentada en calabazos -frutos secos de *Lagenaria vigalis*- por una colección de bacterias, entre las que se encuentran bacterias ácido lácticas (BAL) y levaduras.

El suero costeño tiene la apariencia de queso para untar y es frecuentemente usado en la región como aderezo para alimentos. Sin embargo, debido a problemas de higiene en el proceso de producción, no ha podido ser comercializado a gran escala.

Bacterias ácido lácticas

Las BAL son microorganismos Gram positivos, no pigmentados, no formadores de esporas, no reductores de nitratos y catalasa negativos. Las bacterias lácticas son anaerobias pero también aerobias facultativas y se caracterizan por una producción de cantidades importantes de ácido láctico como resultado del metabolismo de los hidratos de carbono y son incapaces de metabolizar hidratos de carbono complejos (Leveau and Bouix, 2000).

Se ha observado en diferentes trabajos de investigación que las BAL cumplen un papel importante en las fermentaciones, gracias a su predominio frente a otras poblaciones y la disminución en el número de bacterias indeseables o patógenas (Díaz-Ruiz *et al*, 2003; Steinkraus, 2002; Sulieman et al, 2006).

Modelos de crecimiento

Los modelos de crecimiento son expresiones de tipo matemático, que buscan predecir el comportamiento de los microorganismos en diferentes condiciones.

Gompertz modificado

La ecuación de Gompertz modificada (Zwietering *et al*, 1990) fue desarrollada para describir el crecimiento poblacional de diferentes microorganismos (Sutherland and Bayliss 1994; Wijtzes, *et al*, 2001), donde A es la población inicial, C es la diferencia entre la población inicial y final, μ es la fase de crecimiento máximo expresada en Log ufc/ml/hora, λ es la duración de la fase lag en horas y t es el tiempo, expresado en horas.

$$Log(UFC/ml) = A + C \cdot \exp\left\{-\exp\left[e \cdot \left(\frac{\mu}{C}\right) \cdot (\lambda - t) + 1\right]\right\}$$

Baranyi

En una amplia serie de artículos Baranyi ha introducido un modelo mecánico para el crecimiento bacteriano (Baranyi and Roberts, 1994; Baranyi, *et al.* 1993), donde y_0 es la población inicial, m es el valor de la curva antes de alcanzar la fase estacionaria, μ_{max} es la tasa de crecimiento máxima, v es la tasa de aumento del sustrato limitante, que generalmente se asume que es igual a μ_{max}, q_0 es el estado fisiológico de la célula, asumido como 1 y t es el tiempo de fermentación. En el modelo de Baranyi la fase lag depende del sustrato que es crítico para el crecimiento. Una vez que las células se han adaptado al ambiente, crecen exponencialmente hasta un límite máximo.

$$y(t) = y_0 + \mu_{\max} A(t) - \frac{1}{m} \ln\left(1 + \frac{e^{m\mu_{\max} A(t)} - 1}{e^{m(y_{\max} - y_0)}}\right)$$

$$A(t) = t + \frac{1}{v} \ln\left(\frac{e^{-vt} + q_0}{1 + q_0}\right)$$

La gran aceptación de esta ecuación para el modelamiento del crecimiento microbiológico radica en la facilidad de extraer otros parámetros cinéticos a partir de los parámetros principales (McKellar and Lu, 2004).

Herramientas informáticas de modelamiento del crecimiento microbiano

En la actualidad se pueden encontrar diferentes aplicaciones de tipo informático que buscan dar herramientas en el área de microbiología predictiva. ComBase es una base de datos desarrollada por diferentes entidades gubernamentales del Reino Unido (UK Food Standards Agency, The Institute of Food Research), Estados Unidos (ARS Eastern Regional Research Center, USDA-ARS) y Australia (Australian Food Safety Centre of Excellence). Así mismo se encuentran otros programas y aplicaciones, como DMFit, Perfringens Predictor (The Institute of Food Research, Reino Unido) y Pathogen modeling program (USDA-ARS, Estados Unidos).

Java - Eclipse

Java 6.0 (Sun Microsystems) es un lenguaje de programación orientado a objetos y cuyos programas se construyen a partir de clases de objetos, es decir, abstracciones de la realidad que poseen atributos (características), métodos (acciones o comportamientos) e identidad (diferenciación de otros), estas clases interactúan entre si para realizar tareas. El lenguaje Java y JVM (Java Virtual Machine) son de libre distribución y utilización.

Eclipse 3.2, es un entorno integrado de desarrollo (IDE) donde se puede escribir y compilar código Java. Fue inicialmente desarrollado por IBM pero ahora es desarrollado por Eclipse Foundation (Ottawa, Canadá)

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de muestras

Las muestras de suero costeño y calabazos fueron obtenidos en los alrededores de la ciudad de Valledupar (814 km de Bogotá) posteriormente estas fueron enviadas a la ciudad de Bogotá en condiciones de refrigeración para su posterior análisis.

Aislamiento e identificación de bacterias ácido lácticas

Los aislamientos de BAL presentes en el suero costeño se realizaron a partir de cultivos en agar MRS (Man, Rogosa, Sharpe) incubados a 37°C durante un periodo comprendido entre 0 y 30 horas, reverificándose la tinción de Gram y prueba de catalasa. Posteriormente las cepas aisladas fueron identificadas por medio de la secuenciación del ARN ribosomal del gen 16S en las subunidades V1 a V3.

Selección de cepas y realización de curvas de crecimiento

Se seleccionaron dos cepas de BAL aisladas del suero costeño, correspondientes a *Enterococcus faecium* y *Enterococcus spp.* Posteriormente se realizaron por triplicado las curvas de crecimiento a diferentes condiciones de temperatura de incubación (28, 32, 36 y 40°C) y pH inicial (6, 6.5 y 7) en medio MRS. Los recuentos de población se realizaron por medio de la técnica de conteo en placa con diluciones seriadas.

Elaboración de modelos de crecimiento

Una vez obtenidos los recuentos de las poblaciones de cada uno de los microorganismos, se construyeron los parámetros de crecimiento por medio de la aplicación en Microsoft Excel DMFit versión 2.1 (www.ifr.ac.uk/safety/DMFit), así como las superficies de respuesta por medio del software Design Expert v 7.1 (Stat-Ease, Minneapolis MN). Luego se utilizaron los resultados obtenidos para elaborar los modelos de crecimiento de Gompertz modificado y Baranyi.

Validación de los modelos de crecimiento

Los resultados de los modelos fueron validados con pruebas experimentales a diferentes condiciones experimentales (28°C, pH inicial 6.5: 36°C, pH inicial 6,5). A continuación se desarrollaron las pruebas de validación, con la determinación de factor Bias y de Precisión (Accuracy) al igual que el error cuadrado medio (MSE) (Baranyi *et al*, 1999)

Elaboración de la aplicación en Java

PrediBAL posee una clase que hace la labor de controladora, cuatro clases para visualización de resultados, una clase encargada del cálculo de las predicciones y otra clase encargada de darle la funcionalidad de imprimir y salvar los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cepas aisladas de suero costeño

A partir de las muestras de suero costeño provenientes de la región caribe Colombiana, se obtuvieron 42 cepas de BAL. La mayoría de éstas fueron aisladas en la fase estacionaria, correspondiente a 24 horas después del inicio de la incubación.

Modelos de crecimiento

Con las pruebas experimentales se construyeron los modelos de crecimiento basados en las ecuaciones de Gompertz modificado y Baranyi. Al comparar los resultados de los dos modelos en la Figura 1 se puede apreciar que las transiciones entre cada una de las fases (lag-exponencial y exponencial-estacionaria) son más pronunciadas con el modelo de Baranyi que con el modelo de Gompertz modificado.

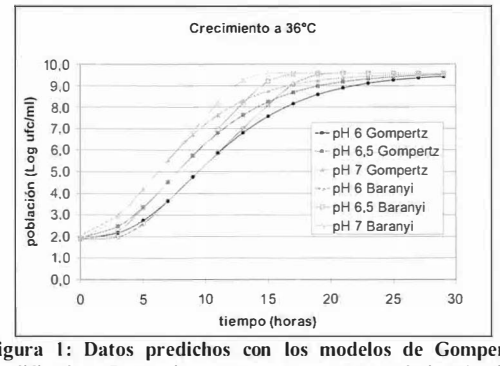


Figura 1: Datos predichos con los modelos de Gompertz modificado y Baranyi, para una temperatura de incubación de 36°C y pH inicial de 6.5.

Así mismo, al realizar las pruebas de validación de los modelos obtenidos en medio de cultivo MRS y leche UHT, como se observa en la Tabla 1. Se aprecia que los modelos obtenidos tienen un buen ajuste y presentan una tendencia general a subestimar las poblaciones de BAL, lo cual es adecuado, especialmente cuando se trata de bacterias benéficas, con potencial de ser utilizadas en la elaboración de suero costeño.

Tabla 1: Validación de los modelos de crecimiento para el *Enterococcus spp.* y *Enterococcus faecium*

BAL	Modelo	MSE	Accuracy	Bias
Enterococcus spp.	Gompertz modificado	0,633	0,980	1,119
	Baranyi	0,748	0,993	1,126
Enterococcus faecium	Gompertz modificado	1,332	0,993	1,170
	Baranyi	1,711	1,007	1,189

De manera adicional se puede observar en las gráficas de validación (Figura 2) que en las primeras etapas del crecimiento las estimaciones de población son menores que los datos reales, mientras que las etapas finales (fase estacionaria) ocurre el fenómeno inverso, donde los valores predichos por los modelos son mayores que los experimentales.

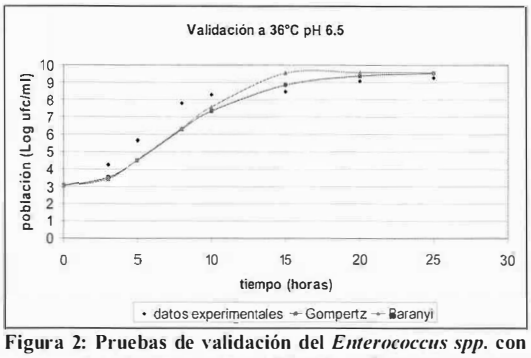


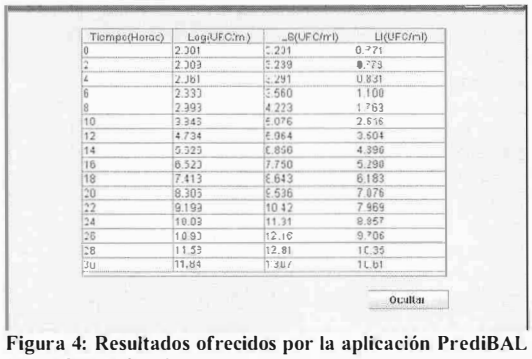
Figura 2: Pruebas de validación del *Enterococcus spp.* con los modelos de Gompertz modificado y Baranyi, con una temperatura de 36°C y un pH inicial de 6,5.

Aplicación de predicción – software

La aplicación ofrece un ambiente amigable para el usuario, donde encontrará un menú de opciones sencillo y práctico para calcular la población de los microorganismos aislados (*Enterococcus faecium*, *Enterococcus spp.*) al tener la opción de modificar las variables temperatura de incubación, pH inicial del medio de cultivo e inóculo inicial. Como opción principal, la interfaz muestra los resultados obtenidos en forma gráfica (curvas de crecimiento), también tiene la posibilidad de observar los valores en tablas, como se aprecia en las Figuras 3 y 4.



Figura 3: Interfaz gráfica de PrediBAL 1.0



Tiempo(Horas)	Log(UFC/ml)	B(UFC/ml)	LI(UFC/ml)
0	2.301	2.231	0.771
2	2.303	3.239	0.779
4	2.361	4.291	0.831
6	2.393	3.560	1.100
8	2.393	4.223	1.763
10	3.343	5.076	2.616
12	4.734	8.064	3.604
14	6.323	8.850	4.390
16	6.523	7.750	5.290
18	7.413	8.643	6.183
20	8.303	9.536	7.076
22	9.199	10.42	7.969
24	10.03	11.31	8.857
26	10.93	12.16	9.706
28	11.53	12.81	10.35
30	11,84	13.17	10.61

Ocultar

Figura 4: Resultados ofrecidos por la aplicación PrediBAL 1.0 en forma de tabla.

CONCLUSIONES

El desarrollo de modelos de crecimiento y herramientas de tipo informático son un paso adelante en la estandarización e industrialización del proceso de suero costeño, el cual ha sido producido hasta el momento a escala artesanal, con los beneficios en nuevas oportunidades de negocio y creación de nuevos empleos.

Así mismo, los resultados obtenidos pueden ser aplicados en la industria para controlar los procesos productivos y llevar mejoras en los procesos de fermentación, con los correspondientes ahorros en términos de energía, tiempo y en general, reducciones en costos de operación.

De igual manera, se ha visto la necesidad de alimentar el programa con más modelos de crecimiento de otras bacterias ácido lácticas, para ampliar su uso en la industria.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Colciencias (Consejo Colombiano de Ciencia y Tecnología) – SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje) y a la Universidad de La Sabana por los recursos entregados dentro del proyecto Código: 1230-08-1211.

REFERENCIAS

- Baranyi, J., Pin, C., Ross, T. 1999. "Validating and comparing predictive models" Int. J. Food Microbiol., 48, 159.
- Baranyi, J., Roberts, T. 1994. "A dynamic approach to predicting bacterial growth in food" Int. J. Food Microbiol., 23, 277.
- Baranyi, J., Roberts, T., McClure, P. 1993. "A non-autonomous differential equation to model bacterial growth", Food Microbiol, 10, 43.
- Díaz-Ruiz, G., Guyot, J. P., Ruiz-Teran, F., Morlon-Guyot, J. and Wacher, C. 2003. "Microbial and Physiological Characterization of Weakly Amylolytic but Fast-Growing Lactic Acid Bacteria: a Functional Role in Supporting Microbial Diversity in Pozol, a Mexican Fermented Maize Beverage". Applied and Environmental Microbiology: 4367-4374.
- Leveau Y, Bouix M. 2000. Microbiología Industrial. Microorganismos de Interés Industrial. Zaragoza. Acribia S.A. p: 595.
- McKellar, R., Lu, X. 2004. Primary models, Modeling microbial responses in food, edited by McKellar, Xu CRC Press, pg 23.
- Steinkraus, K.H. 2002. Fermentations in World Food Processing. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. Vol. 1: 23-32.
- Sulieman, A., Ilayan, A., Faki, A. 2006. "Chemical and microbiological quality of Garris, Sudanese fermented camel's milk product". International Journal of Food science & Technology, Volume 41, Number 3, 321-328.
- Sutherland, J., Bayliss, A. 1994. "Predictive modelling of growth or *Yersinia enterocolitica*: the effects of temperature, pH and sodium chloride" Int. J. Food Microbiol. 21, 197.
- Wijtzes, T., Rombouts, F., Kant-Muermans, M., van't Riet, K., zwietering, M. 2001. "Development and validation of a combined temperature, water activity, pH, model for bacterial growth rate of *Lactobacillus curvatus*" Int, J. Food Microbiol., 63, 57.
- Zwietering, M., Jongerburger, I., Rombouts, F., van't Riet, K. 1990. "Modelling of the bacterial growth curve"Appl. Environ. Microbiol. 56, 1875.

SIMULACIÓN DE LOS PROCESOS DE TRANSPORTE DE CALOR Y MASA EN UN SECADOR POR ASPERSIÓN A ESCALA DE LABORATORIO

Morales- Durán, Ulises; Chanona-Pérez, J.J., Ordorica-Vargas, C., Alamilla- Beltrán, Liliana; Gutierrez- Lopez, Gustavo

Departamento de Graduados e Investigación en Alimentos, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional. Prolongación de Carpio Esq. Plan de Ayala s/n. Del. Miguel Hidalgo. Tel. (55) 57296000 Ext. 62482. México, D.F. – México. Email: urmorales@gmail.com

Palabras Clave: modelado y simulación, secado por aspersión, CFD

RESUMEN

El secado por aspersión (SPA) es una metodología importante en la preparación de alimentos en polvo, sin embargo, la calidad de éstos depende de las condiciones de operación que se utilicen. En este trabajo, se evalúan los procesos de transporte de masa y calor utilizando un secador experimental de laboratorio y simulando los fenómenos de transporte que ocurren dentro de la cámara de secado. Los campos de velocidad y temperatura y la trayectoria y transferencia de calor de las partículas son simulados de acuerdo a datos experimentales utilizando el programa CFX 10 (Ansys Inc., 2007) mediante los módulos precargados de flujo de fluidos, balance de energía térmica y módulo de fase dispersa precargado en CFX 10. La transferencia de masa de las gotas hacia el aire se simuló utilizando una rutina escrita en Fortran 77 (Digital Equipment Corporation, 2007). Para validar el modelo, se determinaron las velocidades, temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo y humedad del aire de secado en 55 puntos dentro de la cámara de secado. La correlación del modelo con los datos experimentales tuvo valores de coeficiente de correlación mayores a 0.8 para todos los parámetros evaluados. Con esta información se puede obtener la base para desarrollar modelos más complejos que permitan obtener información acerca de las características del material, tales como la formación estructural y expansión térmica.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los procesos industriales se han enfocado a la preparación de alimentos listos para consumirse debido a que los hábitos alimenticios de los consumidores se han modificado (Saguy y col., 2005).

El SPA es una de las metodologías de secado que se utilizan para obtener alimentos deshidratados. Esta operación permite obtener productos en polvo, que además presentan cualidades que mejoran su estabilidad y presentan conveniencia en las operaciones de empaque, manejo y transporte comparado con el material fluido inicial. Aunado a esto, se pueden utilizar como ingredientes para procesos posteriores en la elaboración de alimentos. (Lillford, 2003)

Durante el secado por aspersión ocurren cambios fisicoquímicos y estructurales que afectan la calidad del producto final (Sanjuán y col., 1999). Estos cambios se deben principalmente a las velocidades de transferencia de calor del aire de secado a la gota de producto y la transferencia de agua de la gota al aire de secado. La disminución del líquido en la superficie provocará que los solutos se concentren en ésta, lo que modificara las velocidades de transferencia de calor y masa con lo cual se desarrolla la morfología y estructura de la partícula (Goula y col., 2004). Estos fenómenos de formación afectan factores como el contenido de humedad, solubilidad, densidad a granel (Goula y col., 2004), pegajosidad, cohesividad (Rennie y col, 1999) y rehidratación de polvos (Hogekamp y Schubert, 2003).

Los fenómenos de transferencia de calor, masa y momento durante el proceso de secado son complejos, pero en la actualidad pueden ser analizados y simulados utilizando la Dinámica de Fluidos por Computación (CFD)

Huan y col. (2003) realizaron estudios de distintos diseños de cámaras de SPA, así como arreglos de temperaturas de entrada y salida. Southwell y col. (2001) estudiaron 2 alternativas para el diseño del plenum de una cámara utilizando CFD para modelar la distribución del aire dentro de la cámara de secado. Goula y Adamopoulos, (2004) evaluaron del comportamiento de acumulación de residuos en las paredes del secador y su influencia en la cantidad de material que se recupera. Straatsma y col., (1999a y 1999b) utilizaron CFD para predecir algunas características de calidad como el índice de insolubilidad del polvo, modelando la distribución de temperatura dentro de la cámara y acoplándola con un modelo cinético de formación de partículas insolubles.

Las aplicaciones de CFD en secado por aspersión son extensas, sin embargo, no se han reportado estudios en los cuales se use esta metodología para describir el proceso evaporativo dentro de la cámara de secado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales.

Las pruebas experimentales se realizaron en un secador por aspersión experimental (SPAGA9601, IPN, México). La simulación de los procesos de transferencia de calor y masa se realizó utilizando el programa CFX 10.0 (Ansys Inc, 2007).

Métodos.

Definición del dominio geométrico y mallaje para la simulación.

El dominio geométrico utilizado en la simulación en Ansys consintió en un esquema tridimensional de acuerdo a las acotaciones del secador experimental. La boquilla se definió como un cilindro suspendido de acuerdo a las dimensiones del fabricante (Spraying Systems, 2007). La malla generada para la resolución consistió en 7585 elementos tetraédricos dentro de todo el dominio geométrico. Las condiciones de frontera para cada módulo se determinaron experimentalmente y se cargaron en los datos para la simulación del campo de velocidad, temperatura y modelo de fase dispersa. El modelo de fase dispersa se manejó como completamente acoplado (se permite la influencia de las partículas en el campo de velocidad y temperatura de la fase continua). Se realizaron iteraciones simultáneas de cada módulo hasta que el valor promedio del error fue de $10x\ 10^{-4}$. Para el modelo de fase dispersa, se realizaron 100 iteraciones entre cada acoplamiento de las fases.

Simulación de la velocidad del aire de secado

La velocidad del aire se simuló resolviendo las ecuaciones de Navier – Stokes, así como la ecuación de continuidad para una fase continua.

Junto con la ecuación de continuidad y para 3 dimensiones, las ecuaciones de Navier- Stokes consisten en 4 Ecuaciones Diferenciales Parciales en las variables de estado v_x, v_y, v_z y p. La solución de estas ecuaciones representa una descripción completa del campo de velocidad (Basmadjian, 1999; Geankoplis, 1998).

Para la simulación del flujo de aire de secado en la cámara del equipo se utilizó el modelo precargado de transferencia de masa y momento en un fluido en 3 dimensiones. El flujo másico de aire en la entrada del secador se definió con un valor de 0.024 kg/s de acuerdo a las características del secador descritas por Alamilla – Beltrán (2004).

La presión del aire de salida del secador se estableció como 0 Pa. Las demás fronteras se establecieron como "paredes sin flujo". En esta condición, el vector velocidad **u** es igual a cero en la pared.

Simulación de la temperatura del aire de secado

La temperatura del aire de secado se modeló resolviendo la ecuación de convección y conducción de calor. Esta se deriva de un balance de energía térmica en el dominio de cálculo.

La ecuación de conducción y convección se implementó utilizando el módulo preconstruido de transferencia de Calor. Se utilizó una temperatura de entrada de 170 °C. Todas las fronteras del secador se establecieron como aisladas térmicamente, es decir que el flux de calor normal a la superficie de la frontera es igual a cero.

Simulación de la transferencia de masa, calor y momento de las partículas.

Las ecuaciones de transferencia de propiedades de partículas se implementaron en el simulador utilizando el modelo de seguimiento de partículas. El coeficiente de arrastre (C_D) se modeló utilizando la relación de Schiller- Nauman. (Goula y Adamopoulos, 2004)

La velocidad inicial de las partículas se definió con los siguientes componentes: velocidad axial = -116 m/s, velocidad radial = 18.37 m/s de acuerdo a lo reportado por Alamilla – Beltrán (2004). La distribución de diámetro de partícula de las gotas se simuló utilizando una distribución normal con diámetro medio de 16 µm y una desviación estándar de 5 µm. La transferencia de calor se modeló seleccionando el modelo de Ranz- Marshall precargado en Ansys CFX. La temperatura inicial de la alimentación se definió como 25°C y se utilizó una velocidad de alimentación de 1.2 L/h. La transferencia de masa se modeló usando una rutina de partículas escrita en FORTRAN 77 (Digital Equipment Corporation, 2007) de acuerdo a las ecuaciones descritas para la transferencia de masa y la ecuación de Ranz- Marshall para el número de Sherwood (Goula y Adamapoulos, 2004)

Determinación de la velocidad y temperatura del aire de secado

La velocidad del aire de secado se determinó utilizando un termoanemómetro (TSI, VelociCheck 8330) a lo largo de 6 distancias axiales a partir de la boquilla (A = 0 cm, B= 10 cm, C = 20 cm, D= 30 cm y E = 40 cm) y 11 puntos radiales de la cámara de secado. La temperatura del aire de secado se determinó utilizando un termopar tipo K en los mismos puntos.

Determinación de la humedad del aire de secado

La humedad del aire de secado a lo largo de la cámara se determinó mediante la relación de a temperatura de bulbo húmedo y la de bulbo seco dentro de la cámara, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Yg = Ys - \frac{Cs(Tg - Ts)}{\lambda s}$$

La temperatura de bulbo húmedo se determinó utilizando un termopar tipo K cubierto con un capuchón de algodón saturado con agua.

RESULTADOS

La simulación de la velocidad del aire de secado dentro de la cámara de aspersión presentó un valor de coeficiente de correlación de $R^2 = 0.93$, por lo que los datos que se simulan tienen una alta concordancia con los datos experimentales. Sin embargo, los datos simulados tienen valores mayores a los experimentales cuando la velocidad es más alta, por lo que puede suponerse que el simulador presenta mayor error a los valores de velocidad más elevados (Fig. 1)

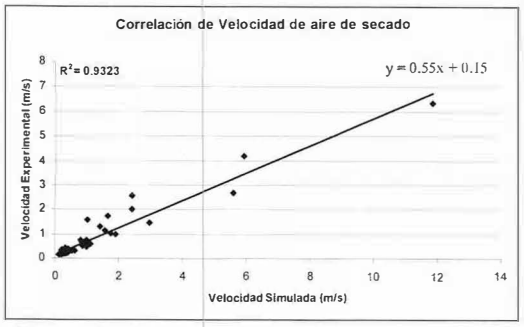


Figura 1. Correlación entre la velocidad simulada y la velocidad experimental

Los valores de temperatura presentaron un coeficiente de correlación de 0.88. Este valor puede deberse a que la ecuación del balance de energía térmica necesita valores iniciales del campo de velocidad para ser calculada por el simulador, por lo que los valores de temperatura simulados tendrán un mayor error debido a los errores numéricos del campo de velocidad. Estos errores pueden reducirse haciendo que el campo de velocidad tenga mayor similitud con los datos experimentales, sin embargo esto requiere mayor capacidad de calculo y tiempo de iteraciones, así como factores de estabilización complejos para la convergencia del sistema. En la figura 2 se muestra la simulación de la temperatura dentro de la cámara de secado.

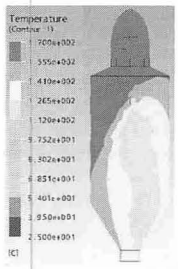


Figura 2. Simulación de la temperatura del aire de secado dentro de la cámara de aspersión.

El valor de la humedad del aire de secado tuvo un valor de correlación de 0.81, por lo que se observa que tiene buena similitud con los valores experimentales, sin embargo, los datos se desvían debido a los errores numéricos de la velocidad y la temperatura del aire de secado. Esto implica que el modelo de evaporación de gotas, del cual se deriva la humedad del aire en el simulador es adecuado para este sistema, sin embargo, se requiere una mayor correlación entre los campos simulados y los valores experimentales de la velocidad y la temperatura del aire de secado para poder tener una mayor exactitud en la simulación de los procesos evaporativos de las gotas asperjadas en la cámara. Los valores de humedad simulados se presentan en la figura 3.

La humedad del aire presenta un incremento hacia la parte más distante de la boquilla y hacia el centro del secador. Esto corresponde con el cono de aspersión formado por las gotas de líquido dentro de la cámara. Puede observarse que los valores de los niveles axiales de 20 a 40 cm (C, D y E) son muy semejantes, lo que implica que la evaporación se lleva mayoritariamente en los 20 cm siguientes a la salida del líquido. La evaporación de agua posterior a esta distancia es mucho menor. Probablemente, el incremento de humedad de los niveles más distantes de la boquilla se debe al arrastre del vapor por el aire de secado y a la distribución de la humedad dentro del secador.

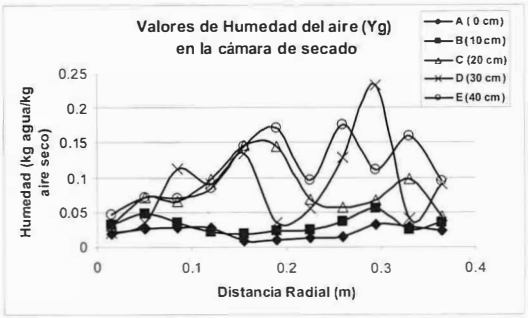


Figura 3. Humedad del aire de secado simulada a diferentes distancias axiales de la boquilla (A, B, C, D, E)

Utilizando los campos simulados, pueden obtenerse valores de los coeficientes de transferencia de masa y calor de las partículas mediante el uso del número de Nusselt y Sherwood (Fig. 4 y 5) para las gotas asperjadas dentro de la cámara de secado.

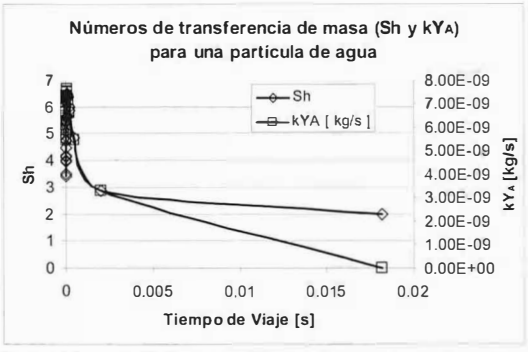


Figura 4. Número de Sherwood (Sh) y coeficiente de transferencia de masa (kY_A) para una partícula de agua de 19 micras de diámetro inicial.

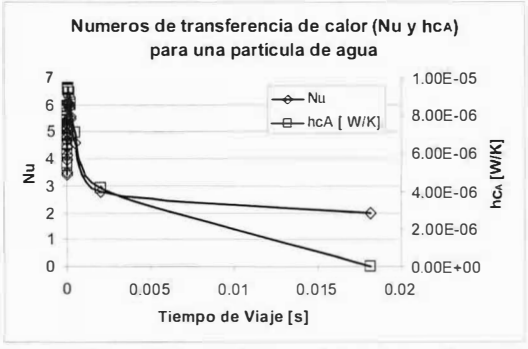


Figura 5. Número de Nusselt (Nu) y coeficiente de transferencia de calor (hc_A) para una partícula de agua de 19 micras de diámetro inicial.

CONCLUSIONES

El modelo propuesto para simular los procesos evaporativos dentro de la cámara del secador experimental presenta una buena correlación entre los campos de velocidad y temperatura del aire de secado, así como la transferencia de masa y calor de las partículas hacia el aire de secado, que se observa con la similitud entre los valores de humedad de aire determinados experimentalmente y los valores simulados.

Es necesario incrementar la correlación del modelo en cuanto a los campos de velocidad y temperatura, debido a que los errores numéricos que se derivan del cálculo de éstos, provocan que la simulación de la transferencia de calor y masa hacia las partículas sea menor.

Los procesos simulados pueden acoplarse con isotermas de sorción y propiedades de transporte del material de interés para poder simular el desarrollo morfológico y procesos de expansión térmica de los materiales biológicos que se someten a secado por aspersión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero al Instituto Politécnico Nacional (COFAA,EDI, Proyectos SIP 20070544 y 20071110); Proyectos CONACyT 2004-C-1-4861-Z y 577Z.

REFERENCIAS

- Alamilla–Beltran L. (2004) Cambios Morfológicos de la Partícula Atomizada y su Relación con las Unidades de Transferencia de Calor en Secado por Aspersión. Tesis de Doctorado. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. México.
- Basmadjian, D. (1999) The Art of Modellin in Science and Engineering. Chapman & Hall. CRC Press. U.S.A
- Geankoplis, C.J. (1998) Procesos de transporte y operaciones unitarias. 3ª Ed. Compañía Editorial Continental.
- Goula, A.M., Adamopoulos, K.G. (2004) Influence of spray drying conditions on residue accumulation – Simulation using CFD. Drying Technology 22(5):1107 – 1128
- Goula, A.M., Adamopoulos, K.G., Kazakis, N.A. (2004) Influence of Spray Drying Conditions on Tomato Powder Properties. Drying Technology. 22(5) : 1129- 1151
- Hogekamp, S., Schubert, H. (2003). Rehydration of food powders. Food Sci Tech Int. 9(3):223 – 235.
- Huang, L., Kumar, K., Mujumdar, A.S. (2003) Use of computational Fluid Dynamics to evaluate alternative spray dryer chamber configurations. Drying Technology 21(3): 385 – 412
- Lillford, P.J. (2003) Status and Needs in Drying Technology for the Food and Pharmaceutical Industry. Food Science and Technology International. 9(3): 145 – 149
- Rennie, P.R., Chem, X.D., Hargreaves, C., Mackereth, A.R. (1999) A study of the cohesion of dairy powders. Journal of Food Engineering 39: 277- 284
- Saguy, S.I., Marabi, A., Wallach, R. (2005) New approach to model rehydration of dry food particulates utilizing principles of liquid transport in porous media. Trends in Food Science and Technlogy 16(11): 495 – 506
- Sanjuán, N., Simal, B., Bon, J., Mulet, A. (1999) Modeling of broccoli stems rehydration process. Journal of Food Engineering 42: 27 – 31
- Seydel, P., Blömer, J., Bertling, J., (2006) Modeling Particle Formation at Spray Drying Using Population Balances. Drying Technology 24: 137 – 146.
- Southwell, D.B., Langrish, T.A.G., Fletcher, D.F. (2001) Use of computational fluid dynamics techniques to asses desing alternatives for the plenum chamber of a small spray dryer. Drying Technology 19(2): 257 – 268
- Straatsma, J., Van Houwelingen, G., Steenberg, A.E., De Jong, P. (1999b) Spray drying of food Products: 2. Prediction of insolubility index. Journal of Food Engineering 42: 73 – 77.
- Straatsma, J., Van Houwelingen, G., Steenbergen, A.E., De Jong, P. (1999a) Spray drying of food products: 1. Simulation model. Journal of Food Engineering 42: 67 – 72

NOMENCLATURA

Yg	Humedad del aire de secado [kg agua/ kg aire seco]
Ys	Humedad de saturación adiabática [kg agua/ kg sólido seco]
Cs	Calor húmedo del aire de secado [cal /kg aire seco* °C]
Tg	Temperatura del aire de secado [°C]
Ts	Temperatura de saturación adiabática [°C]
λ_s	Calor latente de evaporación a la temperatura de saturación adiabática [cal/ kg agua]
Sh	Número de Sherwood [adimensional]
Nu	Número de Nusselt [adimensional]
kY_A	Coeficiente de transferencia de masa [kg/s]
hc_A	Coeficiente de transferencia de calor [W/°K]

MODELAGEM DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE BANANA

Fernandes, Fabiano A.N.; Rodrigues, Sueli; Gaspareto, Odisséia C.P.; Oliveira, Edson Leandro e Oliveira, Antônia Beatriz Viana.
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
Av. Senador Salgado Filho 3000, Campus Universitário, 59072-970.E-mail: edson@eq.ufrn.br
NATAL – BRASIL

Palavras-chave: desidratação osmótica, banana, modelagem matemática.

RESUMO

Um estudo sobre a desidratação osmótica da banana em solução de sacarose foi realizado, para fins de conservação do produto e agregar valor ao excedente de produção de bananas destinadas à exportação. Um modelo matemático foi desenvolvido para o processo de desidratação osmótica visando a otimização do tempo e o projeto conceitual de processos para desidratação de bananas. Foram investigadas a influência da temperatura e concentração da solução de sacarose (°Brix) no desempenho do processo, sendo monitorados a concentração de açúcar (na fruta e na solução), o volume da solução e o peso da fruta. O modelo foi validado com dados experimentais e mostrou boa concordância.

INTRODUÇÃO

A desidratação osmótica remove parcialmente água de frutas e vegetais imersos numa solução hipertônica. A força motriz para remoção de água é dada pela diferença de pressão osmótica entre o produto e a solução em que está imersa. A estrutura celular complexa do produto ou alimento atua como uma membrana semi-permeável, porém por não se comportar como uma membrana perfeitamente seletiva, outros solutos presentes nas células podem se difundir para a solução osmótica. Durante a desidratação osmótica, água flui do produto para a solução, enquanto que uma pequena parte do açúcar da solução (xarope) flui para o interior da fruta. A taxa de transferência de massa (água e açúcar) depende de fatores como a temperatura de processamento e da concentração da solução osmótica, do tamanho, volume e geometria do alimento sendo processado [1].

A banana (*Musa ssp.*) foi utilizada neste estudo, pois o estado do Rio Grande do Norte se destaca na produção de bananas para exportação, porém existe um excedente de produção que é perdido, uma vez que as bananas não podem ser congeladas para armazenamento do excedente de produção. As principais formas de conservação desta fruta, que é altamente perecível, são a secagem e a desidratação osmótica [2]. Embora a secagem da fruta resulte em um teor de umidade bem mais baixo que o obtido com a desidratação osmótica, o processo requer uma grande quantidade de energia [3].

Neste trabalho, é estudada a conservação da produção excedente de bananas em uma forma que agregue valor à fruta e que possa ser aplicada junto a comunidades de pequenos agricultores: a desidratação osmótica. O objetivo do trabalho foi desenvolver um conjunto de equações matemáticas que descrevam o processo de desidratação osmótica da banana. O modelo matemático foi validado e pode ser aplicado para otimizar as condições operacionais de processos de desidratação osmótica seguido ou não de secagem, visando uma redução do tempo e custo do processo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Preparação das amostras

A matéria prima (banana) foi produzida no estado do Rio Grande do Norte e adquirida no mercado local. Esta foi descascada e fatiada em tamanhos de aproximadamente 2,0 cm de diâmetro e 1,0 cm de espessura. As amostras foram analisadas e tiveram sua concentração de sólidos solúveis (°Brix) determinados via refratômetro, e sua umidade medida via aquecimento direto [4]. A solução osmótica foi preparada usando açúcar comercial e a concentração do soluto foi determinada pela quantidade de sólidos solúveis (°Brix). O pH da solução osmótica foi ajustado na faixa de 4 a 5 pela adição de ácido cítrico.

Desidratação Osmótica

As fatias de banana foram colocadas numa cesta perfurada e introduzida no desidratador osmótico, contendo a solução de sacarose, mostrado na Figura 1. A razão mássica entre o xarope e a banana foi fixada em 4:1 em todas as corridas experimentais, de forma a evitar a diluição excessiva da solução osmótica com a água removida da fruta e reduzir o efeito da perda de água por evaporação para o meio ambiente.

Para determinação dos coeficientes de transferência de massa da água e do açúcar entre o meio osmótico e a fruta, a amostra permaneceu imersa na solução osmótica por um período de até 4 horas, sendo que a cada hora uma amostra era retirada para análise da concentração de açúcar e umidade da fruta.

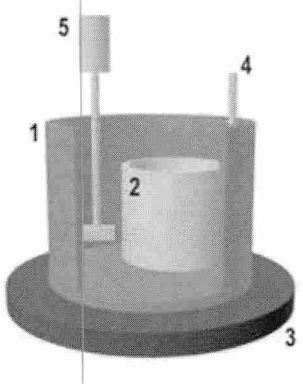


Figura 1. Equipamento usado na desidratação osmótica da banana. 1. desidratador osmótico; 2. cesta perfurada; 3. chapa de aquecimento; 4. termopar; 5. agitador mecânico

MODELAGEM MATEMÁTICA

O modelo matemático (Equações de 1 a 6) descreve a transferência de massa entre o produto (fruta) e a solução osmótica, e entre a perda de água da solução por evaporação para o meio ambiente (Figura 2). A transferência de massa entre a fruta e a solução osmótica considera a perda de água pela fruta para a solução e o ganho de açúcar pela fruta.

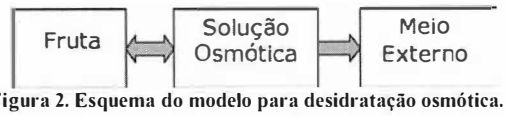


Figura 2. Esquema do modelo para desidratação osmótica.

$$\frac{dM_{FR}^{AG}}{dt} = -K_m^{AG} \cdot A_{FR} \cdot \left(C_{FR}^{AG} - C_{SO}^{AG}\right) \cdot V_{FR} \quad (1)$$

$$\frac{dM_{FR}^{AC}}{dt} = -K_m^{AC} \cdot A_{FR} \cdot \left(C_{FR}^{AC} - C_{SO}^{AC}\right) \cdot V_{FR} \quad (2)$$

$$\frac{dV_{FR}}{dt} = \alpha \cdot \frac{dM_{FR}^{AG}}{dt} \quad (3)$$

$$\frac{dM_{SO}^{AG}}{dt} = -\frac{dM_{FR}^{AG}}{dt} - \frac{K_m^{EVAP} \cdot A_{DO}}{\lambda} \quad (4)$$

$$\frac{dM_{SO}^{AC}}{dt} = -\frac{dM_{FR}^{AC}}{dt} \quad (5)$$

$$\frac{dV_{SO}}{dt} = \frac{1}{\rho^{AG}} \cdot \frac{dM_{FR}^{AG}}{dt} \quad (6)$$

Dados experimentais foram usados para determinar os coeficientes de transferência de massa entre a fruta e a solução osmótica. Um programa em Fortran foi especialmente desenvolvido para estimar os parâmetros do modelo baseado na minimização da soma dos erros quadráticos entre os dados experimentais e a curva do modelo.
Uma vez que o modelo foi validado, a otimização foi realizada utilizando-se o método de Levenberg-Marquardt sendo utilizada a função objetivo apresentada na Equação 7.

$$\Phi = MIN(\theta_{DOSM}) \quad (7)$$

RESULTADOS

Desidratação Osmótica

A tabela 1 apresenta as quatro condições que foram utilizadas para a determinação dos coeficientes de transferência de massa. A Tabela 2 apresenta os coeficientes de transferência de massa para as quatro condições estudadas na desidratação osmótica.

Tabela 1. Condições operacionais utilizadas na desidratação osmótica da banana.

Condição	Temperatura [°C]	Conc.Açúcar na Sol.Osmótica [°Brix]
A	50	50
B	70	50
C	50	70
D	70	70

Tabela 2. Coeficientes de transferência de massa entre a fruta e a solução osmótica.

Condição	Coef. de Transf. Massa para a Água [l/h.m²]	Coef.Transf. Massa para o Açúcar [l/h.m²]
A	177,61	155,85
B	246,88	176,46
C	1946,40	241,75
D	1179,96	111,93

Pode-se observar, nas Figuras 3, 4 e 5, que os coeficientes de transferência de massa obtidos através da estimativa dos parâmetros ajustam bem as curvas experimentais.

Comparando-se as Figuras 3 e 4, o aumento da concentração de açúcar na solução osmótica leva a um aumento da taxa de transferência de massa de água da fruta para a solução osmótica, sendo que a taxa de transferência de massa de açúcar da solução para a fruta não sofre grande influência, o que é também verificado pelos valores do coeficiente de transferência de massa (Tabela 2).

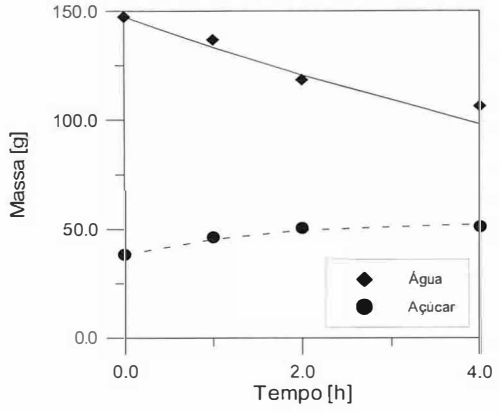
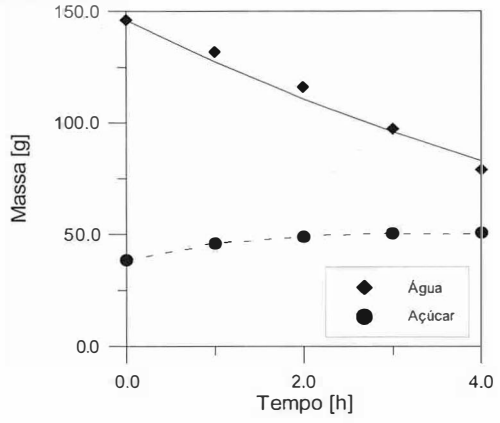


Figura 3. Massa de água e açúcar na fruta na condição A (50°C, 50°Brix).



Fignra 4. Massa de água e açúcar na fruta na condição C (50°C, 70°Brix).

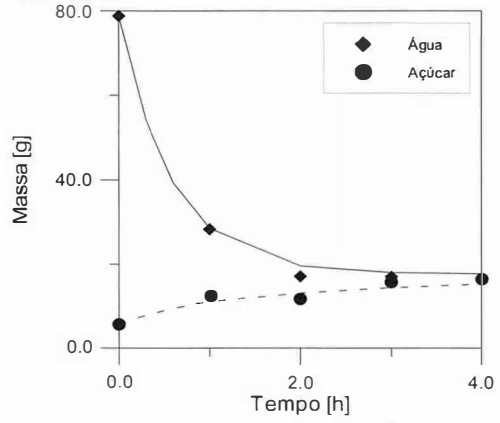


Figura 5. Massa de água e açúcar na fruta na condição C (70°C, 50°Brix).

O mesmo pode ser observado analisando as Figuras 3 e 5 onde o aumento da temperatura influencia significativamente a taxa de transferência de água da fruta para a solução osmótica. O ganho de açúcar por sua vez é limitado.

Outra importante observação a ser considerada é a quantidade de açúcar incorporada à fruta durante o processo de desidratação osmótica. Quanto maior o tempo do processo, maior será a quantidade de açúcar incorporada à fruta, porém existe um limite para a transferência de açúcar do xarope para a fruta, sendo que após 2 horas de permanência no xarope a taxa de transferência de açúcar para a fruta se torna muito baixa e o teor de açúcar da fruta se estabiliza (como visto nas Figuras 3 e 4).
Durante os experimentos obteve-se uma quantidade de sólidos solúveis máxima de 67 °Brix para a banana quando deixada na solução osmótica por 2 horas nas condições de 50°C e 70°Brix e, dependendo da quantidade de açúcar que se deseja incorporar à fruta (para mudar o padrão de qualidade dela), deve-se aumentar o tempo de processamento.

CONCLUSÃO

O modelo desenvolvido para o processo de desidratação osmótica considera a transferência de massa entre a fruta e a solução, a transferência de açúcar da solução para a fruta e a transferência de água da fruta para a solução. A redução de volume da fruta também foi considerada devido à saída de água. O modelo desenvolvido se ajustou muito bem frente aos dados experimentais.
Os parâmetros obtidos possibilitaram a simulação do modelo de forma a se otimizar o tempo de processo osmótico e processos mistos onde a desidratação osmótica é seguida de secagem em leito fixo.
Pode ser analisada a qualidade da banana em relação a quantidade de açúcar que se deseja na fruta desidratada e, dependendo desta quantidade um maior tempo de permanência na solução osmótica deve ser implementado, em detrimento de um menor tempo de processamento.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem o apoio financeiro do CNPq.

NOMENCLATURA

A_i	área de troca da fase *i* (m^2)
C_{ij}	concentração mássica de *j* na fase *i* (g/m^3)
K_m	coeficiente de transferência de massa ($l/h.m^2$)
M	massa (g)
t	tempo (h)
V_i	volume da fase *i* (m^3)
α	fator de encolhimento da fruta
λ	calor de vaporização
ρ	densidade (g/m^3)
θ_{DO}	tempo de desidratação osmótica
subscritos	
eq	no equilíbrio
FR	fruta
SO	solução osmótica
sobrescritos	
AC	açúcar
AG	água

BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS

-[1] Corzo, O. & Gomes, E. R. 2004. "Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology". Journal of Food Engineering, 64, 213-219.
-[2] Souza, M. A. 2003. "Influência da Concentração e da Proporção Fruto:Xarope na Desidratação Osmótica de Bananas Processadas". Ciência e Tecnologia de Alimentos, 23, 126-130.
-[3] Chua, K. J., Mujumdar, A. S., Hawlader, M. N. A., Chou, S. K. & Ho, J. C. 2001. "Batch drying of banana pieces — effect of stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product colour. Food Research International", 34, 721-731.
-[4] Pregnolato, W. & Pregnolato, N.P. 1985. "Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos analíticos e físico-químicos para análise de alimentos". 3a Edição, São Paulo, Instituto Adolfo Lutz.

MODELO MATEMÁTICO DE LA PRODUCCIÓN MICROBIOLÓGICA DE FRUCTOOLIGOSACÁRIDOS

Salinas, Martín A.[1,2] Perotti, Nora I.[1,2]
[1] PROIMI-CONICET (Planta Piloto de Procesos Industriales Microbiológicos).
[2] Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Cátedra de Microbiología General e Industrial.
Av. Belgrano y Pje. Caseros, San Miguel de Tucumán (CP 4000), Tucumán, ARGENTINA.
msalinas@proimi.org.ar

Palabras clave: modelado matemático, *Aureobasidium* sp., fructooligosacáridos, prebióticos, producción microbiológica

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es la realización de un modelo matemático que describa la producción de fructooligosacáridos a partir de la levadura *Aureobasidium* sp. ATCC 20524 en un reactor tanque agitado en condiciones controladas. Los fructooligosacáridos son considerados alimentos prebióticos y como tales favorecen el normal y buen funcionamiento del aparato digestivo por lo tanto su estudio es de gran importancia y valor. A partir de los datos experimentales y de las suposiciones teóricas se construyó el modelo cinético. Para luego ser evaluado frente a los valores experimentales.
El modelo sigue las curvas experimentales, la concentración de sacarosa cae rápidamente y se hace nula en las primeras horas mientras que la concentración de fructooligosacáridos empieza a aumentar y llega a su valor máximo en la hora 21 para luego decaer debido a la posible formación de polímeros de alto peso molecular, la diferencia entre los valores experimentales y los del modelo son menores al 5% teniendo haciendo así válido el modelo propuesto para predecir la producción de los azucares y las condiciones óptimas de cultivo de esta cepa para su máximo rendimiento y poder determinar el momento en el cual es apropiado terminar la fermentación para obtener los valores máximos de FOS.

INTRODUCCION

Se denomina fructooligosacáridos (FOS) solamente a oligosacáridos de fructosa que están principalmente compuestos por 1-kestosa, nystosa y 1F-fructofuranosylnistosa, los cuales tienen dos y tres grupos fructosilos unidos a la posición β-1,1 de la sacarosa respectivamente (Shin *et al.*, 2004). Los FOS constituyen productos que pueden ser considerados tanto aditivos alimentarios como nutracéuticos. Diversos estudios han demostrado el carácter prebiótico de estos azúcares al favorece el desarrollo de bifidobacterias en el intestino humano que favorecen el normal funcionamiento del sistema digestivo por supresión de patógenos putrefactivos y por la reducción de las concentraciones de colesterol (Hidaka *et al.*, 1986, Gibson and Roberfroid, 1995). También son considerados como endulzantes alternativos ya que su dulzor es muy similar al de la sacarosa (Yun, 1996).
En este trabajo interesan aquellos fructooligosacáridos que se obtienen sintéticamente mediante la transferencia de grupos fructosílicos, reacción catalizada enzimáticamente, entre moléculas de sacarosa por la enzima fructosiltransferasa (Ffase). La cepa utilizada para el desarrollo del trabajo fue *Aureobasidium* sp. la cual ha sido reportada como una excelente productora de Ffase (Hayashi *et al.*, 1990, 1991; Jung et al., 1987, Salinas *et al.* 2006) cuando se utiliza como sustrato sacarosa a altas presiones osmóticas, en nuestro trabajo se utilizó sacarosa en una concentración de 200 g/L (Vandakova *et al.*, 2003, Salinas *et al.*, 2006).

La sacarosa constituye una excelente materia prima para obtener productos biotecnológicos de alto valor agregado. A partir de estas posibilidades, el ingenio azucarero de los próximos años se convertiría en un productor integrado no solamente de sacarosa sino también de una serie de productos valiosos manufacturados a diferentes escalas.
El objetivo de este trabajo fue modelar la producción de estos azúcares a partir de la levadura *Aureobasidium* sp. ATCC20524 en cultivo sumergido en reactor tanque agitado de un litro usando sacarosa como fuente de carbono en alta concentración para que la presión osmótica que se genera aumente la formación de FOS. Como base para estudios posteriores de estrategias de producción a mayor escala, optimización de las condiciones y evaluación de los máximos valores de rendimientos, se estudiaron los parámetros cinéticos de crecimiento y síntesis de fructooligosacáridos y se realizó el modelo matemático con suposiciones teóricas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Microorganismo.
Se utilizó la cepa *Aureobasidium* sp. ATCC 20524. Esta cepa fue mantenida en viales de 1 mL a -20°C conteniendo glucosa 20 g/L, peptona 10 g/L, extracto de levadura 5 g/L y glicerol 20%.

Condiciones de cultivo del inóculo.
0.5 mL de la cepa en su medio para mantenimiento se pasaron a un erlenmeyer de 250 mL conteniendo 100 mL de sacarosa 10 g/L, extracto de levadura 10 g/L, $NaNO_3$ 10 g/L, KH_2PO_4 5 g/L, $MgSO_4.7H_2O$ 0.5 g/L, se dejó crecer durante un día a 30°C y 250 rpm. Dos frascos agitados fueron incubados.

Producción de Fructooligosacáridos
100 mL del inóculo fueron transferidos a un reactor tipo tanque agitado de 1.5 L (New Brunswick, Discovery Serie 100). La cepa fue cultivada en un medio conteniendo: sacarosa 200 g/L, $NaNO_3$ 10 g/L, extracto de levadura 10 g/L, K_2HPO_4 5 g/L y $MgSO_4.7H_2O$ 0.5 g/L. El volumen efectivo utilizado fue de 1 L. Se ajustó el pH del medio en 6.5 y fue controlado de manera automática utilizando NaOH y HCl en una concentración 0.5N. A través de un compresor se pasó aire seco al fermentador con un caudal de 2.5 vvm para la obtención del oxígeno disuelto necesario para el crecimiento y la producción. La temperatura se mantuvo en 30°C y la agitación en 500 rpm. Ya ha sido demostrado en trabajos publicados anteriormente que estas condiciones son las optimas para la producción de Ffase (Hayashi *et al.*, 1990, 1991; Jung et al., 1987, Salinas *et al.* 2006).

Métodos Analíticos.
Los azúcares: sacarosa, glucosa, 1-kestosa y nistosa fueron determinados y cuantificados durante la producción por medio de cromatografía liquida de alta performance (HPLC). La columna utilizada fue Rezex Oligosaccharide a 50°C usando agua como fase movil.
El crecimiento microbiológico fue seguido por densidad óptica a 620 nm.

Nomenclatura	
X	Concentración de biomasa [g/L]
S	Concentración de sacarosa [g/L]
G	Concentración de glucosa [g/L]
P	Concentración de FOS [g/L]
T	Tiempo [h]
μ	Velocidad de crecimiento [1/h]
μ_G	Velocidad máxima de crecimiento con glucosa como sustrato [1/h]
K_G	Constante de saturación de la ecuación de Monod para glucosa como sustrato [g/L]
Y_{AB}	Rendimiento $\Delta A/\Delta B$
β	Constante de proporcionalidad [1/h]
γ	Constante de proporcionalidad
η	Factor de ajuste

Modelo Matemático.
El modelo matemático propuesto consiste en un set de ecuaciones diferenciales ordinarias.

$$\frac{dX}{dt} = \mu X$$

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{1}{Y_{PS}}\frac{dP}{dt} - \frac{1}{Y_{GS}}\frac{dG}{dt}$$

$$\frac{dG}{dt} = Y_{GS}S - \frac{1}{Y_{XG}}\frac{dX}{dt}$$

$$\frac{dP}{dt} = \beta X - \gamma P^{\eta}$$

Se hicieron diferentes suposiciones para el modelo cinético que están bien estudiadas y conocidas en la literatura. Primero se asume que el crecimiento microbiano sigue una cinética de primer orden basado en la ecuación de Monod.

$$\mu = \mu_G \frac{G}{K_G + G}$$

La sacarosa es consumida por el microorganismo para producir tanto FOS como glucosa, mientras que la glucosa es consumida para la reproducción celular como lo muestra la ecuación de velocidad de crecimiento. La cinética para los fructooligosacáridos es proporcional a la cantidad de biomasa, y un exceso de producto produce su inhibición.
Los valores de los parámetros fueron obtenidos de diversas corridas experimentales.
El sistema fue resuelto utilizando el software Matlab 7.

RESULTADOS

El modelo ha sido corrido para un intervalo de tiempo de 24 horas, tiempo en que fueron producidos los FOS se evidencia que la concentración de Sacarosa cae desde 200 g/L a 0 en las primeras 5 horas de producción (Figura 1), en esta etapa se sintetizan los FOS para disminuir la presión osmótica producida por la alta concentración de azúcar inicial.

Tabla 1
Valores de los parámetros

μ_G [1/h]	0.182
K_G [g/L]	59.060
β [1/h]	4.902
γ	3.836
η	0.8
Y_{PS}	0.625
Y_{GS}	0.3
Y_{XG}	1.92

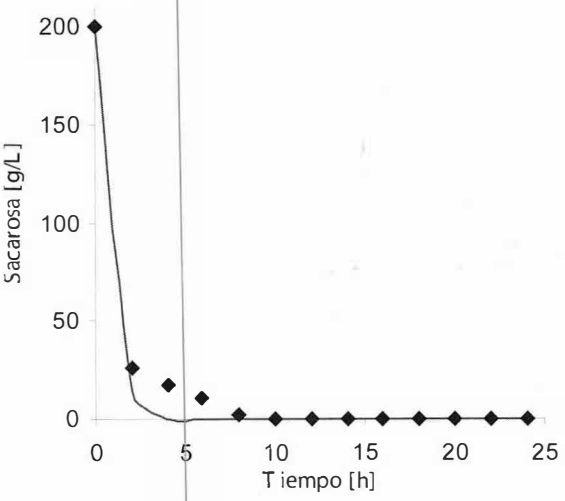


Figura 1. Comparación entre valores experimentales (◆) y del modelo (-) para Sacarosa

El máximo de FOS producido se alcanza a la hora 21 y luego empieza a decaer por la posible aparición de polímeros de alto peso molecular formados a partir de los FOSs (Figura 2), es en este momento donde la fermentación debería ser parada. El valor máximo de FOS obtenido fue de 125 g/L y por lo tanto un rendimiento de sacarosa en FOS en la hora 21 de 62%, indica que más de la mitad del azúcar inicial se convierte en FOS durante el primer día de cultivo de la cepa, teniendo así una excelente cepa productora.

La diferencia entre los valores del modelo y los experimentales presentan valores por debajo de 5% excepto en las últimas horas donde el error tienen un leve aumento.
Los valores de los parámetros fueron obtenidos a partir de los datos proporcionados por diversas corridas experimentales los cuales son mostrados en la tabla 1.

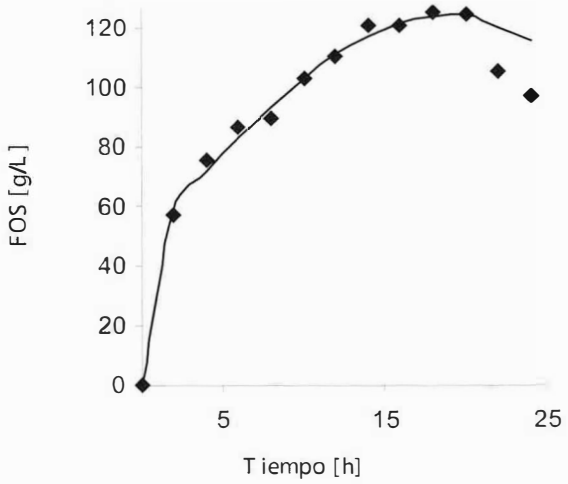


Figura 2. Comparación entre valores experimentales (◆) y del modelo (-) para FOS [g/L]

La figura 3 muestra el plano de fases para la concentración de sacarosa y de FOS, el punto inicial es el valor 200 para sacarosa y 0 para FOS, mientras que el punto final, donde termina el plano es 125 para FOS y 0 para sacarosa.

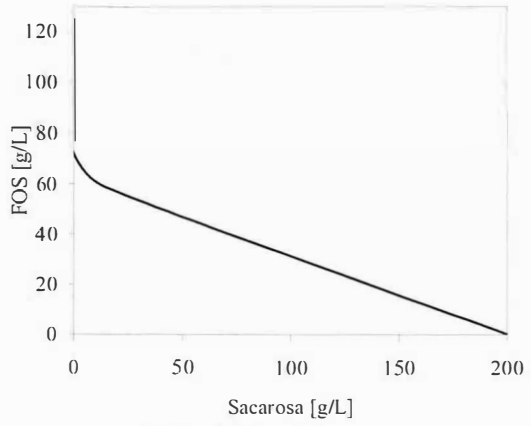


Figura 3. Plano de Fase

CONCLUSIONES

El modelo predice el comportamiento cinético de la producción de fructooligosacáridos con errores muy bajos entre los valores del modelo y los experimentales. Esto permitirá avanzar en el estudio y conocimiento de la producción de estos alimentos prebióticos pudiéndose así optimizar las condiciones de producción de tal manera de obtener los máximos rendimientos de producción de FOS a partir del cultivo microbiológico, evitando así la necesidad de tener que purificar la enzima para obtener FOS. El modelo permite además encontrar el momento en el cual la fermentación debe ser parada para la máxima obtención de FOS.

AGRADECIMIENTOS

-ANPCyT, CIUNT y CONICET por el apoyo económico al trabajo.
- Dr. Ricardo Fitzsimons por su colaboración en la determinación por HPLC.

REFERENCIAS

-Gibson GR, Roberfroid MB (1995) Dietary modulation of the human colonic microbiota : introducing the concept of prebiotics. J Nutr 125:1401-1412
-Hayashi S, Nonokuchi M, Imada K, Ueno H (1990) Production of Fructosyl-transferring enzyme by Auerobasidium sp. ATCC 20524. J Ind Microbiol 5:395-400
-Hayashi S, Shimokawa Y, Nonoguchi M, Takasaki Y, Ueno H, Imada K (1991) Nutritional satatus of Aureobasidium sp. ATCC 20524 for the production of B-fructofuranosidase. World J Microbiol Biotechnol 7:522-525
-Hidaka H, Eida T, Takizawa T, Tokunaga T, Toshira Y (1986) Effects of fructooligosaccharides on intestinal flora and human health. Bifidobacteria Microflora 5:37-50
-Jung KH, Yun JW, Kang KR, Lim JY, Lee JH (1989) Mathematical model for enzymatic production of fructooligosaccharides from sucrose. Enzyme Microb Technol 11:491-494
-Shin HT, Baig SY, Lee SW, Suh DS, Kwon ST, Lim YB, Lee JH (2004) Production of Fructo-oligosaccharides from molasses by Aureobasidium pullulans cells. Bioresource Technol 93:59-62.
-Salinas MA, Lucca ME, Perotti NI. Induction of Transfructosylating Activity of Fructosyltransferase by Aureobasidium sp ATCC 20524 in Two Step Batch Culture. 106th General Meeting ASM. American Society for Microbiology. Orlando, Florida, EE.UU. Mayo 2006.
-Vandáková M, Platková Z, Antosová M, Báles V, Polakovic M (2004) Optimization of Cultivation Conditions for Production of Fructosyltransferase by Aureobasidium Pullulans. Chem Pap 58:15-22
-Yun JW (1996) Fructooligosaccharides-Occurrence, preparation, and application. Enzyme Microb Technol 19:107-117

DRYING MODEL AT PORE-LEVEL. SOLUTE-LIQUID EFFECTS ON TRANSPORT PARAMETERS

San Martín Francisco A. and Segura Luis A.

Food Engineering Department, University of Bío-Bío
Av. Andrés Bello S/N, P.O. Box 447, Phone: (56) 42 253095, Fax: (56) 42 253066,
Chillán , Chile
lsegura@ubiobio.cl

SUMMARY

In this work, we present the results of using Monte Carlo simulation to evaluate isothermal drying of non-hygroscopic liquid-wet porous media. Porous media are represented by two-dimensional networks of cubic pore segments that are connected by narrow throats of square cross sections; the radius of each throat is randomly chosen from a given pore size distribution. Three kinds of mechanisms are considered: evaporation, hydraulic flow and diffusivity of solids (sugar) in water. Initially, the network is fully saturated with wetting liquid solution, sugar dissolved in water for instance. Evaporation takes place by allowing the liquid to evaporate from an open side of the network. The other sides of the network are considered sealed. The drying front, i.e., the liquid-vapor interface, advances during drying. The process is considered to be under isothermal conditions; thus mass transfer controls evaporation. Under these conditions, capillary forces dominate over viscous forces and the drying is considered a modified form of invasion percolation. When the water is evaporated from the throats and pore bodies, a sucrose-water solution remains at the corners, allowing for hydraulic connection throughout the network at all times. At each step of the process, a single meniscus moves through the pore segment where the displacing force is largest. A primary trait of fluid interface motion is the Haines jump, which results from unstable configurations. In a Haines jump, either local evaporation or viscous flow removes water from a pore body or a group of pore bodies and throats. Initially the porous medium is filled with the solution at a given concentration and as drying progresses the water is replaced by air by two fundamental mechanisms: evaporation and pressure-gradient-driven liquid flow. Determination of the mechanism prevailing at any given stage of the drying process requires calculation of evaporation and drainage times. That is, each simulation step involves the solution of three systems of equations; one for the pressure field in the vapor phase, other for the pressure field in the liquid phase and a third for the solutes' concentration in the liquid phase. Here we report results of the distribution of liquid, solids, and vapor as drying advances, and liquid permeability and vapor diffusivity as a function of liquid saturation.

INTRODUCTION

A better understanding of drying is essential to delineate the optimum process. We focus on studying the influence of solutes dissolved into the liquid phase during drying, mainly sugar dissolved into water.

Some efforts have been made to study the drying and deposition in a multiphase multicomponent medium using the classical theory (Younis, et al. 2001; Farkas et al. 1991; Huinink, et al. 2002; Sghaier, et al. 2007). Younis et al. (2001) experimentally and theoretically studied the drying process of an initially fluid multiphase component medium.

The classical theory is based on phenomenological approaches, in which the porous medium is continuum. And the dependent variables like moisture content are volume-averaged quantities and the relation of fluxes to gradients is through empirical coefficients (Whitaker, 1977). These approaches essentially ignore the effect of the pore microstructure and its effect on drying. At the pore-level, drying mechanisms are strongly dependent on pore geometry, topology and physicochemical composition of the pore walls. Also the liquid-vapor distributions at pore-level depend on temperature, interfacial tension and the concentration of the liquid phase. Changes in concentration of liquid phase produce changes in interfacial tension, density, viscosity, vapor pressure, etc. Although relatively recent, the use of pore-network simulations in the context of liquid-vapor change in porous media has led to a significant improvement in understanding the physics.

The main contributions in the area of the pore-level modeling of isothermal drying of rigid porous media are listed. Daian and Saliba (1991) and Nowicki *et al.* (1992) proposed the first network model to determine macroscopic transport parameters, namely relative permeability of liquid and effective diffusivity of vapor, and their dependency on liquid saturation and history of drying. Prat and *co-workers* first (1993, 1998) and Yiotis and *co-workers* later (2001, 2006) developed a pore network model of drying combining percolation concepts and calculating diffusive transport of vapor in the gas phase. These two groups studied drying patterns and drying fronts both theoretically and experimentally. More recently Segura and Toledo (2005a, 2005b, 2005c) and Segura (2007) proposed a network model of drying, accounting for drainage and evaporation as competing mechanisms of liquid removal, liquid wedges flow, and capillary-pressure-gradient-driven shrinkage. They also investigated the effects of network dimension, pore size distribution, pore shape, and gravity on saturation distributions and effective properties of vapor and liquid.

Freitas and Prat (2000) developed a pore-network model of evaporation of a binary liquid mixture into a ternary gas phase. They studied the influence of surface tension gradients induced by composition variations of the liquid on the phase distribution within a capillary porous media. Their results are very important in oil recovery related problems. However, there are a lot of problems related to drying of foodstuff, wood, gels, clays, and granular materials where in general the composition of the liquid phase depends on solutes dissolved into the liquid (e.g. sugar or salt in water). More recently, Sghaeir et al. (2004) presented a preliminary model of drying process in the presence of salt at pore-scale. Their model is based on Prat's preliminary works (1993, 1998).

In the present work, we consider the effect of liquid films on drying, the evaporation of a group of pores (Haines Jump) and, the effect of diffusion of a solute in the liquid phase at pore-scale. Also, we determine the vapor diffusivity and liquid permeability as drying occurs.

MATERIALS AND METHODS

Porous media are represented by rigid two-dimensional square and three-dimensional cubic networks of prismatic pore bodies connected by narrow pore throats of rectangular cross section circumscribing circles of given radii and depth.

Initially, the network is fully saturated with a given solution (sucrose-water solution). Evaporation takes place by allowing the liquid to evaporate into the air from an open edge

of the 2D network. The other edges of the network are sealed. Menisci movement is considered quasi-static and capillary-controlled. Liquid accumulation in pore corners allows for liquid connectivity throughout the network no matter how high the capillary pressure is. Details of pore network and drying model were presented in a previous work (Segura and Toledo 2005b, Segura and Toledo 2005c).

Fick's first law defines the effective diffusivity of the evaporating species in the gas phase (Segura and Toledo 2005b, Segura and Toledo 2005c).

$$D_v = \frac{Q_v}{A}\left(\frac{RTd}{M}\right)\left(\frac{L}{\Delta p}\right)_v \quad (1)$$

Where Q_v is the volumetric flow rate of the evaporating species in the gas phase, M and d are respectively the molecular weight and density of the evaporating species, R is the ideal gas constant, T is the temperature, $(\Delta p/L)_v$ is the pressure gradient on vapor in the direction of the main flow, and D_v is the vapor effective diffusivity. Darcy's law defines the hydraulic conductivity of the liquid,

$$k_l = \frac{Q_l}{A}\mu_l\left(\frac{L}{\Delta P}\right)_l \quad (2)$$

where Q_l is the volumetric flow rate of the liquid, μ_l is the liquid viscosity, A is the cross-sectional area of the porous medium, $(\Delta p/L)_l$ is the pressure gradient on the liquid in the direction of the main flow, and k_l is the effective hydraulic conductivity of the liquid.

RESULTS AND DISCUSION

Results are presented for 2D pore networks of pore bodies connected by narrow pore throats distributed by log-normal distribution. Networks are disposal horizontally; thus gravity is not a factor and we use a solution of sucrose and water. Results correspond to 95% confidence intervals around the mean of 10 realizations of the pore size distribution, i.e., with 10 different seeds.

Simulations are run at ambient conditions (20 °C). The gas phase is air and the evaporating species is water. We consider the changes of liquid viscosity, surface tension, and vapor pressure at liquid interface with the liquid composition changes (for details to see SanMartín and Segura, Submitted).

In figure 1, we compare the drying curves of liquid pure (water) and sucrose-water solution. From figure 1, we observe that from the beginning of drying until almost 50% of liquid saturation, the pure liquid network is dried faster than the sucrose-water solution network; this is because the partial vapor pressure for a pure liquid is greater than the partial vapor pressure for a sucrose-water solution. At the end of drying, the drying times for both cases are very similar, this phenomenon occurs because the main resistance of drying comes from transport vapor through the network and not from the difference between vapor partial pressure and for both cases the resistance to vapor transport through the networks are very similar.

Figure 2 shows maps of drying fronts and concentration changes during drying at different network liquid saturation (S_l). The left column displays a sequence of images of the drying front obtained with our model. Regions filled with water vapor are shown in black; regions filled with sucrose-water solution are shown in white. The right column displays a sequence of images of sucrose-water concentration at the same liquid saturation of drying fronts (left column). Initially, the sucrose-water concentration is uniform and equal to 5 (mol/m^3) and are shown in violet, as drying occurs and sucrose concentration increases the color changes from violet to white that correspond approximately to 60 (mol/m^3). From this figure it is possible to see the advance of sucrose-water concentration. Drying occurs mainly due to abrupt Haines Jumps, then at each step of drying a group of pore bodies/throats are dried and the respective sucrose quantity associated with the eliminated water on each Haines Jump remain at all liquid-gas interfaces generated by the Haines Jump, including liquid films at corners. Then a sucrose concentration gradient appears in all interfaces and the back-diffusion process occurs as drying proceeds. From Figure 2 it is possible to see the sucrose concentration gradient movement as drying advances. Initially, drying occurs in a few pores bodies/throats located near to the open surface and the sucrose concentration in those dried pores bodies/throats is higher (white regions) as can be observed from the Figure. Then, as drying advances and a greater group of pores are simultaneously dried, the liquid-gas interfaces goes up and the sucrose concentration is not so high. Another important aspect to be considered is that the sucrose diffusion process in liquid films (pore corners) is not very important, as the majority of sucrose diffusion movements occurs in the liquid-filled pores' direction (back-diffusion effect) due to the sucrose concentration gradient being higher in this direction.

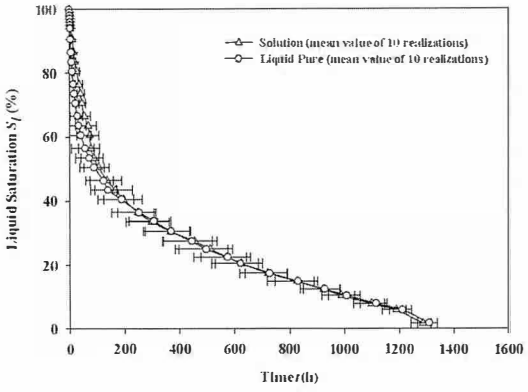


Figure 1: Drying curves both liquid pure (water) and sucrose-water solution

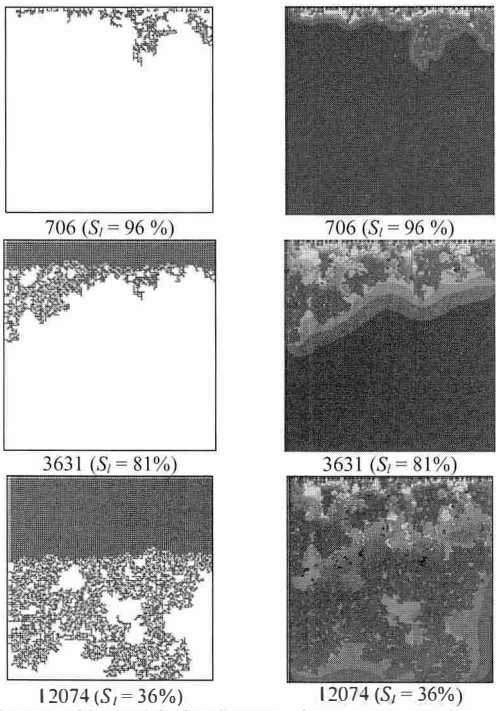


Figure 2: Maps of drying fronts and concentration changes during drying at different network liquid saturation (S_l) and throats dried.

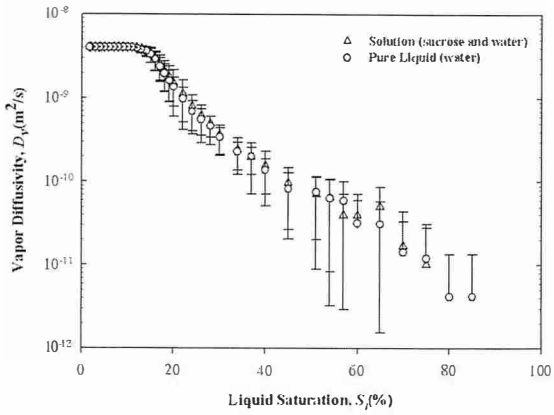


Figure 3: Vapor diffusivity for pure liquid (water) and sucrose-water solution.

Figures 3 and 4 display network vapor diffusivity and liquid conductivity as function of liquid saturations. Figure 3 shows that the influence of sucrose is not important in vapor diffusivity, because this parameter mainly depend of the liquid-vapor distributions in the network.

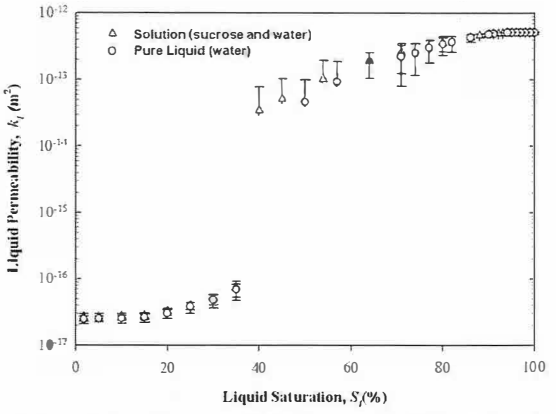


Figure 4: Liquid permeability for pure liquid (water) and sucrose-water solution.

Figure 4 shows that the liquid permeability only depend of liquid-vapor distribution and pore-structure of the network and not depend on sucrose quantity present in the solution.

CONCLUSIONS

We have presented a network model of drying that includes the effect of sucrose-water solution. Also we have reported drying curves, maps of liquid-vapor distribution, vapor diffusivity and liquid permeability as drying occurs.

ACKNOWLEDGEMENTS

Financial support from CONICYT-Chile through project FONDECYT No11060081 and from the Research Direction of University of Bio-Bio through project DIUBB 053921 2/R is greatly appreciated. We thank to Professor Miriam Dupas for bringing the work of Norrish (1967).

REFERENCES

Daian, J.F. and Saliba, J. 1991. Determination d'un réseau aleatoire de pores pour modéliser la sorption et la migration d'humidité dans un mortier de ciment. *Int. J. Heat and Mass Transfer* 34(8): 2081-2096.

Farkas, I., Lampinen, M., Ojala, K. 1991. Water flow and binder migration during drying of coated paper. Drying Technology 9 (4): 1010-1049.

Freitas, D.S., Prat, M. 2000. Pore network simulation of evaporation of a binary liquid from a capillary porous medium. Trans. Porous Med. 40: 1-25.

Huinink, H.P., Pel, L., Michels, M.A.J. 2002. How ions distribute in a drying porous medium: A simple model. Phys. Fluids 14 (4):1389-1395.

Laurindo, J. B., Prat, M. 1998. Numerical and experimental network study of evaporation in capillary porous media. Drying rates. Chem. Eng. Sci. 53 (12): 2257-2269.

Nowicki, S. C., Davis, H. T., Scriven, L. E. 1992.Microscopic Determination of Transport parameters in Drying Porous Media. Drying Technology 10 (4): 926-946.

Prat, M. 1993. Percolation model of Drying under isothermal conditions in porous media. Int. J. Multiphase Flow 19 (4): 691-704.

SanMartin, F.A., Segura L.A. 2007. Solute-liquid effects of using a pore-scale drying model of non-hygroscopic porous materials. (Submitted to Transport in Porous Media).

Segura, L.A., Toledo, P.G. 2005a. Pore-level modeling of isothermal drying pore networks. Evaporation and viscous flow. Latin American Applied Research **35:** 43-50.

Segura, L.A., Toledo, P.G. 2005b. Pore-level modeling of isothermal drying pore networks. Accounting for evaporation, viscous flow and shrinkage. Drying Technology 23: 2007-2019.

Segura, L. A., Toledo, P.G. 2005c. Pore-level modeling of isothermal drying pore networks. Effects of gravity and pore shape and size distributions on saturation and transport parameters. Chem. Eng. J. 111: 237-252.

Segura, L.A. 2007. Pore-level modeling of isothermal drying of pore networks. Liquid and vapor diffusivity. Drying Technology 25 (12).

Sghaier, N., Prat, M., Nasrallah, S.B. 2004. Drying processes in the presence of salt, pore-scale modeling, Proceedings of ICAMP, pp. 573-578, 24-27 May, Évora, Portugal.

Sghaier, N., Prat, M., Nasrallah, S.B. 2007. On ions transport during drying in a porous medium. Transp. Porous Med. 67 : 243-274.

Whitaker, S. 1977. Simultaneous heat, mass and momentum transfer in porous media: A theory of drying. Advances in Heat Transfer, vol 13, p 119-203, Academic Press, New York.

Yiotis, A.G., Stubos, A. K., Boudouvis A. G., Yortsos, Y. C. 2001. A 2-D pore-network model of the drying of single-component liquids in porous media. Advances in Water Resource 24: 439-460.

Yiotis, A. G., Tsimpanogiannis, I. N., Stubos, A. K., Yortsos, Y. C. 2006. Pore-network study of characteristic periods in the drying of porous materials. J. Colloid Interface Sci. 297: 738-748.

Younis, M., Bruneau, D., Rochery, V. 2001. Drying and deposition in a multiphase multicomponent medium: an experimental analysis and a new modeling approach. Drying Technology 19 (6): 937-964.

EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES OPERATIVAS EN LA ULTRAFILTRACIÓN DE EXTRACTO DE PECTINA

Stechina, D.[(1)(*)] ; Iribarren, O.[(2)]; Pauletti, M.[(3)]; Lesa, C.[(1)], Maffioly, R.[(1)] y Bogdanoff, N.[(1)]
[(1)]Facultad de Ciencias de la Alimentación – U.N.E.R. - Monseñor Tavella 1450
3200 Concordia – Entre Ríos Rep. Argentina - [(*)] E-mail damianeliseo@yahoo.com.ar
[(2)]Universidad Tecnológica Nacional – INGAR – CONICET - Avellaneda 3657 – 3000 Santa Fe
[(3)]Facultad de Ingeniería Química – I.T.A. – UNL – Ciudad Universitaria – Paraje el Pozo – 3000 Santa Fe

Palabras Claves: Modelado y simulación - Cítrico – Pectina – Concentración – Ultrafiltración

RESUMEN

Los procesos de membrana tienen múltiples aplicaciones en la elaboración de alimentos. En este trabajo se analiza la influencia de las variables operativas de ultrafiltración en el flujo de permeado instantáneo (F_P) y el requerimiento energético en la concentración de extracto pectínico obtenido de cáscara de limón.
Se trabajó con un módulo de laboratorio DDS, modelo LAB 20-772 provisto de membranas de material sintético cuyo poder de corte es 9 kDa, lo que da una resistencia intrínseca de membrana de $3*10^{13}$ m^{-1}.
Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la caída de F_P motivado por la presencia de la resistencia debido a la polarización, la influencia de las variables operativas en el F_P y brindan la información necesaria para estimar el requerimiento energético en función del caudal de alimentación, a temperatura constante, el cual puede compararse con el incremento de concentración de pectina en la corriente del retenido respecto a la concentración del extracto inicial.

INTRODUCCIÓN

El proceso convencional de obtención de pectina cítrica involucra etapas de concentración de extracto por evaporación a presión reducida, precipitación del concentrado con alcohol o acetona, filtración y deshidratación del precipitado. El consumo de precipitantes orgánicos, la necesidad de su recuperación y extremas condiciones de trabajo para evitar poluciones ambientales llevan a buscar procesos alternativos que puedan ser optimizados para la obtención de este producto.
Los procesos de membrana se han desarrollado con éxito para proveer alternativas tecnológicas en la concentración de sistemas líquidos, como la obtención de agua potable, concentración de leche o suero de quesería por osmosis inversa; pero además para desarrollar nuevos productos, como concentrados proteicos de suero de quesería, concentración de plasma bovino; o simplemente actualizar procedimientos de elaboración de productos alimenticios, como por ejemplo elaboración continua de yogur o quesos, clarificación continua de jugos, entre otros, aplicando ultrafiltración.
En la obtención de pectina cítrica se propuso un cambio tecnológico que introduce la concentración por ultrafiltración de extracto pectínico y posterior deshidratación del concentrado obtenido (Stechina D. 2005). La aplicación de los procesos de membrana en la obtención de pectina introduce un cambio sustancial de equipamiento respecto al procedimiento tradicional, al mismo tiempo que elimina el uso de precipitantes orgánicos altamente nocivos, e induce un sistema elaboración más limpio, ya que los efluentes que se puedan obtener son fácilmente acondicionables para su reutilización.
Las variables operativas que permiten optimizar el proceso de ultrafiltración son temperatura, presión transmembrana y velocidad de alimentación. (Alvarez Prada, V., 1996; Cheyran, M., 1996; Stechina, D.; 2005); y se requiere evaluar la influencia de estas variables en el flujo de permeado, estimar la variación de la pérdida de carga total con el caudal de alimentación y calcular

el requerimiento energético a temperatura constante, para distintos caudales de alimentación y presiones de trabajo para avanzar en la optimización y modelización del proceso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia Prima: Se trabajó con extracto pectinico obtenido en laboratorio por extracción ácida de cáscara de limón acondicionada y deshidratada según el método descrito por Stechina D. y otros (2006)

Determinaciones analíticas: A las muestras requeridas por el ensayo experimental se le determinó:

* Sólidos insolubles en alcohol (método de precipitación en alcohol) a muestras de extracto inicial, y retenido final.. Resultados: gr S.I.A./gr material
* Peso específico en las muestras de los extractos y permeado (Método del picnómetro)
* Viscosidad en las muestras de los extractos y permeado (Viscosímetro Brookfield)

Equipo experimental. El proceso de ultrafiltración se llevó a cabo con un módulo de laboratorio DDS, modelo LAB 20 – 072, provisto de membranas de material sintético, cuyo poder de corte es de 9 kDa. Este equipo tiene manómetros en la línea de alimentación y salida de concentrado, variador de caudal de alimentación y válvula de ajuste de caudal de retenido. Adicionalmente se instaló in intercambiador de calor para ajustar la temperatura de trabajo.

Actividad experimental. La ecuación de Darcy permite conocer la influencia de las variables operativas (temperatura, presión y velocidad de circulación de fluido) en el flujo de permeado instantáneo:

$$F_P = \Delta P \div (\mu * (R_M + R_P)) = k * \ln\left(\frac{C_m}{C_b}\right) \qquad \text{Ec. 1}$$

donde: F_P = Flujo de permeado instantáneo (lt/(hm^2))
ΔP = diferencia de presión transmembrana (Bar)
η= Viscosidad del perneado (cp)
R_M = Resistencia intrínseca de membrana (m^{-1})
R_P = Resistencia debido a la polarización (m^{-1})
k = Coeficiente de transferencia de materia
C_m = Concentración en la superficie de la membrana
C_b = concentración en el seno de la solución

Todas las experiencias han sido llevadas a cabo con recirculación total de retenido y permeado, y el intervalo de las variables operativas fueron seleccionadas conforme a los resultados obtenidos en la Tesis de Magister de Stechina D. (2005).

Cada experiencia tiene una duración de 60 minutos para obtener la siguiente información:

- Intensidad en la disminución inicial en el flujo de permeado motivada por la presencia de la resistencia debido a la polarización. En este caso se determina F_P y ΔP cada 5 minutos durante los primeros treinta minutos de trabajo.
- A los 60 minutos se determina F_P y ΔP y se obtiene muestras del retenido y permeado para las determinaciones analíticas antes señaladas

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Influencia de la presión en el flujo de permeado

Se fijó un caudal de recirculación de 382 kg/h para evaluar la variación del F_P con el tiempo a 40 °C y distintas presiones. (Ver Fig. 1).

En ella se puede apreciar la disminución del F_P en los primeros instantes de trabajo debido a la presencia de R_P. La máxima variación se produjo a 4,65 Bar pasando de 19,69 lt/(h*m^2) a 13,61 lt/(h*m^2)

En la fig. 2 se visualiza la influencia de ΔP en F_P a los sesenta minutos de recirculación y a dos temperaturas distintas. A presiones mayores a 4,5 Bar, el F_P se incrementa con incrementos de ΔP en forma prácticamente lineal, y para cada valor de presión la respuesta es mayor a 50 °C que a 40 °C. En este caso el F_P está gobernado por ΔP (Ec 1)

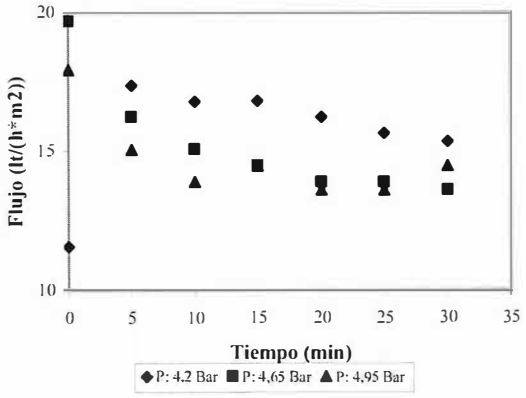


Fig. 1 Variación del flujo de permeado con el tiempo a distintas presiones. (Caudal: 382 kg/h – Temperatura: 40)

También se aprecia que el F_P máximo a 50°C es de 24 lt/(h*m^2) cuando ΔP es de 4,95 Bar, y mayores incrementos de presión no conducen a un aumento en el F_P. La concentración de macromoléculas en la superficie de la membrana llegó a su valor de saturación ocasionando la presencia real de una capa de gel. En este caso el F_P esta controlado por el coeficiente de transferencia de materia (Ec. 1) y posteriores incrementos de presión no provocarán aumentar el F_P

b) Influencia de la temperatura en el flujo de permeado

Se fijó un caudal de recirculación de 382 kg/h para evaluar la variación del F_P con el tiempo a distintas temperaturas presiones. (Ver Fig. 3).

Si bien, como en caso recientemente analizado, el F_P disminuye en los primeros instantes de trabajo, el aumento de temperatura provoca un incremento en F_P, inicial y de estabilización, debido a una disminución de viscosidad del permeado (Ec. 1) y al aumento del coeficiente de difusión con la temperatura. (Ver fig. 4). A 60 °C, el F_P alcanza después de una hora de recirculación, a 17 lt/(h*m^2).

c) Influencia del caudal de recirculación en el flujo de permeado.

A temperatura de 50 °C se evaluó la variación de F_P con el tiempo a distintos caudales y presiones. (Ver Fig. 5). A mayores caudales se incrementa F_P alcanzando inicialmente a 25,193 lt/(h*m^2) cuando el caudal es de 468 kg/h.

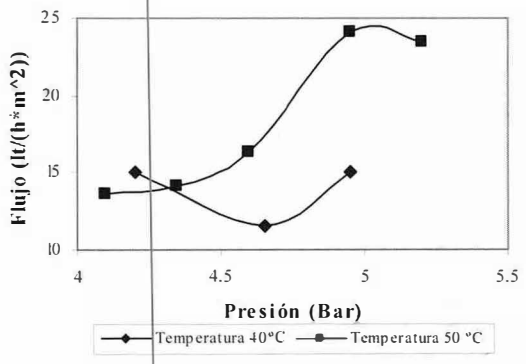


Fig. 2 Variación del flujo de permeado de extracto pectínico con la temperatura y la presión. (Caudal: 382 kg/h)

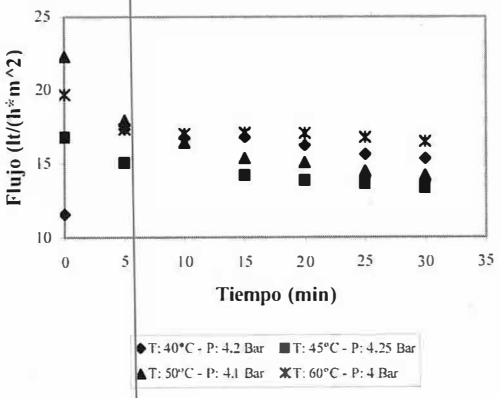


Fig. 3 Variación del flujo de permeado con el tiempo distintas presiones y temperaturas. (Caudal: 382 kg/h)

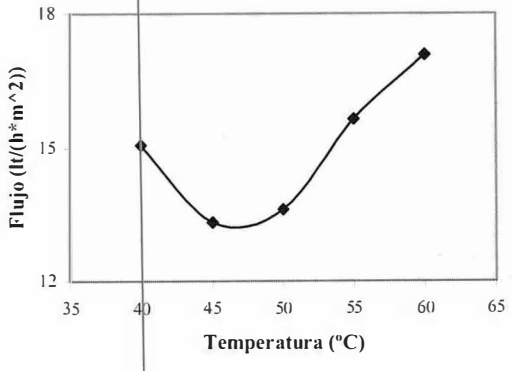


Fig. 4 Variación de F_P con la temperatura. (Caudal: 382 kg/h)

a) **Calculo del requerimiento energético**

El consumo energético para distintos caudales de alimentación, usando la ecuación planteada por Alvarez Prada V. (1996) y Cheyran M. (1986), es:

$$E = (P_s - P_e) \times Q \div (F_p \times A) \qquad \text{Ec. 2}$$

donde: E = Energía (kW.h/m^3)
$P_s - P_e$ = Caída de Presión el el módulo (Pa)
Q = Caudal de alimentación(m^3/s)
F_P = Flujo de perneado instantáneo (m^3/(m^2.h)
A = Area de membrana (m^2)

La variación de la energía se visualiza en la fig. 6 y la pérdida de carga en la fig 7, ambos en función del caudal de alimentación.

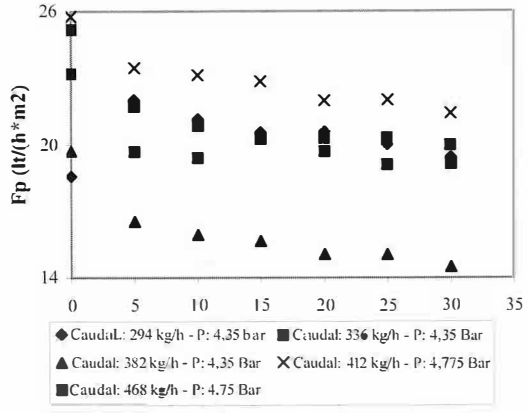


Fig. 5 Variación del flujo de permeado con el tiempo distintos caudales y presiones. (Temperatura: 50 °C)

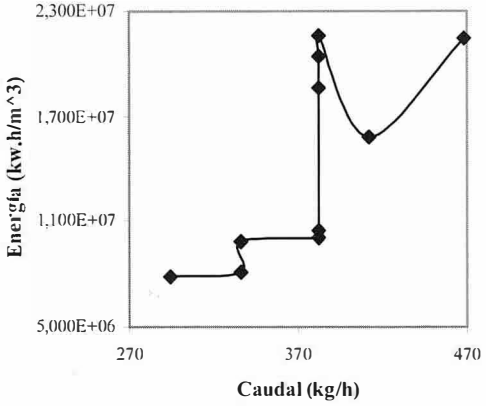


Fig. 6 Consumo energético en función del caudal

CONCLUSIONES

Los procesos de membrana se pueden incorporar perfectamente como tecnología aplicable a la obtención de pectina a partir de cáscara de fruta cítrica. Entre las conclusiones más relevantes podemos señalar:

- La disminución máxima del F_P para cualquiera de las tres variables operativas (presión, temperatura y caudal de alimentación) no supera el 25 % del valor inicial, durante los treinta primeros minutos de procesamiento.
- Un incremento en el caudal de alimentación provoca un aumento en el F_P, concordante con los datos bibliográficos que señalan que en flujo turbulento se reduce la resistencia debido a la polarización en la superficie de la membrana.
- Se puede obtener clara información respecto al valor de presión máxima controla el F_P, y a partir de que presión el rendimiento está controlado por la transferencia de materia (ΔP: 5,2 Bar, a T: 50°C y caudal de alimentación de 82 kg/h.
- La temperatura influye directamente en la variación del F_P. Por lo tanto, la limitante en esta variable estaría dada por la estabilidad térmica del producto.
- Con respecto al requerimiento energético, además de su influencia directa con el caudal de alimentación, también la relación de concentración de pectina en la corriente de concentrado, respecto de la corriente de alimentación, varía en el mismo sentido.

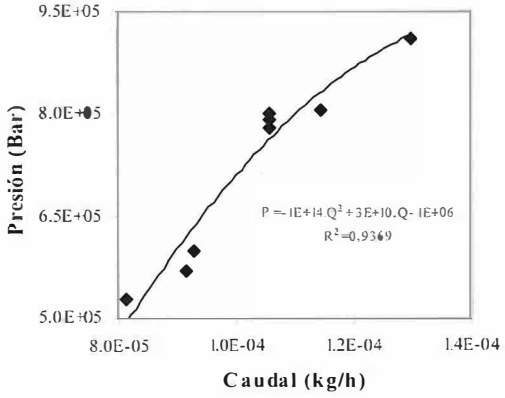


Fig. 7 Variación de la pérdida de carga con el caudal

AGRADECIMIENTOS

- Este trabajo se concretó gracias al apoyo financiero de la SICTFRH del la U.N.E.R. al proyecto de investigación PID 8030.
- A las Autoridades de I.N.T.I.-C.T.I.L, quienes facilitaron en préstamo el equipo de ultrafiltración LAB DDS 20 para la realización de las actividades experimentales.
- Al Dr. José Costa Sansaloni, de la Universidad Politécnica de Valencia, por su invalorable colaboración como tutor de Tesis de Doctorado.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ PRADA, V. (1996) "Clarificación y concentración de zumo de manzana mediante microfiltración, ultrafiltración y ósmosis inversa". Tesis doctoral. Universidad de Oviedo - España.
- CHERYAN, M. (1986). "Modelling of Ultrafiltration Processes". Chapter 4 in "Ultrafiltration Handbook". Technomic, Publishing Co. Inc. Pags: 73-126. Pennsilvania.
- STECHINA, D. 2005. "Estudios de obtención de pectina aplicando procesos de membrana". Tesis de Magíster. U.N.L.
- STECHINA D.; IRIBARREN ●.; PAULETTI M.; MAFFIOLY R. y BOGDANOFF N. 2006, "Optimización de Variables aplicables a la Extracción de Pectina" Trabajo aceptado para ser presentado en el Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos 2006. Córdoba.

CARACTERIZACIÓN DE MIELES A TRAVÉS DEL ANÁLISIS FACTORIAL MÚLTIPLE Y EL MODELAMIENTO PLS PATH

[1]Héctor René Álvarez Laverde; [2]Guillermo Salamanca Grosso

[1]UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA
DEPARTAMENTO DE ESTADÍSTICA E INVESTIGACIÓN OPERATIVA. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA. UPC. BARCELONA. (ESPAÑA).
[2]GRUPO DE INVESTIGACIONES MELLITOPALINOLOGICAS Y PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD DEL TOLIMA
IBAGUÉ-COLOMBIA

Palabras clave: **Análisis Factorial Múltiple. Miel. Modelamiento. Propiedades fisicoquímicas. PLS. Tecnología de Alimentos.**

RESUMEN

Se realizaron muestreos de miel de *A. mellifera* en las zonas visitadas de bosque húmedo montano bajo (*bh-MB*) y bosque seco montano bajo (*bs-MB*) en la campiña de Boyacá Tolima Colombia . Los resultados de las caracterizaciones de minerales, análisis sensoriales y propiedades fisicoquímicas globales de las mieles se valoran a través de un análisis factorial múltiple y el modelamiento PLS path. El documento se presenta como modelo de caracterización de matrices complejas y es aplicable en otros sistemas alimentarios.

INTRODUCCIÓN

Desde la década de los ochenta, la aplicación de métodos multivariados en la industria de alimentos se ha venido extendiendo rápidamente. Los datos y los análisis cada vez son más complejos y con mayor numero de variables, especialmente cuando se quiso incluir dentro del análisis las mediciones hechas por sistemas análisis tales como la cromatografía o la espectrografía NIR. Esto obligo a que desarrollaran métodos más fiables y robustos, así la quimiometria tuvo un desarrollo exponencial en los últimos años, gracias a la aplicación con éxito de la Partial Least Squares (PLS). Específicamente la aplicación de los métodos basados en el PLS y sus extensiones en el campo de análisis sensorial, hizo que se creara un campo de aplicación que se llamado "Sensometría". A pesar de que el PLS fue creado como una aplicación a la economía por Wold (1975), el gran campo de aplicación ha sido especialmente a la Quimiometria iniciado por Svance Wold y Martens (1980), quienes consolidaron el modelo de la Regresión PLS (PLSR) permitiendo el inicio de la Calibración Multivariada (Martes y Martens, 1989) y la quimiometria multivariada. En donde se ha aplicado tanto técnicas clásicas análisis multivariado por componentes Principales(CP), Análisis Canónico (AC), Análisis Discriminante (AD), Factorial Múltiple (FS) y otras basadas en el análisis de mínimos cuadrados parciales (PLS). Los métodos basados en el PLS han mostrado ser mucho más robustas que las clásicas, en los entornos comunes de estudio en la industria de alimentos "*muchas variables y pocas muestras*", además permite realizar los cálculos en forma rápida y eficiente, aun si hacen falta datos (Missing Data). En la última década se ha venido estudiando y desarrollando nuevos métodos de análisis especialmente para tablas múltiples o multiblocks. Este tipo de valoraciones tiene aplicaciones en análisis sensorial, donde se relaciona por ejemplo las características organolépticas, con las propiedades físico-químicas de los productos, o los análisis derivados de estudios realizados mediante espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) o de la cromatografía de gases. (Chin 1998; Westerhuis *et al*, 1998; Smilde *et al*, 2000 ; Bro 2005). Las caracterización de alimentos a través de análisis factorial múltiple y el modelamiento PLS, se vienen imponiendo en estudios de calidad de los alimentos, se conocen aplicaciones sobre valoraciones sensoriales para jugos (Tanahauns y Pagés; 2001), vinos (Pagés y Tananhaus; 2004). También se ha aplicado esta metodología en estudios de cosméticos en Francia (Guinot *et al*, 2001)

METODOLOGIA

Se realizaron muestreos de miel de *A. mellifera* en las zonas visitadas de bosque húmedo montano bajo (*bh-MB*) y bosque seco montano bajo (*bs-MB*) en la campiña de Boyacá Colombia. Los muestreos fueron completamente aleatorios y para un sobre un total de 24 tipos de miel, sobre las cuales se realizaron determinaciones y caracterizaciones fisicoquímicas globales (pH, Conductividad, Cenizas, Acidez y propiedades térmicas), el contenido de cloruros, fosforo total, además de microelementos Sodio, Potasio, Calcio, Magnesio y Zinc. Las caracterizaciones organolépticas se hicieron a través de un panel sensorial usando una escala hedónica de 1 a 5 para los parámetros de aroma, sabor, textura, palatabilidad, color y aceptabilidad, con lo que se estructuraron bases de datos que permitieran establecer las correlaciones de las variables y los parámetros estudiados. Las mieles provenían de las localidades de Arcabuco (3), Belén (2), Cerinza (1), Duitama (3), Firavitoba (1), Mongui (1), Nuevo Colon (1), Paipa (2), Paz del Rio (2), Santa Rosa (1), Sogamoso (6) y Sotaquirá (1).

Con la información se realizó un estudio de las técnicas clásicas de análisis complementadas con técnicas basadas en el PLS y así generar una metodología que permita cuantificar la relación que existe entre los distintos bloques de variables que caracterizan las mieles y cuantificar lo que aporta los bloques de variables fisicoquímicas y del contenido de minerales a la valoración sensorial hecha de cada muestras de cada zona. En la valoración de la información se uso la herramienta XLSTAT Versión 2007.6 de Addinsof™ y Minitab15™ cuando fue necesario. La estructura de los datos, se ajusto de manera que estas quedasen conformadas en una sola tabla conjunta de tres subtablas, donde las filas corresponden a las muestras de miel que se tomaron en cada una de lasa zonas estudiadas y las columnas corresponden a las variables características de las muestras (Figura 1), con el objetivo es hacer análisis por separado y global conjunto.

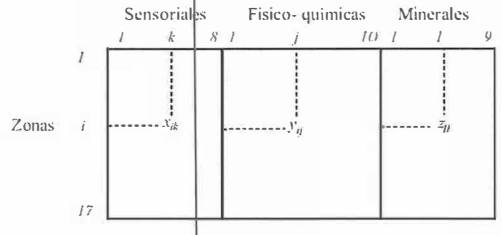


Figura 1. Relación de datos conjunta de caracterización de mieles

Para el análisis de los datos se usaron dos técnicas que se complementa una con la otra, que son el Análisis Factorial Múltiple (AFM) y el Modelamiento PLS Path. El AFM permite el tratamiento simultáneo de tablas de datos referidas al mismo conjunto de individuos, pudiendo tener diferente número de variables y de distinta naturaleza (cualitativa o cuantitativa), aunque al interior de cada una de las tablas las variables deben ser de la misma naturaleza (Escofier y Pagés, 1992), donde se busca explicar las estructuras comunes de un conjunto de k grupos o bloques de variables organizados en tablas, sobre los mismos individuos o muestras. Este método permite visualizar gráficamente las estructuras comunes con respecto a las variables y los individuos. El (AFM), es un método que combina el análisis de componentes principales (donde se busca de a direcciones de máxima inercia) y el análisis de correlación canónico (búsqueda de factores comunes). Vale indicar que los métodos tradicionales (CP), Análisis Factorial de Correspondencias, (AFC) y Análisis de Correspondencias Múltiples, (ACM), sólo permiten estudiar las relaciones entre las variables de la misma naturaleza, todas cuantitativas o todas cualitativas, lo que restringe su utilización, aunque en ocasiones, es posible recoger gran cantidad de información que es interesante relacionar, aunque mida aspectos heterogéneos. Esta información puede ser estructurada en diferentes grupos y su análisis mediante (AFM), proporciona una visión más rica del fenómeno a estudiar. El (AFM), se basa en la metodología de Análisis de Componentes Principales y actúa dos etapas. Primero se hace un análisis de cada tabla por separada y luego se hace un análisis global donde se yuxtaponen las tablas en forma ponderada. Para describir el proceso se va a utilizar la siguiente notación: Consideremos que las variables medidas sobre n individuos (filas) están agrupadas en m grupos (tablas), cada una con K_j con j=1, 2, …, m. Vamos a notar como v_k cada variable del grupo K_j, con k =1 ,…, K_k. (Figura 2)

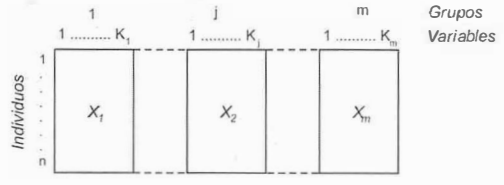


Figura 2. Estructura y relación de grupos de componentes e individuos en un análisis AFM.

El esta secuencia, el método consiste en dos etapas de análisis, en la primera, se realiza un Análisis de (CP) a cada tabla X_j por separado. Las variables x_k tiene un peso $w_k = 1/\lambda^j_1$ donde λ^j_1 es el primer valor propio del análisis de componentes principales separados del grupo j. Esto es equivalente a reemplazar en cada tabla de datos X_j por la tabla:

$$\left(1/\sqrt{\lambda^j_1}\right) X_j \qquad (1)$$

Por lo tanto, si se realiza un análisis de componentes principales para el grupo K_j con los pesos w_k, el máximo valor propio de cada grupo es 1. Este peso balancea entre los varios bloques j. El balanceo de los bloques de variables permite realizar el análisis global en un mismo espacio y hacer comparable la variabilidad de cada una de las tablas por separado. En la segunda etapa, se aplica el análisis de correlación canónico generalizado de Carroll a la tabla compuesta por las variables ponderadas por los pesos w_k. El análisis de correlación canónica generalizado de Carroll expresa las relaciones entre los K grupos a través un conjunto de variables z_1, z_2, … ,z_k llamadas variables canónicas que tienen la propiedad de tener una correlación máxima entre las variables del grupo j y la variable canónica z_j, las variables canónicas son variables latentes. La medición de las relaciones entre cualquier variable z y el grupo K_j es definida como:

$$L_g(z,K_j)=\sum_{k=1}^{K_j} w_k cor^2(z,v_k)=\frac{1}{\lambda_1^j}\sum_{k=1}^{K_j} cor^2(z,v_k) \qquad (2)$$

Donde v_k son las variables estandarizadas del grupo k. De esta forma la variable canónica general z_s es definida maximizando:

$$\sum_j L_g(z_s,K_j) \qquad (3)$$

El análisis canónico generalizado permite eliminar el efecto de cada una de las tablas en particular y permite establecer las relaciones entre los bloques y dentro de bloques. El análisis se realiza a partir de las proyecciones en los planos factoriales.

Los modelos (PLS) Path, son un tipo de modelos que han sido la evolución de los modelos de ecuaciones estructurados (MME). Los modelos de ecuaciones estructurados tienen la característica que permite relacionar bloques de variables y se usan para estudiar datos que son presentados en forma de J bloques de variables observadas a un mismo individuo o muestra. En el modelamiento PLS Path se asume que cada bloque de variables puede ser resumida mediante una variable simple llamada variable latente (VL) y que existen relaciones lineales entre las variables latentes. Presentaciones detallada del modelamiento PLS puede ser encontrada en Wold (1985), Lohmöller (1987, 1989), Tennenhaus (1999) y Tennenhaus el al (2005). El modelamiento PLS Path es una extensión de la regresión (PLS), basada en el algoritmo heurístico NIPALS (Nonlinear iterative partial least squares), para el cálculo de valores propios. En PLS, se combinan características del análisis (CP) y Análisis de Regresión Múltiple (ARM), De Jong, (1993). Asi las condiciones, los datos consisten de J bloques de variables $X_j=\{x_{j1}, \ldots, x_{jk}\}$ observadas en n sujetos o muestras.

Las variables x_{jh} son llamadas variables manifiestas (VM) y se suponen que están centradas (que se las ha restado la media de la variable). La notación X_j es mantenida para la matriz de datos correspondientes a las observaciones de las variables del j-ésimo bloque. Cada bloque de variables X_j permite estimar una variable latente ξ_j que tiene media cero y desviación estándar uno. Existe dos formas de conectar la variable manifiesta x_{jh} en el bloque j a su variable latente ξ_j: las forma formativas y reflexivas, ellas estan bien descritas en Tananhaus *et al*. 2005. En la forma reflexiva, la variable latente ξ_j permite expresar a cada variable manifiesta x_{jh}.

$$X_{jh}=\lambda_{jh}\,\xi_j+\varepsilon_j \qquad (4)$$

En efecto ε_{jh} es un término aleatorio con media cero y no correlacionados con la variable latente ξ_j. En la forma formativa, la variable manifiesta x_{jh} permite estimar la variable latente ξ_j.

$$\xi_j=\sum_h \lambda_{jh}x_{jh}+\varepsilon_j \qquad (5)$$

Aquí, ε_j es un término aleatorio con media cero y no correlacionado con las variables manifiestas x_{jh}. Las variables manifiestas x_{jh} producen la variable no observada latente ξ_j. Las relaciones estructurales suponen que existe una relación lineal entre las variables latentes de diferentes bloques, de la forma siguiente:

$$\xi_j=\sum_{i\neq j}\beta_{ji}\xi_i+\zeta_j \qquad (6)$$

Donde ζ_j es un termino aleatorio con media cero y no están correlacionadas con las variables latente ξ_i que aparecen en la ecuación (3). Algunos coeficientes b_{ji} son estructuralmente nulos y la correspondiente variable ξ_i no aparece el modelo (3).

Ahora se describe el procedimiento de estimación de las variables latentes ξ_i de los datos. Existen dos tipos de estimación de variables latentes ξ_i: estimación externa (a partir de las variables manifiestas) y la estimación interna (a partir de estimaciones externas de otras variables latentes). La estimación externa Y_j de la variable latente ξ_i esta definida por:

$$Y_j = (X_j w_j)^* \qquad (4)$$

En esta formula y en siguiente párrafo, el asterisco significa que la variable que esta dentro del patentices esta estandarizada. La estimación interna Z_j de ξ_i está definida por:

$$Z_j = \left[\sum_{\substack{i:\beta_{ij}\neq 0 \\ \beta_{ji}\neq 0}} e_{ji} Y_i \right]^* \qquad (5)$$

Ahora describiremos las formas de calculo de de w_j y los e_{ji}. Existen dos formas de cálculo de los pesos w_j: modos A y B. Tananhaus y Vizenso (2005) describe en detalle las dos formas de estimación.. El objetivo final del modelamiento PLS Path es la cuantificación de todas las relaciones entre las variables latentes (Bloques de variables) y entre las variables manifiestas (mediciones hechas dentro de cada bloque) y las variables latentes. El ajuste del modelo teórico esta dado por fuerza de la relación de la trayectoria que esta representada por el coeficiente Path (CP) o la predicción combinada (R^2) de sus constructor exógenos (VL) (Chin, 1998). Las estimaciones son hechas de los coeficientes de regresión β_{ji} mediante la regresión de Y_j en la Y_i correspondiente a los β_{ji} no cero.

RESULTADOS Y DISCUSION

La valoración aislada de cada una de las tablas a través de un Análisis de CP, de cada grupo de satos de la tabla principal, se observa que cada grupo tienen una dimensionalidad diferente (la inercia de cada grupo es mayor de 1). La tabla 1 muestra el resumen de las inercias (variabilidad) de cada tabla a través de los valores propios: el bloque de minerales tiene una menor dimensionalidad.

Tabla 1: Valores propios (inercia) asociados a cada ACP por separado.

Ejes	Sensoriales		Fisicoquimicos		Minerales	
	Valor Propio	% Inercia	Valor Propio	% Inercia	Valor Propio	% Inercia
1	6,687	83,23	5,651	56,5	3,464	38,49
2	0,848	10,6	1,580	15,8	1,828	20,31
3	0,246	3,08	1,166	11,7	1,035	11,5
4	0,141	1,76	0,968	9,7	0,881	9,79
5	0,100	1,25	0,493	4,9	0,820	9,11

Al realizar el análisis global (las tablas conjuntas) se encuentra que el primer plano factorial proyecta aproximadamente la mitad de la inercia global (51.4%).

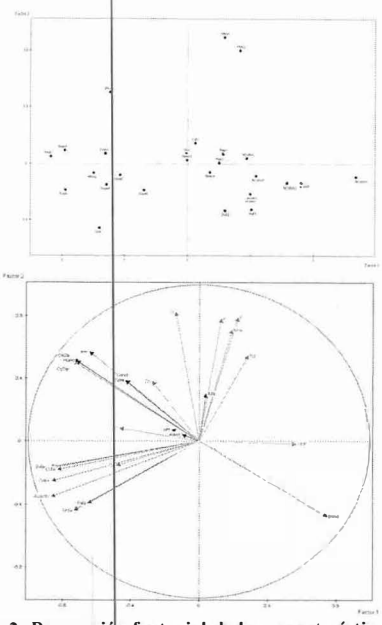


Figura 2: Proyección factorial de las características de las mieles en cada zona

El AFM construye un espacio de caracterización de miles, partiendo de los factores comunes a los aspectos sensoriales, características fisicoquímicas y los minerales, en la influencia de esos tres grupos es balanceada previamente. Los ejes factoriales están siendo afectadas principalmente por los aspectos sensoriales y los minerales (el factor 1 esta altamente correlacionada con los aspectos sensoriales y el factor 2 esta altamente correlacionado con los minerales). De lo cual podemos concluir que las mieles de Sogamoso y Mongui son muy sensoriales, las mieles de Paz de Rio, Belén y Cerinza esta muy asociada a los minerales. Las mieles de nuevo Colon y Arcabuco tienden a una mayor densidad.

Los resultados del modelamiento PLS Path permiten cuantificar el efecto que tienen las características fisicoquímicas y los minerales sobre las valoraciones sensoriales, dadas por los panelistas. La figura 3 muestra el esquema Path que se estimo por el modelo

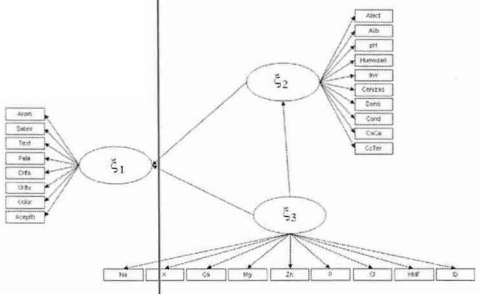


Figura 3. Diagrama Path a estimar en el modelo

Se estimaron las correlaciones Path entre variables latentes y entre las variables latentes y las variables medidas en cada bloque de variables. El buen ajuste del modelo teórico esta dado por fuerza de la relación de la trayectoria que esta representada por el coeficiente Path (CP), podemos observar que las variables latentes "propiedades físicas químicas" y "minerales" tienen una lata correlación y es significativa (0.65 y 0.76) con las propiedades sensoriales, puede concluirse que la variabilidad de la sensorialidad de las mieles esta siendo explicada por las otros bloques de variables. A su vez vemos que para estos datos obtenidos los minerales tienen una correlación baja entre los minerales y las propiedades fisicoquimicas (0.28). (Figura 4).

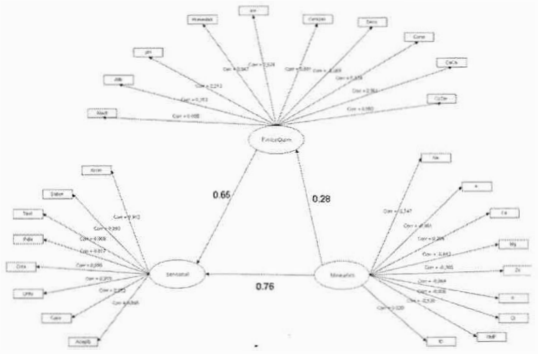


Figura 4. Estimaciones del modelo PLS Path de las mieles

Para el bloque de variables sensoriales, vemos que existe una alta correlación entre cada una de las variables sensoriales y la variable latente "sensorialidad", esto significa que las variables sensoriales explican en forma alta la variabilidad de la sensorialidad de la miel. Esto no se observa en el bloque de minerales, solo el K, Zn y P son los que tienen una alta correlación con la variable latente "minerales", los demás aportan muy poco. Esto indica la mayor dimensionalidad de este bloque de variables.

CONCLUSIONES

El análisis global de las tablas simultáneamente, permite hacer un análisis mas completo y permite establecer y cuantificar las relaciones entre grupos de vraibles y entre las variables del mismo grupo. El AFM permite caracterizar las relaciones al detalle entre los grupos y dentro de grupos, aun más permite en un momento dado hacer clasificación de las filas (zonas) y caracterizar cada clase a través de los bloques de variables y las variables individuales. El modelamiento PLS Path permite construir un modelo global y cuantificar las relaciones entre los grupos (variables latentes) y las variables de cada grupo (variables observadas). Esta es una primera aplicación de esta metodología para caracterización de mieles.

BIBLIOGRAFÍA

CHIN W. W. 1998. "The partial least squares approach for structural equation modeling" in G A. Marcoulides (ed) Modern Methods for Bussiness Research. Lawrence Eribaum Associates. pp. 295-336.

ESCOFIER, B. ; PAGE's J. 1998. Analyses factorielles simples et multiples; objectifs, me´thodes et interpre´tation, 3rd edn., Dunod, Paris.

GUINOT C., LATREILLE J Y TANANHAUS M 2001. PLS Path modelling and multiple table analysis. Application to the cosmetic habits of women in Ile-de-France, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems Vol. 58 pp: 247–259

MARTENS, H.; MARTENS, M. 2001.'Multivariate Analysis of Quality – and introduction' Wiley.

TENENHAUS M. AND ESPOSITO VINCI V. 2005. "PLS regression, PLS path modeling and generalized Procrustean analysis: a combined approach for multiblock analysis" Journal of Chemometrics. Vol 19. pp: 145-153.

WOLD H. 1985; Partial least squares. In Encyclopedia of Statistical Sciences, vol. 6, m Kotz S, Johnson NL (eds). Wiley: New York, NY, 581–591.

TENENHAUS M, HANAFI M. 2005. Use of PLS path modeling for the analysis of multi-block data. PLS'05, 4th Int. Symp. on PLS and Related Methods. Barcelona. 57– 66.

TENENHAUS M, ESPOSITO VINZI V, CHATELIN Y-M. LAURO C. 2005. PLS path modeling. Comput. Statist. Data Anal.; 48: pp: 159–205.

TENENHAUS, M. 1999.L'Approche PLS, Revue de Statistique Appliquée XLVII (2) pp: 5-40.

LOHMÖLLER J-B. 1989. *Latent Variables Path Modeling with Partial Least Squares*. Physica-Verlag: Heidelberg.

PAGÉS J. Y TANANHAUS M. 2001. Multiple factor analysis combined with PLS path modelling. Application to the analysis of relationships between physicochemical variables, sensory profiles and hedonic judgements, Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems Vol. 58 pp: 261–273

WOLD S, HELLBERG S, LUNDSTEDT T, SJOSTROM M, WOLD H. 1987.PLS modeling with latent variables in two or more dimensions. Proc. PLS-Meet., Frankfurt. 1–21.

DISEÑO DE UN EQUIPO DE LABORATORIO PARA FRITURA A VACÍO.

Bravo Juan[1,2], Sanjuán Neus[2], Peña Ramón[2] y Mulet Antonio[2], Ruales Jenny[1].
[1]DECAB, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
[2] Grupo ASPA. Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, jebravo@tal.upv.es; jbravo@pi.pro.ec.

Palabras clave: equipamiento, fritura, vacío.

RESUMEN

La fritura a vacío es una técnica que se está expandiendo debido a que permite, entre otros aspectos, reducir el contenido en aceite del alimento respecto a la fritura convencional. Para poder diseñar y optimizar este proceso se requiere el desarrollo de modelos matemáticos que lo simulen. Para ello se utilizan equipos a escala de laboratorio que permiten la realización de experiencias de fritura en condiciones controladas y la adquisición de los datos necesarios para el desarrollo y validación de los modelos. El objetivo de este trabajo fue construir un equipo experimental que permitiera estudiar la cinética de pérdida de humedad en función de la presión y temperatura para la fritura al vacío. En primer lugar se establecieron las partes de las que consta el equipo desarrollado y sus características. A continuación se realizaron experiencias realizadas para la validación del equipo. El sistema controla satisfactoriamente la presión durante las experiencias de fritura al vacío. La temperatura se mantiene estable en ±2ºC el valor de consigna durante el tiempo de fritura.

INTRODUCCIÓN

La producción de *chips* representa un porcentaje importante de las ventas del mercado de aperitivos *(snacks)*. Ello es debido principalmente a que los alimentos fritos presentan unas características de aroma y textura que no es posible conseguir con otros métodos. No obstante, en los últimos años la demanda de productos con bajo contenido en grasa ha impulsado a la industria de *snacks* a producir alimentos con menor contenido en aceite y que, a su vez, mantengan su sabor y textura característicos (Garayo y Moreira, 2002). La fritura a vacío destaca entre los sistemas desarrollados para conseguir dichos objetivos (Bravo *et al*., 2006).

En la fritura al vacío el proceso se efectúa en un sistema cerrado y a presión reducida, lo que permite disminuir el punto de ebullición del agua del alimento y trabajar a temperaturas del aceite más bajas. Por esta razón, y porque el contenido de oxígeno es menor, el sabor y color naturales se conservan mejor que en la fritura convencional (Shyu y Hwang, 2001). Además, en la fritura convencional la elevada temperatura del aceite determina una mayor absorción de éste y una pérdida importante de vitaminas, efectos que se aminoran con la fritura a vacío. Otra ventaja de este sistema es la reducción considerable del contenido en acrilamidas (Granda *et al*., 2004).

Si bien las primeras referencias a la fritura a vacío son de los años 60 del siglo pasado (Sijbring, 1969), la expansión de esta técnica es reciente. La mayoría de los trabajos desarrollados en este campo pretenden establecer las condiciones óptimas para desarrollar un producto de buenas características cualitativas (Shyu y Hwang, 2001; Liu-Ping *et al*., 2005), no teniéndose constancia de estudios en los que se desarrollen modelos de transferencia de calor y materia en el proceso, aunque las cinéticas de transferencia en fritura convencional se han estudiado ampliamente (Mittal y Zhang, 2000; Pedreschi *et al*., 2005).

El desarrollo de modelos matemáticos que simulen los procesos es muy importante para su diseño y optimización. Para ello se necesitan equipos a escala de laboratorio que permitan la realización de experiencias de fritura en condiciones controladas y la adquisición de los datos necesarios para el desarrollo y validación de los modelos.

Dado que en el mercado no se cuenta con equipos adecuados para el estudio de las cinéticas de transferencia de materia durante la fritura al vacío, se planteó como objetivo de este trabajo la construcción de un equipo experimental para la fritura al vacío que permitiera realizar estudios de las cinéticas de transferencia de materia, en función de la presión y temperatura.

METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL EQUIPO

Se procedió a diseñar y construir un sistema que permitiese realizar el proceso de fritura a vacío y que permitiera:

- establecer y controlar la presión de trabajo
- establecer y controlar la temperatura de trabajo
- trabajar a tiempos de fritura cortos
- acondicionar los productos a freír
- escurrir el aceite del producto frito
- registrar la presión de la cámara y temperatura del aceite de fritura

Para la construcción del equipo se definieron en primer lugar las características técnicas de los elementos. A partir de estas características se construyeron o adquirieron los diferentes elementos.

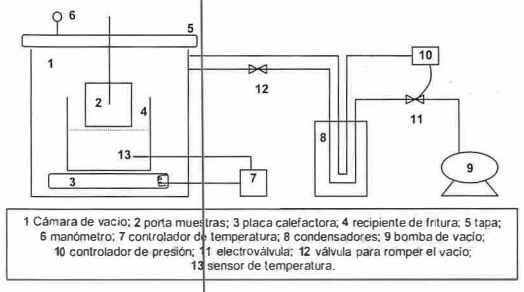


Figura 1. Sistema de vacío.

A continuación se detalla los elementos que componen el equipo de fritura desarrollado. Los números de los elementos se corresponden con los de la figura 1.

- La cámara de vacío (1) consta de un recipiente cilíndrico de acero inoxidable de 30 L de capacidad. Además, esta cámara dispone de una tapa que permite mantener el vacío y facilitar la carga y descarga del producto.
- Portamuestras (2) de malla de acero inoxidable para mantener las rodajas completamente sumergidas en el aceite de 0.18 m de diámetro y 0.08 m de altura. Está unido a un vástago de acero inoxidable que traspasa la tapa y permite que se accione el portamuestras de manera manual hacia arriba y hacia abajo. El vástago está sujeto a la tapa con un sistema estanco al paso del aire para así mantener el vacío. El portamuestras tiene una rejilla del mismo material, que sirve como tapa para mantener las rodajas de manzana sumergidas completamente en el aceite caliente y evitar que floten durante la fritura.
- Placa calefactora (3) marca UFESA (Vitoria, España), modelo PC-7681 de 1000W, para calentar el aceite hasta la temperatura que requiera cada experiencia.
- Recipiente de fritura (4) de acero inoxidable de 10 L de capacidad, que contiene la cantidad necesaria de aceite y donde se introduce el portamuestras.
- La tapa (5) de aluminio de 0.02 m de espesor, con un mecanismo que permite adaptar y accionar el portamuestras. La tapa lleva acoplado un manómetro mecánico (6).

- Controlador de temperatura (7) marca OMROM ('s-Hertogenbosh, Países Bajos), modelo E5CK, conectado a la placa calefactora y con un sensor de temperatura Pt100 (13), introducido en el aceite. Este controlador mantiene la temperatura del aceite al valor de consigna mediante un control PID (Proporcional Integral Derivado).
- Condensadores de vidrio (8), ubicados entre la cámara de vacío y la bomba de vacío. La mezcla del aire y del vapor de agua producida durante la fritura pasa por los dos condensadores, que están conectados en serie y sumergidos en líquido refrigerante mezclado con hielo, para así conseguir que el vapor de agua condense y evitar que la eficiencia de la bomba se vea afectada.
- Bomba de vacío (9) marca ABM, (Greiffenberger Antriebstechnik GmbH Marktredwitz, Alemania), modelo 4EKF63CX-4, con la que se consigue la presión requerida para cada experiencia.
- Controlador digital de presión (10), marca SMC (Valencia, España) modelo ZSE30. Este elemento permite realizar un control todo o nada y tiene una salida analógica conectada a una electroválvula (11). En este controlador se asigna el valor de presión de trabajo deseado y su histéresis, y cuando la presión de la cámara de vacío marca el valor de consigna envía una señal de corriente que permite cerrar la electroválvula. Asimismo, cuando la presión sube hasta alcanzar el valor asignado de histéresis envía otra señal que permite que la electroválvula se abra y pase aire para nuevamente conseguir el vacío en la cámara. Este controlador está unido a la cámara de vacío por medio de una manguera y entre ambos se ha colocado un condensador de vapor de agua (8) para evitar daños en su sensor de membrana.
- Electroválvula (11), marca ACL, type 201 (Caponago, Italia), ubicada entre la cámara de vacío y la bomba de vacío. La electroválvula está conectada en la manguera de conducción del aire evacuado por la bomba y permite el paso del aire cuando la señal que le llega del controlador de presión así lo indica, hasta obtener el vacío requerido en cada experiencia.
- La evacuación del aire y del vapor de agua que se retiran de la cámara de vacío, se realiza a través de mangueras de plástico apropiadas para trabajar a presiones reducidas.

RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN DEL EQUIPO Y DISCUSIÓN.

Tras construir el equipo se realizaron pruebas para comprobar la estanqueidad del mismo, así como para determinar la estabilidad de la presión y de la temperatura durante la fritura.
Primeramente se determinó la cantidad de aceite requerida para la experimentación. Para esto se consideró la capacidad del recipiente de fritura, el espacio necesario para que se pudiera retirar el portamuestras del aceite al finalizar el tiempo de fritura asignado y que el aceite no se derramara al introducir el portamuestras ni durante el tiempo que permanece éste inmerso en el aceite como consecuencia de la salida del vapor de la muestra. Tras esta experimentación se determinó que el volumen de aceite necesario para este propósito era de 5 L.
Para caracterizar el comportamiento del sistema de vacío se procedió a realizar experiencias de fritura a vacío y a registrar la temperatura del aceite y de la presión en la cámara de vacío.
En el controlador de temperatura se realizó la determinación automática de los valores de PID para 5 L de aceite en condiciones de experimentación, pero sin introducir muestra alguna; con estos valores se consiguió configurar el controlador para que alcance la temperatura de consigna y la estabilice.
A partir de las medidas de tiempo y temperatura se determinó que el equipo aumentaba la temperatura del aceite a razón de 2.4 ºC/min para una carga de 5 L de aceite y en el intervalo de temperaturas de trabajo. Asimismo, se observó que el equipo se demora 4 min en llegar al máximo nivel de vacío de trabajo (8 kPa) desde la presión atmosférica (101.3 kPa).
En las figuras 2 a 8 se muestra el comportamiento de la presión y de la temperatura durante el proceso de fritura al vacío de rodajas de manzana.

En los gráficos de la presión en función del tiempo de proceso (figuras 2, 3 y 4) se observa que inmediatamente después de introducir las rodajas de manzana en el aceite caliente, la presión aumentaba, causando un aumento de la presión en el sistema. Este cambio de presión se debe al vapor de agua que empieza a salir de las rodajas de manzana y tiene que ser extraído por la bomba de vacío. El máximo de presión se produjo en menos de 10 s y a partir de este momento fue disminuyendo hasta el valor de consigna en menos de 30 s. Una vez alcanzado el valor de consigna, éste se mantuvo estable en un intervalo de ± 0.2 kPa (mínima resolución del controlador) durante el desarrollo de las experiencias de fritura.
Con esto se comprobó que el sistema controlador de la presión (manómetro digital, electroválvula y bomba de vacío) respondía adecuadamente a los requerimientos del equipo.

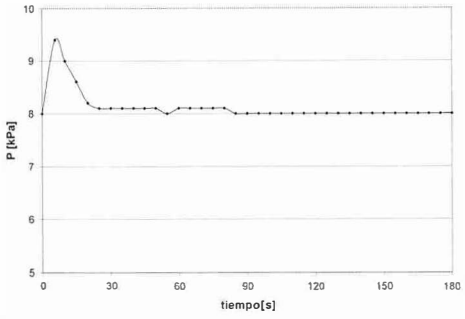


Figura 2. Evolución de la presión durante el tiempo de fritura de 4 rodajas de manzana (27 g). Consigna: 8 kPa y 110ºC.

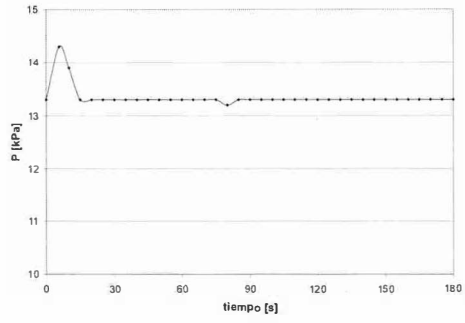


Figura 3. Evolución de la presión durante el tiempo de fritura de 4 rodajas de manzana (25 g). Consigna: 13.3 kPa y 90ºC

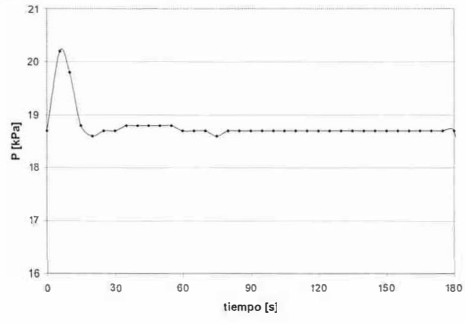


Figura 4. Evolución de la presión durante el tiempo de fritura de 4 rodajas de manzana (27 g). Consigna: 18.6kPa y 100ºC.

En la figura 5 se observa como al introducir el portamuestras con las rodajas de manzana en el aceite caliente, la temperatura de éste empezaba a descender inmediatamente, siendo este descenso más acusado cuanto mayor era la carga de producto. Esto es debido a que el calor transferido desde el aceite permite evaporar el agua contenida en las rodajas de manzana y calentar la masa del portamuestras. Por este motivo se decidió iniciar el proceso a una temperatura por encima del valor de la temperatura asignada a cada experiencia y conseguir que esta diferencia de temperatura del aceite permitiera compensar la pérdida de calor inicial.

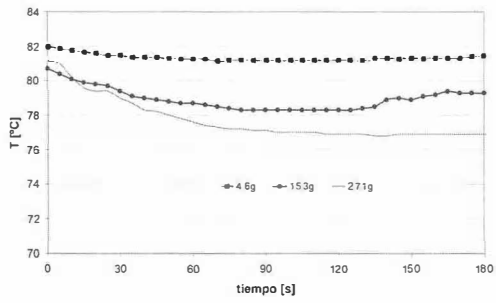


Figura 5. Evolución de la temperatura durante la fritura, cuando se varía la cantidad de manzana de 4.6 a 15.3 y a 27.1 g (1, 3 y 4 rodajas respectivamente). Presión: 8 Kpa.

Para determinar este intervalo de temperatura se consideraron dos aspectos: el calor necesario para calentar el portamuestras y el calor necesario para evaporar el agua en los primeros segundos del proceso. En este cálculo se asumió que en los primeros 15 s se evaporaba cerca de un 20% del contenido inicial de agua de cuatro rodajas (25 g aprox.). Con los datos de las propiedades físicas del aceite y del material del portamuestras se calculó este descenso de temperatura, obteniéndose como resultado un valor de 2 °C.

En las figuras 6, 7 y 8 se observa la evolución de la temperatura durante la fritura de cuatro rodajas de manzana. El proceso se iniciaba a una temperatura 2ºC por encima de la de consigna. Al introducir el portamuestras con las rodajas de manzana en el aceite caliente, inmediatamente la temperatura de éste empezaba a descender de una forma muy rápida; a los 15 s marcaba la temperatura de consigna y a los 60 s terminó el descenso y se inició el aumento de la temperatura hasta alcanzar el valor de consigna.

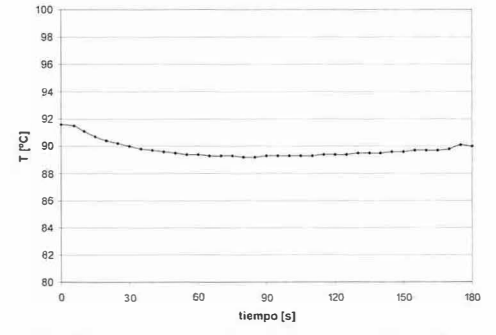


Figura 6. Evolución de la temperatura durante el tiempo de fritura de 4 rodajas de manzana (24 g). Consigna: 90 °C y 8 kPa.

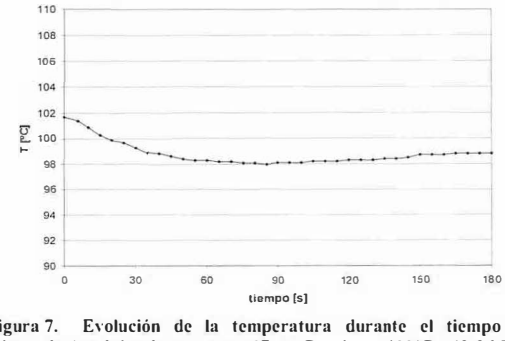


Figura 7. Evolución de la temperatura durante el tiempo de fritura de 4 rodajas de manzana (27 g). Consigna: 100ºC y 13.3 kPa.

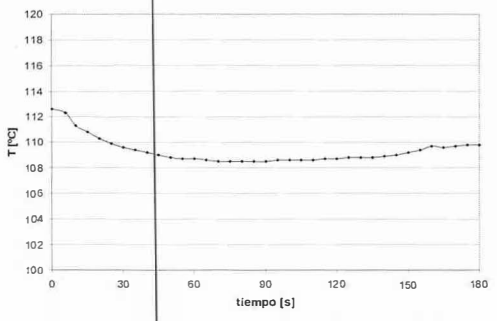


Figura 8. Evolución de la temperatura durante el tiempo de fritura de 4 rodajas de manzana (27 g). Consigna: 110ºC y 18.6 kPa.

Como se puede apreciar en los gráficos anteriores, el control de la temperatura no es inmediato como en el caso de la presión; esto se debe a la dificultad que conlleva transferir el calor de la placa calefactora al aceite y en el seno del mismo aceite y a que la placa calefactora está desconectada al realizar la inmersión de la muestra. Por lo tanto, se puede manifestar que en este sistema de fritura al vacío, la temperatura se mantiene estable en ±2°C durante el tiempo de fritura.

CONCLUSIONES

El equipo desarrollado satisface los requerimientos para los que fue diseñado permitiendo realizar experiencias de fritura a vacío. El sistema controla satisfactoriamente la presión durante las experiencias de fritura al vacío. La temperatura del aceite se mantiene estable en ±2 ºC del valor de consigna y para mejorar el control de temperatura es conveniente sobrecalentar inicialmente el aceite. El aparato diseñado y puesto a punto permite determinar cinéticas de fritura, pudiendo realizar experiencias a tiempos cortos.

Es factible construir equipos de bajo coste a escala de laboratorio que respondan a los requerimientos necesarios para poder realizar estudios de cinéticas de transferencia de materia.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo realizado gracias a: EUROPEAN COMMISSION ALFA II CONTRACT AML/B7-311-97/0666/II-0121-FA.

BIBLIOGRAFÍA

- Bravo J, Ruales J, Sanjuan, N, Clemente, G. 2006. Innovaciones en el proceso de fritura: la fritura al vacío. Alimentación equipos y tecnología 209:87-94.
- Garayo J, Moreira, R. 2002. Vacuum frying of potato chips. J. Food Eng 55(2):181-91.
- Granda C, Moreira, RG, Tichy, SE. 2004. Reduction of acrylamide formation in potato chips by low-temperature vacuum frying. J. Food Sci. 69(8):E405-E11.
- Liu-Ping F, Min-Zhang, Mujumdar, AS. 2005. Vacuum Frying of Carrot Chips. Drying Technol. 23:645-56.
- Mittal GS, Zhang, J. 2000. Use of artificial neural network to predict temperature, moisture, and fat in slab-shaped foods with edible coatings during deep-fat frying. J. Food Sci. 65(6):978-83.
- Pedreschi F, Hernández, P, Figueroa, C, Moyano, P. 2005. Modeling water loss during frying of potato slices. Int. J. Food Prop. 8:289-99.
- Shyu S-L, Hwang, LS. 2001. Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. Food Res.Int. 34:133-42.
- Sijbring PH. 1969. Principles and practical results of vacuum frying chips. Conserva 18(4):99-101.

FACTIBILIDAD TÉCNICA ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO EN VENEZUELA

Hernández, Carlos Enrique, Silva, Brenly
Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química.
Valencia - Venezuela
e-mail: carherna@uc.edu.ve, brenlys21@yahoo.com

Palabras clave: factibilidad económica, ácido cítrico, diseño de procesos, Aspergillus níger.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como finalidad establecer la factibilidad técnico-económica de un proceso para la obtención industrial de ácido cítrico mediante la aplicación de una investigación que involucró la realización de un diagnóstico del mercado, identificación de tecnologías, síntesis a nivel de laboratorio, análisis técnico-operativo, diseño del proceso y evaluación económica del mismo. Para el proceso de síntesis se empleó la técnica de fermentación por cultivo sumergido a concentraciones de azúcares de 10, 15 y 20% p/p a un tiempo de incubación de 6 días, empleando una cepa salvaje del hongo ***Aspergillus níger*** y un medio de cultivo a base de melaza de caña. El estudio de mercado se basó en la demanda nacional y sus importaciones. En cuanto al análisis económico, se estimaron los indicadores económicos valor presente neto, equivalente anual, tasa interna de retorno y tiempo de pago. En el análisis técnico-operativo se estableció una capacidad de planta de 2000 TM/año y como ubicación geográfica se seleccionó al estado Carabobo, Venezuela. En el diseño del proceso se definieron cinco secciones: una sección de biorreación, una de recuperación, purificación, separación y por último una sección de secado y empacado. Para esta planta se estimó una inversión de capital de aproximadamente 5,7 millones de dólares, resultando un proyecto factible en términos económicos.

INTRODUCCIÓN

Hoy día, es importante la variedad de productos químicos que son producidos mediante hongos o bacterias a través de un proceso de fermentación; uno de estos productos es el ácido cítrico, el cual es uno de los ácidos orgánicos más versátiles y utilizados. El mismo, es ampliamente empleado en muchos sectores manufactureros dentro de los que destacan el sector alimenticio y de bebidas, además del farmacéutico y el de cosméticos. En la industria de alimentos, suele usarse como antioxidante e inhibidor del deterioro de sabores y olores, modificador de la acidez y el sabor. Además, es empleado como agente quelante de iones, neutralizante de bases y amortiguador además de muchas otras aplicaciones señaladas por Kristiansen y Mattey (1999). A pesar de que representa una materia prima como aditivo fundamental en gran parte de los productos ofrecidos por sectores básicos de la industria, Venezuela no cuenta con un proceso de producción industrial, por lo que dicha materia prima debe ser importada en su totalidad. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística (2004), la importación total anual de ácido cítrico en Venezuela alcanzó en el año 2004 las 3000 toneladas métricas, generando gastos por el orden de los 4 millones de dólares sin incluir costos por aranceles, fletes, acarreo y otros. Es por ello, que el presente trabajo tiene como objetivo fundamental, establecer la factibilidad técnico-económica de un proceso para la obtención industrial de ácido cítrico.

MATERIALES Y MÉTODOS

La identificación y selección de variables del proceso se realizó partiendo de la información bibliográfica recopilada sobre trabajos relacionados con este proceso de producción tomando en cuenta su impacto e influencia sobre los procesos de fermentación, reconocidas y validadas por la bibliografía consultada. Se estudió variables como nivel de agitación, pH, concentración de azúcares y tiempo de incubación. En el proceso se utilizó la cepa del hongo ***Aspergillus níger*** como microorganismo fermentador; y como sustrato, melaza de caña con alto contenido de azúcar (por su bajo costo).

Se realizaron cuatro ensayos preliminares en un medio de cultivo de 100mL, a través de los cuales se estableció el pH más adecuado entre valores de 5,5 y 6,5 y niveles de agitación lenta y media durante un periodo de incubación de 6 días. A partir de los resultados obtenidos, se estableció el pH y nivel de agitación a la cual se sometieron los ensayos posteriores en un medio de 1L con concentraciones de azúcares igual a 10%, 15% y 20%; así como un tiempo de incubación de 6 días La preparación del ácido consistió, en términos generales, en una fermentación aeróbica del azúcar seguido de un proceso de recuperación y purificación del producto. Su determinación se realizó empleando métodos espectrofotométricos y titulométricos señalados por Spencer y Alice (1967) y Murad y Khalaf (2003)

El diagnóstico del mercado nacional se realizó a partir de datos históricos de consumo desde el año 1990 hasta el año 2005, suministrados por el Instituto Nacional de Estadística – INE (2004), lo cual permitió realizar una proyección a fin de estimar el consumo a futuro de este insumo durante los próximos 15 años.

En vista de que en Venezuela no existe una planta productora de este insumo, lo cual implica la ausencia de un competidor directo, se seleccionó una capacidad de producción que pueda abarcar un porcentaje medianamente alto de la demanda nacional. Por ello, se estableció una producción de un 35 % del mercado. La ubicación de planta se realizó mediante una matriz de selección, la cual comprendió la evaluación de las zonas oriental, central y occidental del país bajo criterios como: disponibilidad de proveedores y clientes, vialidad, servicios industriales, entre otros.

El dimensionamiento de los equipos del proceso productivo se realizó aplicando el software comercial Superpro Designer v 4.7 y mediante modelos matemáticos, tablas, gráficos y nomogramas de referencia de equipos estándares existentes, establecidos por la bibliografía especializada y tomando en cuenta normas o especificaciones necesarias para su aplicación. La factibilidad económica del proyecto se determinó a partir del valor presente neto (VPN), equivalente anual (EA), tasa interna de retorno (TIR) y tiempo de pago. La elaboración del proyecto de inversión comprende un horizonte económico de 15 años.

RESULTADOS

La mayor concentración de ácido cítrico obtenido corresponde a la síntesis realizada a condiciones de agitación suave, pH igual a 5,5, tiempo de incubación de 6 días y una concentración de azúcares en el medio de 20% p/p. La tabla 1, muestra los resultados obtenidos.

Tabla 1. Cuantificación del ácido cítrico

Porcentaje de azucares %	Cantidad de ácido obtenido ± 0,002 g
10	1,375
15	1,401
20	3,313

La cantidad de kilogramos importados de ácido cítrico entre los años 1990 y 2001 presentó un evidente crecimiento con un patrón que puede suponerse como una relación lineal. A partir de la ecuación de una línea recta, se genera una estimación de la demanda de ácido cítrico en el país para los próximos 15 años. La capacidad de la planta a instalar es de 2000TM/año. En la tabla 2, se observa el plan de producción planteado, en el cual se estima un alcance de la capacidad instalada de producción a partir del sexto año del estudio económico.

La ubicación de la planta se estableció en la región central de Venezuela, estado Carabobo. Allí, se cuenta con una proximidad hacia algunas de las azucareras del país. Se debe destacar también el amplio parque industrial considerado como el más importante de Venezuela de acuerdo al boletín emitido por la Cámara de Industriales del estado Carabobo (2006), conformada por múltiples empresas de productos de consumo masivo en los distintos sectores industriales (alimenticio, cosmético, bebidas, farmacéutico, agroindustrial).

Tabla 2. Plan de producción de ácido cítrico

Año	Producción (TM/Año)
0	588
1	1212
2	1666
3	1800
4	1900
5 - 15	2000

El proceso de producción comprende desde el tratamiento y mezcla de la materia prima, hasta el aislamiento y recuperación del producto terminado. El proceso se ha estructurado en cuatro secciones principales:

- Sección de biorreacción (formación del producto)
- Sección de recuperación.
- Sección de purificación
- Sección de separación y secado.

El precio del ácido cítrico se encuentra en un rango de 1,3 $/kg a 1,5$/kg. De esta manera, se toma un valor promedio de los precios ya establecidos en el mercado venezolano para la realización del estudio económica; así el precio que define los ingresos durante el horizonte económico fue de 1,4 $/kg (1400 $/TM).

La planta quedó constituida por tanques para almacenamiento, fermentación, recuperación y precipitación; evaporador, cristalizador, centrífuga, filtro rotatorio, secador, tuberías y demás accesorios. Ello integrado al resto de componentes que conforman el capital fijo y unido al capital de trabajo, alcanza una inversión inicial de aproximadamente 5.6 millones de dólares. La tabla 3 presenta los montos correspondientes.

Tabla 3. Inversión inicial para la implementación de la planta productora de ácido cítrico

Descripción	Costo (Miles $)
Capital fijo	4.595,39
Capital de Trabajo	1.099,35
INVERSIÓN	**5.694,74**

Dicha inversión se encuentra constituida por capital propio y un préstamo, tomando en cuenta programas de financiamiento económico por parte de entes crediticios del país a nivel estadal con un tiempo de financiamiento de 15 años y una tasa de interés comprendida entre un 8% y 12%. Una vez obtenido el flujo de caja, la determinación de los indicadores económicos muestran la rentabilidad del proyecto: valor presente neto y equivalente anual mayor a cero, tasa interna de retorno presenta valores superiores a la tasa mínima de rendimiento preestablecida y un tiempo de pago estimado para la recuperación de la inversión inicial igual a seis años. Dichos indicadores se determinaron tomando en cuenta la rentabilidad del capital total (Implícita) y la rentabilidad del capital propio (Explícita), tal como se indica en la tabla 4.

Tabla 4. Indicadores económicos obtenidos para el desarrollo del proyecto

	Consideración de la deuda	
Indicador Económico	**Explícita**	**Implícita**
Valor Presente Neto (Miles $)	2.797,45	2.172,22
Equivalente Anual (Miles $)	389,04	318,93
Tasa Interna de Retorno (%)	20,84	17,94
Tiempo de pago (años)	6	6
Tasa mínima de rendimiento (%)	12	11

CONCLUSIONES

El mercado de ácido cítrico en Venezuela se puede caracterizar como favorable y atractivo, con una demanda creciente en los últimos 10 años que se fundamenta casi netamente en la importación. En el 2004, el requerimiento de ácido cítrico en el país alcanzó las 3000 TM y las proyecciones indican que la demanda podría lograr las 5600 TM/año para el 2021. La capacidad de planta para la producción ácido cítrico se fijó en 2000 TM/año, trabajando dos turnos diarios durante 287 días al año, lo que genera 7 TM diarias de producto terminado. El estado Carabobo se muestra como una zona atractiva e idónea para el desarrollo de la planta de producción favorecida por su amplio parque industrial e infraestructura vial. Para la construcción y puesta en marcha de la planta de producción de ácido cítrico, se requiere una inversión total de 5.694,74 Miles $, resultando en un proyecto económicamente atractivo.

AGRADECIMIENTOS

Al CDCH de la Universidad de Carabobo por el financiamiento de esta investigación otorgado a través de la aprobación del proyecto Nº 427-07.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Cámara de Industriales del Estado Carabobo CIEC (2006). **70 años de trabajo y de historia.** Suplemento aniversario 70 años Cámara de Industriales del Estado Carabobo, Valencia.

Instituto Nacional de Estadística (2004). **Anuario de comercio exterior.** Ministerio de Planificación y desarrollo. Tomo II. Caracas. Venezuela

Kristiansen, B., Mattey, M. y Linden, J. (1999). **Citric Acid Biotechnology.** Taylor & Francis Ltd., UK.

Murad A. El-Holi and Khalaf S. Al-Delaimy. (2003). **Citric acid production from whey with sugars and additives by Aspergillus Niger.** Trabajo de investigación del Departamento de Nutrición y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Agricultura. Universidad de Jordan, Amman, Jordan.

Spencer, Alice y Lowenstein (1967). **Citrate content of liver and kidney of rat in variious metabolix status and in fluoroacetate poisoning.** Electronic Journal of Biochemical. Vol 108 (342).

SELECCIÓN DE LAS MEJORES CONDICIONES DE OPERACIÓN MEDIANTE ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN LÍQUIDO-LÍQUIDO PARA LA RECUPERACIÓN DE CAPSAICINA A PARTIR DE MISCELA DE CHILE DE ÁRBOL

Bautista Pérez Simeón, Milla Vela René Alberto, Martínez González José Luis, Pizano Barrientos Susana, Barranco Jiménez Rosita, Bautista Cano Perla del Carmen, Juárez Goiz Mayolo, Ramirez Estrada Serafín

Departamento de Ingeniería Bioquímica, Instituto Tecnológico de Celaya, Av. Tecnológico s/n, C.P.38010. Celaya, Gto., México. Tel.: (461) 6117575 Ext. 322 y 209. E. mail bautista@itc.mx

Palabras clave: *Capsicum*, extracción, capsaicinoides

RESUMEN

En el presente trabajo se determinaron las mejores condiciones para la recuperación de capsaicinoides, usando como materia prima el chile de árbol (***Capsicum annuum***); como primer paso se realizó una extracción sólido-líquido, por un tiempo de 2 horas, a una temperatura de 25 °C usando como disolventes alcohol-agua en una relación 50:50, el extracto obtenido se filtró quedando así un licor rico en capsaicinoides.

Posteriormente, el licor se sometió a una extracción líquido-líquido, para la cual se emplearon disolventes orgánicos (acetilo de etilo, acetato de butilo, y ciclohexano), se tomaron diferentes relaciones (v/v) entre el disolvente orgánico y la miscela (1:2.5, 1:3.0 y 1:3.5), además se consideraron las temperaturas de 25 °C, 30 °C y 35 °C, por último se tomaron los tiempos de contacto, entre la fase orgánica y la fase inorgánica, y fueron de 10, 20 y 30 minutos. Se empleo el diseño de experimentos Taguchi, con un arreglo ortogonal L_9 por lo que se realizaron 9 experimentos y se les cuantificó el contenido de capsaicinoides.

Se concluyó que las mejores condiciones de operación para obtener mayor % en peso de capsaicinoides en la extracción líquido-líquido son: tiempo 30 minutos, temperatura 35 °C, relación miscela disolvente: 1:3.0 y tipo de disolvente acetato de etilo. Los factores que presentaron mayor impacto en el proceso de extracción líquido-líquido fueron la relación miscela-disolvente, la temperatura y el tipo de disolvente.

INTRODUCCIÓN

Los capsaicinoides son los compuestos químicos responsables del picor o pungencia del chile (***Capsicum annuum***), se han identificado: La capsaicina, dihidrocapsaicina, homocapsaicina, nordihidrocapsaicina, y homodihidrocapsaicina (Iway *et al*., 1979). La capsaicina se encuentra en mayor proporción (69%) (Loayza et al., 2001), por tal razón, a la mezcla de los 5 capsaicinoides, se le denomina solamente capsaicina. La biosíntesis de los capsaicinoides se lleva a cabo en la placenta del fruto (***Capsicum annuum***) (Suzuki, 1984). La capsaicina tiene diversos efectos fisiológicos positivos, por ejemplo: Kawada et al., 1986, demostró que la capsaicina promueve la eliminación de grasa y triglicéridos en ratones; en otro trabajo Negulesco et al., 1989, demostró la disminución de niveles de colesterol en animales de laboratorio alimentados con dihidrocapsaicina; en humanos, la ingestión de chile (***Capsicum annuum***) tiene un efecto gastroprotectivo contra los daños causados por la aspirina en la mucosa gastroduodenal (Yeo *et al*., 1995); se han demostrado también propiedades antioxidantes (Sethi et al., 1956) y antimicrobianas (Cichewicz y Thorpe, 1996).

La capsaicina se utiliza como saborizante en pastas dentales, formulaciones para gases lacrimógenos, como repelente en pinturas para cascos de barcos, y como analgésico de aplicación local en cremas para aliviar dolores de padecimientos tales como fibromialgia, neuralgia, artritis reumática y neuropatia diabética.

La recuperación de los capsaicinoides por extracción líquido-líquido ya se ha demostrado utilizando una mezcla de etanol y agua (90v/10v) (Amaya Guerra *et al*., 1997) y utilizando etanol industrial al 96% (Santamaría *et al*., 2000), sin embargo no se ha optimizado el proceso.

El objetivo del presente trabajo fue encontrar las mejores condiciones de temperatura, relación miscela-disolvente y tiempo para la extracción líquido-líquido de los capsaicinoides utilizando tres disolventes diferentes, a partir de la miscela obtenida de la extracción sólido-líquido, de la harina de chile de árbol.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Se utilizaron chiles de árbol (***Capsicum annuum***) que se adquirieron en el mercado de abastos de la ciudad de Celaya, Gto.; los disolventes empleados para el proceso de extracción y de análisis fueron: acetato de etilo (Baker), acetato de butilo (Baker) ciclohexano (Baker), ácido acético al 1% grado HPLC, acetonitrilo grado HPLC, agua grado HPLC (Baker) y agua destilada.

Métodos

Preparación de la materia prima

A los chiles se les eliminó la pata y la semilla en forma manual, para que no interfirieran en el proceso de extracción, posteriormente, a la materia libre de semilla y pata se le efectuó una reducción de tamaño en un molino de discos, después, se tamizó la harina obtenida en una malla número 30 para obtener un diámetro de partícula apropiado a los requerimientos de la extracción.

Primera extracción (sólido-líquido)

La harina obtenida se sometió a una extracción sólido-líquido usando alcohol-agua en una relación 50:50, posterior a la extracción se realizó una filtración para eliminar impurezas de la micela obtenida, a la cual, se le eliminó el disolvente por medio de evaporación en un rotavapor.

Extracción Líquido-Líquido

Esta operación tiene por objeto recuperar los capsaicinoides, usando como disolventes: acetato de etilo, ciclohexano y acetato de butilo. Posterior a la extracción se realizó una separación de la fase orgánica, de la inorgánica y a la fase orgánica se le eliminó el disolvente, quedando así los capsaicinoides.

Metodología Taguchi

La metodología Taguchi es un diseño de experimentos que permite con un número mínimo de experimentos obtener una gran cantidad de información, logrando obtener las mejores condiciones de operación.

Los factores establecidos se muestran a continuación:

A=Tiempo (minutos)
B=Temperatura (°C)
C=relación licor disolvente (L-D)
D=Tipo de disolvente

Los niveles empleados y factores se muestran en la tabla 1:

Tabla 1. Establecimiento de niveles y factores de acuerdo a Taguchi (Ross, 1988)

	NIVELES		
FACTORES	(1)	(2)	(3)
A	10	20	30
B	25	30	35
C	1:2.5	1:3.0	1:3.5
D	Acetato de etilo	Acetato de butilo	Ciclohexano

Mediante los factores y niveles presentados en la tabla 1, se obtuvo el arreglo ortogonal (tabla 2), donde se establecieron todas las combinaciones posibles de condiciones de temperatura de extracción, tipos de disolventes, tiempo de extracción y relación licor-disolvente.

Tabla 2. Diseño experimental ortogonal utilizado para seleccionar las mejores condiciones de extracción líquido-líquido de los capsaicinoides.

	FACTORES			
	A	B	C	D
EXPERIMENTOS				
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos obtenidos se realizó con el software STATISTICA, versión 5.5, 2000.

Determinación del contenido total de Capsaicinoides

A 1g de oleorresina se le añadieron 0.1g de carbón activado y se disolvieron en 90 ml. de una solución de acetonitrilo-ácido acético (50:50), la cual, se agitó por 30 min y después se filtró en un matraz aforado de 100 ml y se aforó con la misma solución. Finalmente se inyectaron muestras por triplicado de la última solución obtenida al HPLC, el cual operó con un flujo de 1ml/min, con una fase móvil de acetonitrilo-ácido acético al 1% (50:50), con una columna de 4.0 mm x 125 mm Spherisorb S5 ODS1 Waters, a temperatura ambiente, con un volumen de inyección de 20 µl; el detector de fotodiodos operó a 280 nm. Previamente se realizó una curva de calibración de capsaicinoides, con capsaicina natural de Aldrich Chem. Co. La concentración de la solución fue determinada por el software del equipo.

RESULTADOS

Se efectuaron 9 experimentos por duplicado; en cada uno de ellos se cuantificó la cantidad de capsaicinoides por HPLC. Los resultados se muestran en la tabla 3. Para el análisis e interpretación de los resultados, se realizaron los cálculos para cada factor en cada nivel de acuerdo a la metodología Taguchi (Ross, 1988; Escamilla y col., 1992). De acuerdo a los resultados (Tabla 4), tomando como criterio que mayor es mejor, las mejores condiciones fueron A_3 (30 min), B_3 (35 °C), C_2 (1:3.0) y D_1 (Acetato de etilo).

Tabla 4. Cálculo de la cantidad de capsaicinoides por HPLC

	FACTORES			
	A	B	C	D
NIVELES				
Primero	10.63	11.73	9.89	**17.1**
Segundo	11.86	9.32	**18.90**	10.50
Tercero	**16.95**	**18.4**	10.93	11.85
Total	35.00	35.00	35.00	35.00

Este ensayo se sometió a un análisis estadístico en función de la cantidad de capsaicinoides (Figura 1), con los que se obtuvieron las mejores condiciones, que concuerdan con los resultados mostrados en la tabla 4 y fueron A3, B3, C2 y D1.

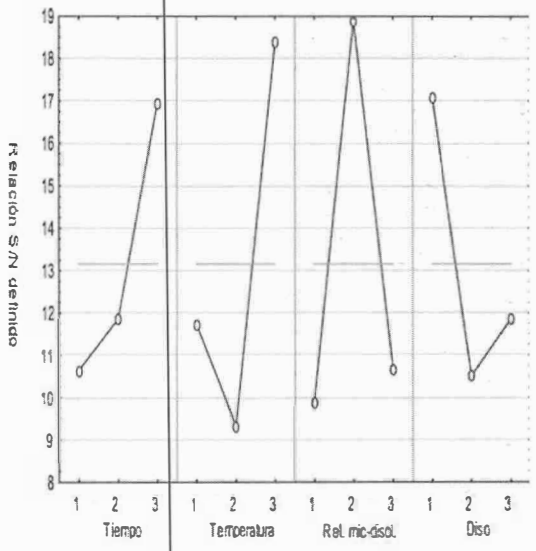


Figura 1. Media de factores y niveles
Promedio=13.1533 Sigma=7.26680 Error=-- df=0

Tabla 3. Resultados obtenidos de acuerdo al diseño experimental ortogonal L_9 (3^4) para el % en peso de capsaicinoides.

	VARIABLES				**Cuantificación de capsaicinoides por HPLC**
	A	B	C	D	
Corridas	Tiempo (min.)	Temperatura (°C)	Licor-disolvente (V:V)	Disolvente	Promedio (Y) (mg/g)
1	10	25	1:2.5	Acetato de etilo	9.90
2	10	30	1:3.0	Acetato de Butilo	9.91
3	10	35	1:3.5	Ciclohexano	12.10
4	20	25	1:3.0	Ciclohexano	14.90
5	20	30	1:3.5	Acetato de etilo	9.5
6	20	35	1:2.5	Acetato de butilo	11.20
7	30	25	1:3.5	Acetato de Butilo	10.40
8	30	30	1:2.5	Ciclohexano	8.57
9	30	35	1:3.0	Acetato de Etilo	31.90

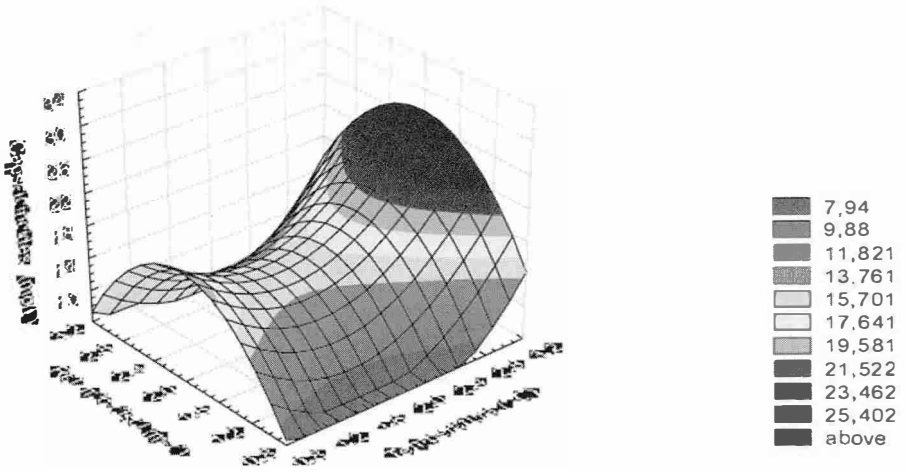


Figura 2. Superficie de respuesta.
Capsaicioides=3.507-19.827*x+34.688*y+5.74*x*x+0.1*x*y-8.625*y*y

Posteriormente se realizó un análisis de superficie de respuesta, con la finalidad de observar el comportamiento de las combinaciones de temperatura, relación miscela-disolvente y tipo de disolvente con respecto a los capsaicinoiodes recuperados; su comportamiento se presenta en la figura 2, donde se muestra que con una temperatura de 35 °C y una relación micela disolvente de 1:3.0, se obtiene la máxima cantidad de capsaicnoides (25.40 mg/g). Cuando se utiliza una temperatura de 35 °C y el disolvente acetato de etilo, mediante el análisis de superficie de respuesta, se obtiene un contenido de capsaicinoides de 31.46 mg/g. Finalmente, con una relación micela-disolvente de 1:3.0 y el disolvente acetato de etilo, mediante el análisis de superficie de respuesta los capsaicinoides que se pueden obtener son 23.38 mg/g.

CONCLUSIONES

Las mejores condiciones de la extracción líquido-líquido, fueron: la relación micela disolvente de 1.3.0, temperatura de 35 °C, acetato de etilo como disolvente, y un tiempo de 30 minutos. El análisis de varianza mostró que los factores que más influyeron en la extracción fueron: la relación micela-disolvente, temperatura y tipo de disolvente. Con respecto a la superficie de respuesta, el comportamiento de la temperatura con el disolvente, el disolvente con la relación micela-disolvente, la relación micela-disolvente con la temperatura, se puede predecir mediante un modelo matemático, así como también, las mejores condiciones de operación con el propósito de obtener la mejor cantidad de capsaicinoides.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto financiado por SAGARPA-CONACYT 2005-C01-12545.

BIBLIOGRAFÍA

-Cichewicz, R. H., and Thorpe, P. A., (1996)"The antimicrobial properties of chile peppers (*Capsicum* species) and their uses in Mayan medicine", *J. Ethnopharmacol.* **52**, 61-70.

-Escamilla, E.; Trejo, R.; Rodríguez, A. Aplicación de la Metodología Taguchi en la búsqueda de los mejores rendimientos de la reacción de Friedel-Crafts para la obtención de cetonas aromáticas. *Tecnol. Ciencia de (IMIQ)*, 1992, 10-15.

-Ingrid Loayza. ***Capsicum*** y sus Derivados en Iberoamérica: Aspectos agrícolas, científicos, tecnológicos y económicos. 2001.

-Iwai, K. T. Susuki and H. Fujiwake. Formation and Acumulation of Pungent Principles of Hot Pepper Fruits, Capsaicin and Analogues, in ***Capsicum annuum*** var **annuum** cv. 1979.

-Kawada, T., Hagihara, K., and Iwai, K., (1986) "Efects of capsaicin on lipid metabolism in rats fed a high fat diet", *J. Nutr.* **116**,1272-8.

-Neguleseo, J. A., Lohse, C. L., Hrabovsky, E. E., Boggs, M. T., and Davis, D. H., (1989) "Dihydrocapsaicin (DC) protects against serum hyperlipidemia in guinea pigs fed a Cholesterol-enriched diet", *Artery*. 16, 174-88.

-Ross, P. J. T. Taguchi Tecniques for Quality Engineers, 2nd ed. Ed. Mc Graw Hill, New York. 1986.

-Sethi S. C. and J. S. Aggarwal, *J. Sci. Ind. Res. Sect. B*. 15B, 34 (1956).

-Susuki T. and Iwai K.; *Alkaloids*; Academic Press; New York, 1984; Vol. 23.

-Yeo, K. G., Kang, J. Y., Yap, I., Guan, R., Tan, C. C., Wee, A., and Teng, C. H., (1995) "Chilli protects against aspirin-induced gastroduodenal mucous injury in humans", *Dig. Dis. Sci*, **40**, 580-3.

EVALUACIÓN DE LA GENERACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA CALÓRICA Y MECÁNICA EN LA PLANTA DE LÁCTEOS ECOLAC.

Meneses C. Miguel A., Quezada Z. Darwin W., Romero B Juan C.
Universidad Técnica Particular de Loja, Escuela de Ingeniería Química.
Loja – Ecuador

Palabras Clave: equipos y planta industrial, evaluación energética, check list, medidas de ahorro.

RESUMEN:

En el presente trabajo se desarrolló una evaluación energética, en los equipos y la planta industrial de lácteos Ecolac, siguiendo la metodología expuesta por diversos organismos y profesionales, con amplia experiencia en este tipo de evaluaciones. En el desarrollo de esta evaluación, como primera parte se evaluó la situación actual de la planta (check list), a la vez, se identificó las causas de mayor incidencia en pérdidas energéticas. La evaluación se dividió de la siguiente manera: generador de vapor, distribución de vapor, intercambiadores de calor, sistemas de refrigeración, sistemas de bombeo y sistemas de aire comprimido. Se determinó las eficiencias en cada proceso y las pérdidas energéticas así como las pérdidas económicas que representan. En el generador de vapor las pérdidas energéticas llegan a 1829.49$/año, en distribución de vapor las pérdidas económicas llegan a sumar 2545.67 $/año, en intercambiadores de calor las pérdidas son de 1497.02 $/año, sistemas de refrigeración 3521.00$/año, en total 9393.16 $/año. Mediante la selección y estudio de medidas de ahorro energético se estableció un ahorro económico total de 7108.0 $/año.

INTRODUCCIÓN.

Una evaluación energética es un análisis progresivo que revela dónde y cómo se usa la energía calórica, mecánica y eléctrica, en las instalaciones de una industria, institución, comercio, hoteles, edificios, etc. Evaluación técnica y económica de las posibilidades de reducir el costo específico de la energía en un establecimiento, de manera rentable y sin afectar la cantidad y la calidad del producto (EERSA, 2004).
El elevado coste que tiene la energía (petróleo, eléctrica, gas) motivó que desde la administración de las industrias, se incentivara la racionalización del consumo energético, puesto que la energía se debe cubrir mayoritariamente con importaciones, y es conocido que la energía permite a las empresas alcanzar mayor productividad y mayor calidad en su producción.

La función de este tipo de evaluación (auditoría) es promover la eficiencia energética. Se trata de un análisis sobre las posibles mejoras y su cuantificación, más que de certificar la autenticidad de las cuentas energéticas de la empresa, tal y como podría interpretarse por analogía con los usos en finanzas y contabilidad.

La mejora de la eficiencia energética en los procesos suele ir asociada con algún tipo de innovación en el propio proceso, la maquinaria, el producto elaborado o los procedimientos de trabajo. En estos casos, los ahorros de energía pueden ser espectaculares, aunque como contrapartida las inversiones también son considerables, por lo que dichas actuaciones estarán indicadas para las modificaciones sustanciales en las instalaciones, en los procesos o en los productos.

La optimización energética no se alcanza automáticamente, sino que se conjuntan esfuerzos como la realización de evaluaciones y auditorías, operaciones de demostración, introducción de equipos, procedimientos más eficientes y esquemas de financiación que permiten rebajar la dependencia energética de las empresas.

En muchas empresas los estudios técnicos-económicos mostraron que podía reducirse el consumo de energía, cerca del 20% del consumo total de combustibles y energía eléctrica, por ello se aplicaron medidas en empresas grandes y medianas especialmente, y en los sectores con mayor dependencia energética, teniendo en cuenta que los ahorros se logran siempre que las evaluaciones se lleven a cabo por profesionales.

Este % de ahorros energéticos elevado obtenido en empresas del mismo orden, motivó el desarrollo de esta evaluación en la planta de lácteos "Ecolac", esperando obtener un porcentaje de ahorro entre 10 al 20 % del gasto en consumo total de energía.

MATERIALES Y METODOLOGÍA.

Los ensayos para cada sistema se establecieron según la metodología empleada en cada sistema para evaluar su eficiencia, pérdidas energéticas y ahorros económicos. La metodología que se empleó para la evaluación en generación de vapor fue "Código de pruebas para generadores de vapor ASME" (CONAE, 2003), correspondiente a los métodos de pérdidas de calor y al de entradas y salidas. En la distribución de vapor se evaluó: (1) las pérdidas de calor al ambiente por falta de aislante siguiendo la secuencia de ecuaciones publicadas en la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995, (2) pérdidas de energía por fugas y orificios, metodología (CONAE, 2002). Los intercambiadores de calor se evaluaron según el tipo de intercambiador, de placas (Raju y Chand, 1987) y de doble camisa (Alvarado, 1996). En los sistemas de refrigeración se evaluó la capacidad máxima de refrigeración (Sánchez, 2001). En los sistemas de bombeo y aire comprimido se empleó la metodología de la NORMA Oficial Mexicana NOM-004-ENER-1995, y se evaluó su eficiencia (UBA, 2002)

La obtención de datos se llevó a cabo durante los meses de Noviembre de 2005 hasta Marzo de 2006. Se determinó las variables para cada proceso y se identificó los potenciales de ahorro existentes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los resultados obtenidos en el desarrollo de la evaluación se detallan en la Tabla 1, en donde se muestra las pérdidas de energía y los ahorros energéticos que se pueden alcanzar.
El caldero opera con una eficiencia del 78%, que es una eficiencia relativamente baja ya que para un caldero de este tipo en condiciones mejoradas la eficiencia podría llegar a ser del 80% al 90%. (CONAE, 2002).
Las pérdidas energéticas en distribución de vapor ascienden a 15.4 E+7 kcal/año, esta pérdida es considerablemente alta, sin embargo es normal ya que estas pérdidas están identificadas como uno de los puntos de mayor pérdida energética en la industria (CONAE, 2002).
Se notó que la eficiencia térmica del proceso de pasteurización es de 44,86%, eficiencia baja comparada con la proporcionada por el fabricante pero plenamente justificada debido a las pérdidas afectada por la formación de costra (Rajú y Chand, 1987).

Para el proceso de pasteurización se requiere del 51.96% del vapor producido representando 106 Kg/h.
Las eficiencia determinadas para los equipos de doble camisa E-203, E-204, E-205 y E-206, son de 50.54%, 51.44%, 68.38% y 67.68% respectivamente que es baja comparándola con la máxima que pueden alcanzar estos equipos, máxima de 80% (Alvarado, 1996).
Los sistemas de refrigeración RS-401, RS-700, RS-701, RS-702, RS-500 y RS-50 evaluados operan a eficiencias de 79.72%, 80%, 80%, 80, 78% y 78% respectivamente. De esta forma se determinó que el consumo total de energía eléctrica por sistemas de refrigeración es aproximadamente de 145 Mw.h/año, lo que representa 17,400.00 $/año.
Las bombas P-100, P-101, P-400, P-401, P-402, P-450, P-700, P-701, P-702, P-703, P-704, P-800, P-801 y P-802 presentan eficiencia del 53%, 48%, 51%, 51%, 38%, 32%, 32%, 50%, 31%, 37%, 35%, 50%, 50% y del 54% respectivamente.

Tabla 1. Pérdidas energéticas.

Sistemas	Descripción	Pérdida energética	Ahorro energético
Generador de vapor.	Exceso de aire	3.21E+07 kcal/año	3.21E+07 kcal/año
	Gases de combustión	3.07 E+07 kcal/año	3.07 E+07 kcal/año
Distribución de vapor.	Falta de aislante	3.97 E+07 kcal/año	3.47 E+07 kcal/año
	Tanques sin aislante	8.4 E+06 kcal/año	7.13 E+06 kcal/año
	Aislante en mal estado	8.68 E+07 kcal/año	6.94 E+07 kcal/año
	Fugas y orificios	1.9 E+07 kcal/año	1.9 E+07 kcal/año
Intercambiadores de calor.	Pasteurizador	3573.72 lit comb/año	3573.72 lit comb/año
	Fermentadores	3282.34 lit comb/año	1069.28 lit comb/año
Refrigeración.	Cámaras de frío	3.76 Mw.h/año	14.6 Mw.h/año
	Chiller	25.58 Mw/año	
Bombeo.	Bombas centrífugas	------	------
Aire comprimido.	Compresores	------	------

Las eficiencias encontradas en los sistemas de aire comprimido son de 62.33% y 59.41 % para los compresores C-600 y C-601 respectivamente. Estas eficiencias no corresponden a las dadas por sus fabricantes pero sin embargo se observó que no son bajas considerándose que los requerimientos de aire comprimido son menores en los procesos productivos de la planta.

CONCLUSIÓN.

Las medidas de oportunidad de ahorro establecidas en este estudio son técnica y económicamente viables con lo cual se concluye que de implementarse representarían un ahorro económico para la planta de 7108.0 $/año.

Tabla 2. Ahorros económicos.

Mejora a implementar	Ahorro anual ($/año)	Inversión ($)	Periodo de recuperación de la inversión (años)
Reducir el exceso de aire en las calderas.	935.07	400	0.43
Instalación de un economizador.	894.42	2,600	2.91
Completar aislamiento en tuberías.	1,284.91	1,105.12	0.84
Cambiar material de aislamiento en líneas de vapor.	256.73	335.33	1.2
Aislamiento en tanques cilíndricos de agua caliente.	26.42	19.19	0.72
Reparación de fugas y orificios.	723.25	207	0.48
Reducir la temperatura del producto en la zona de retención	979.2	-	-
Determinar las pérdidas de combustible por baja eficiencia del proceso de pasteurización de yogurt.	293.0	-	-
Determinar las pérdidas de energía eléctrica por bajo COP (coeficiente de operación).	1,760.00	-	-

REFERENCIAS.

Capacitación Auditoría Energética –Conferencias al Público EERSSA, 2004.

ALFA- LAVAL THERMAL LUND. 1992. "Especificaciones del intercambiador de calor de placas piloto". A-L México.

ALVARADO, J. D., "Principios de ingeniería aplicados a alimentos" E. Acribia, Secretaria general de los estados amerianos programa regional de desarrollo cientifico y tecnologico programa multinacional de biotecnología y tecnología de alimentos, 1996.

American National Standards Institute (ANSI) Secc. B 31 (Última edición)

ASME Power Test Codes, Código PTC 4.1 para pruebas de potencia en unidades de generación de vapor, 1964.

BRIZUELA E. / ROMANO S. "Combustión", Departamento de Ingeniería mecánica y naval, Facultad de Ingeniería, UBA, año 2003. Parte 1.

BRIZUELA E. / LOZA J. "Combustión", Departamento de Ingeniería mecánica y naval, Facultad de Ingeniería, UBA, año 2003. Parte 2.

B&W MEXICANA, "Ingeniería y Selección de Calderas, reposición de proyectos térmicos, Licenciada de Backcok Co USA, Enero- Septiembre de 1987.

CAMARA MADRID "Manual de auditorias energéticas", 1ª Edición, Madrid abril 2003.

CENGEL Y. / BOLES M. "Termodinámica" 2ª Edición. E. McGraw-Hill, 1996.

CHENOWETH M., 1981. "FOULING IN HEAT EXCHANGERS EQUIPMENT". The American Society of mechanical engineers. 105 páginas.

CIBO. Council of Industrial Boiler Owners, "Energy Efficieney Handbook" 1997, USA.

CLEAVER BROOKS, "Boiler books 2006".

CONAE "Metodología para el desarrollo de diagnóstico energético en sistemas de generación y distribución de vapor". Versión 1.4, Octubre 1997, fecha de actualización, marzo 25, 2002, México.

CONAE "Diagnósticos energéticos del sistema de generación y distribución de vapor de corporativos y pequeñas empresas", 1999, México.

COPELAMETIC, "Manual válvulas de control", servicio técnico, Septiembre 2003.

Department of Energy (DOE) de los E.E.U.U. American Boiler Manufacturers Association (ABMA).
DOE FUNDAMENTALS HANDBOOK "Engineering symbology, prints and drawings" Volume 1 and 2, U.S. Department of Energy, Washington D.C. 20585, DOE-HDBK-1016/1-93 January 1993.
DOE FUNDAMENTALS HANDBOOK "Thermodynamics, heat transfer and fluid flow" Volume 1 to 3, U.S. Department of Energy, Washington D.C. 20585, DOE-HDBK-1012/1-92 June 1992.
"Energy Management Handbook", Cuarta Edición, New York USA, E. Marcel Dekker Incorporated 2002.
FERNANDEZ D. P., "Mecánica de fluidos", Universidad de Cantabria, Departamento de Ingeniería eléctrica y energética, 2005. http://www.termica.webhop.info/
FESTO, "Introducción a la neumática", Festo didactic, manual de estudio, 3ª Edición.
GAISER E., KOTTKE V, "High performance plate heat exchangers", Chemical Plants & Processing, N° 9 / 1990 – Reproducido por W.Schmidt – Bretten GmbH
GANAPATHY, V. "Industrial Boilers and Heat Recovery Steam generators: Desing, Aplications, and Calculations". New York, NY, USA: Marcell Dekker Incorporated, 2000.
GEANKOPLIS, C.J.. 1999. "Procesos de transporte y operaciones unitarias". Tercera Edición. Editorial CECSA, México.
HERNANDEZ, Goribar Eduardo, "Apuntes del laboratorio de máquinas térmicas", Facultad de Ingeniería (U.N.A.M.).
HIMMELBLAU D. "Principios básicos y cálculos en ingeniería química" E. Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., Sexta Edición, año 1997.
HOLMAN, J. 1972. "Heat transfer" Tercera Edición. McGraw-Hill, New York E.U.A.
INDUSTRIAL TECNOLOGIES PROGRAM, "Improving process Heating system performance, A sourcebook for Industry", U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, URL www.eere.energy.gov.
IÑIGUEZ S. "Prontuario de operaciones Unitarias" Universidad Técnica Particular de Loja, Escuela de ingeniería en Industrias Agropecuarias, año 2003.
ISOVER, "Manual de aislamiento en la industria", Mercaillament división aislamientos, Badalona, 2003. - www.salvadorescoda.com/tecnico/AI/AislamientoTermicoIndustrial.pdf – fecha de acceso 22 de marzo de 2006.
JUNTA DE ANDALUCIA, "Plan de ahorro y eficiencia energética 2004-2006 en Andalucía Subsector Industria química", Sociedad para el desarrollo energético de Andalucía Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa, 2004.
KERN, D. 1984. "Procesos de transferencia de calor". 18 edición. Editorial Continental.México.
MARTINEZ P. Carlos, "Fenómenos de transporte y mecánica de fluidos, Aspectos teóricos", Universidad Mayor, Facultad de Ingeniería, Santiago-Chile, Marzo del 2002.
MARTINEZ P. Carlos, "Transferencia de calor, Aspectos teóricos", Universidad Mayor, Facultad de Ingeniería, Santiago-Chile, Marzo del 2002.
MC.CABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOTT, Peter. "Operaciones unitarias en ingeniería química". McGraw Hill, 1991, cuarta edición. Sección 3.
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y PLANIFICACIÓN, "Guía para el análisis y evaluación de calderas y redes de distribución de vapor", Inspección Estatal Energética, Cuba 2000.
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y PLANIFICACIÓN, "Guía para el análisis y evaluación del sistema de climatización y refrigeración", Inspección Estatal Energética, Cuba 2001.
MOLINA I. Luis Alfonso / MOLINA I. Gonzalo, Centro para el Ahorro y Desarrollo Energético y Minero, S.A. (CADEM), "Manual de eficiencia energética térmica en la industria" (Tomo I y II), Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Bilbao, España, 1984.
NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-009-ENER-1995 "Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales".
OCON / TOJO, "Problemas de Ingeniería química" Tomo I y 2, Segunda edición 1982.
PERRY, Robert; GREEN, Don y MALONEY, James. Perry: "Manual del Ingeniero Químico". 6ed. México: McGraw Hill,1998. Vol III, Pág. 9-72 a 9-83. ISBN 468-422-973-9
RAJU K.S., CHAND Jagdish, "Consider the plate heat exchanger" Heat Transfer, the Chemical Engineering Guide, Volume 2, pág 241 a 252, McGraw Hill Public.Co, 1987
RODRIGUEZ J. A., "Introducción a la termodinámica, con algunas aplicaciones de ingeniería", Universidad Tecnológica Nacional. Julio del 2002.
ROMERO Sánchez, "Prevención del riesgo de explosión en calderas" INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, Documentos Técnicos, Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 68:92, Noviembre 1992.
SANCHEZ Teresa, "INGENIERÍA DEL FRÍO: teoría y práctica", AMV Ediciones-Mundi Prensa, 1ª Edición 2001.
SANDU C. / SINGH R. 1991. "Energy increase in operation and cleaning due to heat exchanger fouling in milk pasteurization". Food Technology. December 1991. pp 84-91.
SMITH, J.M., VAN RESS, H.C., "Introducción a la termodinámica en ingeniería química", McGraw Hill, Mexico, 1986.
THUMANN, Albert / MEHTA, D. Paul, "Handbook of energy engineering" Second Edition, The Fairmont Press Inc., U.S.A., 1991.
UBA, "Práctica de Guía N° 7 Compresores del departamento de ingeniería química", Universidad de Buenos Aires, Argentina, 1996.
VALLE F. A. "La seguridad en calderas" INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.
VELEZ C. / MINCHALA R. "Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la planta de lácteos ECOLAC", Tesis de grado Ingeniero Químico, UTPL, 2004.
VERA A. P., "Cálculo de un sistema de refrigeración para dos cámaras de conservación de alimentos a temperaturas diferentes", Tesis de grado Ingeniero Mecánico, ESPOL, 2003.

EQUIPO DE CRIOCONCENTRACIÓN DE FLUIDOS POR PLACAS DE PELÍCULA DESCENDENTE

Raventós, Mercè[1], Auleda, Josep Maria[1], Hernández, Eduard[1], Ibarz,Albert[2]
[1]UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUNYA
Departamento de Ingeniería Agroalimentaria
Avda. Canal Olímpic s/n 08860 Castelldefels (BARCELONA)-ESPAÑA
E. mail: merce.raventos@upc.edu
[2]UNIVERSIDAD DE LLEIDA (UdL)- UTPV - CeRTA
Departamento de Tecnología de Alimentos.
Av. Rovira Roure, 191 25198 - LLEIDA - ESPAÑA

Palabras clave: equipo de crioconcentración, fluidos, zumos, °Brix, intercambiador de placas.

RESUMEN

La crioconcentración es una técnica basada en la separación de sólidos solubles de una solución, mediante la congelación del agua que esta contiene. Existen equipos en el mercado en que la cristalización del hielo se realiza a presión elevada. En este caso se encarece la operación y la separación de los cristales se hace mediante centrífugas, filtros o columnas de lavado.
En este trabajo se presenta el nuevo equipo diseñado y se muestran las bases de funcionamiento para la concentración de fluidos. El equipo trabaja a presión atmosférica usando placas de acero inoxidable soldadas dentro de las cuales circula un fluido refrigerante a modo de intercambiador de calor.

INTRODUCCIÓN

La concentración es una operación muy utilizada en la industria alimentaria para reducir el volumen de producto y facilitar su manejo, transporte, almacenamiento y conservación. La crioconcentración se basa en la separación de sólidos solubles de una solución mediante la congelación del agua que esta contiene. Se presenta el desarrollo de un equipo semiindustrial que permita su aplicación en la industria alimentaria. Se persigue la obtención de un producto de gran calidad a un coste competitivo.

Hay dos métodos esenciales para cristalización de hielo en soluciones. Uno es la cristalización en capa sobre una superficie fría (Muller & Sekoulov, 1992; Flesland 1995, Miyawaki 2001), y el otro es la cristalización en suspensión (Huige & Thijssen, 1972). A escala industrial para la concentración de fluidos alimentarios el sistema de crioconcentración que se emplea se basa en el método de cristalización en suspensión. Dicho método ha sido ampliamente investigado (Huige & Thijssen, 1972; Huige 1972). En este sistema es muy importante el crecimiento o formación de cristales de hielo suficientemente largos para una sencilla separación de la solución (Omran & King, 1974; Shirai et al, 1985; Hartel, R.W. and Chung, M.G, 1993).

Se ha aplicado en la concentración de líquidos alimentarios tal como zumos de frutas (Thijssen, 1986; Valente, 1986; Ramteke, 1993; Van Weelden, 1994; Maltini & Mastrocola, 1999; Chiampo, F., Conti R., 2002; Ramos,F.A, 2005), zumo de tomate (Miyawaki, 2005), zumo de caña de azúcar (Rane M.V., Jabade K.S 2005), cerveza (Patino et al., 1991) y productos lácteos (Van Mill & Bouman, 1990; Hartel. R.W. and Chung, M.G, 1993; Hartel, R.W. and Espinel, L.A. 1993; Zhang, Z., and Hartel, R.W., 1995; Chen, P. 2000; Aider, M. 2007).

También existe tecnología y equipos industriales que utilizan la cristalización en capa sobre superficies frías para la producción de hielo en escamas (Mueller, Omega Engineering,). No se conoce la aplicación a escala piloto de esta tecnología para concentración de fluidos alimentarios.

Para ensayar un sistema de crioconcentración más simple que los que se usan hasta el momento, se ha desarrollado un nuevo equipo para trabajar a presión atmosférica utilizando placas en lugar de la nucleación convencional lo que permite obviar la separación física de cristales que es sustituida por un cambio de ciclo en el circuito refrigerante.
En este documento se presenta el esquema del equipo diseñado, sus bases de funcionamiento y los primeros resultados obtenidos.

MATERIALES Y METODOS

se realiza a presión atmosférica sobre placas dobles de acero inoxidable AISI 316L soldadas de modo que por su interior circula un fluido refrigerante (Fig. 1). Su recorrido zigzagueante permite mantener la temperatura de congelación en la totalidad de las placas que actúan a modo de evaporador del circuito frigorífico. A su vez, el fluido a concentrar se distribuye homogéneamente por la parte superior formando una fina lámina de unos 2 mm de espesor que desciende y se recircula continuamente gracias al impulso de una bomba.

Una vez se ha recogido el concentrado, los cristales formados en la placa se deshacen mediante una inversión de ciclo de modo que puedan ser retirados de forma simple.

Cada etapa se inicia con la misma cantidad de solución (35 L) a la concentración con que se finalizó la etapa anterior. Por este motivo, al inicio de cada etapa debe prepararse una cantidad de solución igual al hielo eliminado en la etapa anterior pero de la concentración de partida. Entre cada dos etapas de concentración la solución de conserva en cámara frigorífica a ± 0ºC.

La cristalización se realiza a presión atmosférica sobre 5 placas dobles (800 x 600 mm) de acero inoxidable AISI 316L soldadas de modo que por su interior circula un fluido refrigerante (R-404 A). Su recorrido zigzagueante permite mantener la temperatura de congelación en la totalidad de las placas que actúan a modo de evaporador del circuito frigorífico.

A su vez, el fluido a concentrar se distribuye homogéneamente por la parte superior mediante 6 tubos de PVC Ø 32 x 2,4 mm perforados linealmente con orificios circulares de 2 mm de diámetro, separados 1-2 cm entre si. Con esta disposición se consigue una fina lámina de unos 2 mm de espesor que desciende y se recircula continuamente gracias al impulso de una bomba. Se trata de una bomba centrífuga de 0,75 kW de potencia, caudal entre 30-100 L/min, altura manométrica 21-30 m.c.a.

El sistema frigorífico sigue un ciclo de compresión convencional, condensación por aire y compresor hermético 1,38 kW, (potencia frigorífica: 2,870 kW a -5ºC).

El circuito hidráulico dispone de una bomba centrífuga de 0,75 kW de potencia, caudal entre 30-100 L/min que impulsa el

fluido hacia el colector que alimenta a 6 conductos de distribución de PVC Ø 32 x 2,4 mm perforados linealmente con orificios circulares de 1-2 mm de diámetro, separados 1-2 cm entre si, dependiendo del grado de concentración de la solución. Con esta disposición se consigue una fina lámina de unos 2 mm de espesor que desciende a ambos lados de la placa y se recoge en el depósito para su recirculación.

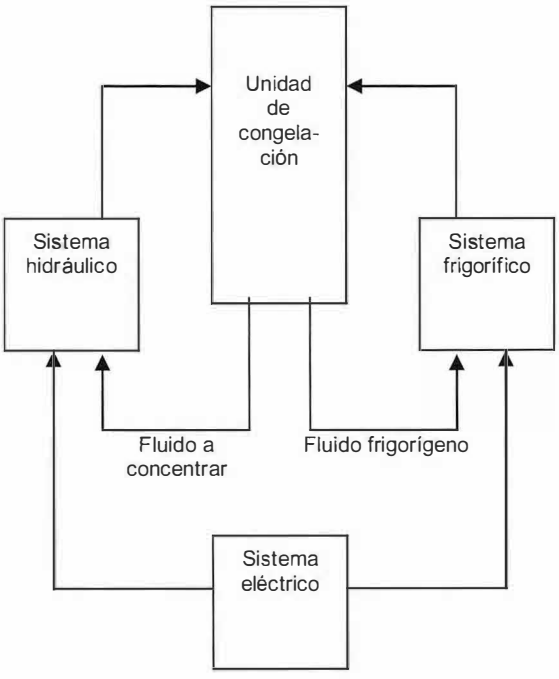


Figura 1 Esquema básico de funcionamiento del equipo de crioconcentración diseñado

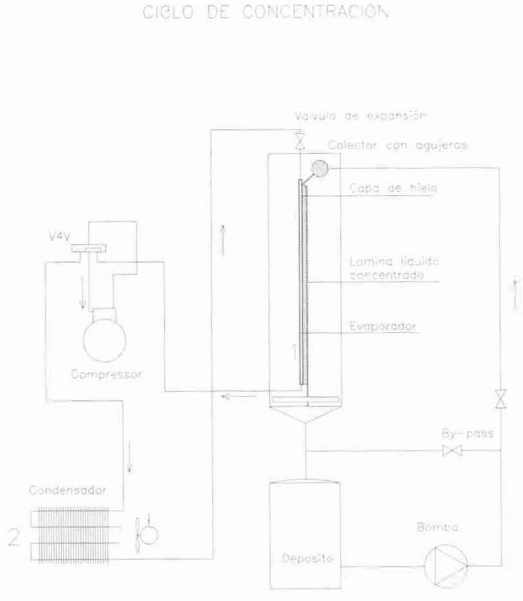


Figura 2 Equipo en fase de concentración

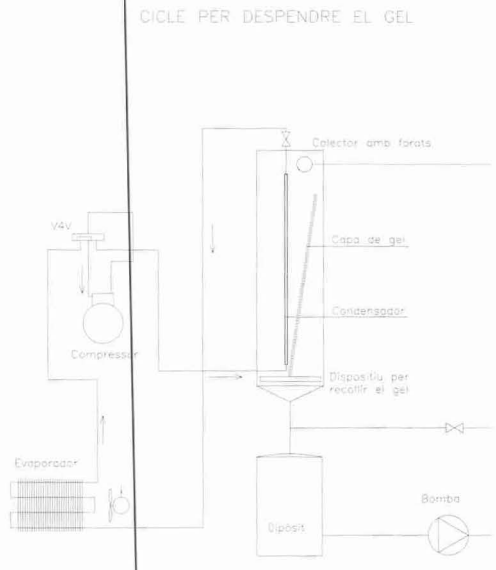


Figura 3 Equipo en fase de desescarche

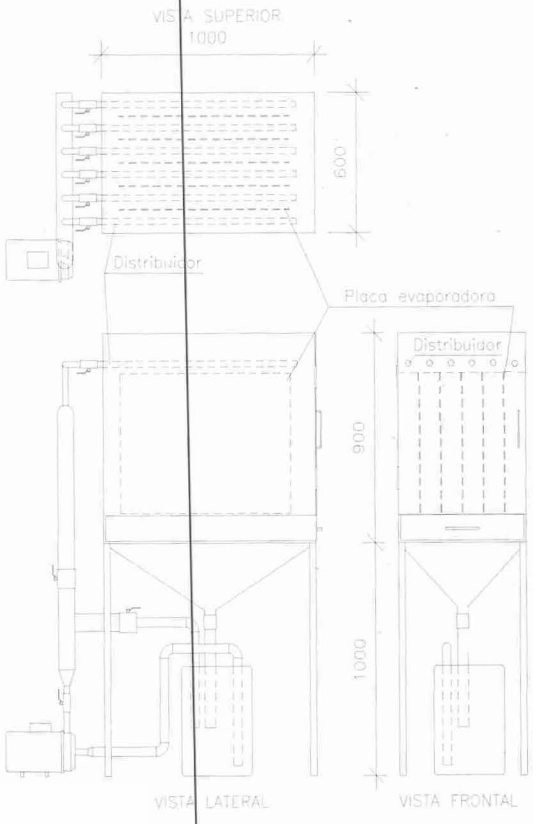


Figura 4 Esquema básico del equipo de crioconcentración diseñado

El caudal ensayado es del orden de 0,95 L/s. para una solución de 10ºBrix.

La medida de temperatura de la solución se ha realizado con un termómetro digital TESTO, provisto de sonda con banda termopar tipo K, con una resolución de 0,1ºC. La temperatura del refrigerante se toma a partir del dispositivo manométrico situado en la línea de baja presión del sistema frigorífico del equipo.

La concentración de la solución se determina con un refractómetro digital automático ATAGO modelo DBX-55A con un rango de medida de 0-55 °Brix.
Se trabaja por etapas de concentración (Fig. 2), de manera que cuando se alcanza un espesor suficiente de hielo (aproximadamente 1 cm de promedio), se realiza la inversión del ciclo frigorífico (desescarche) para separar el hielo formado sobre la placa (Fig. 3), que se recoge en la bandeja inferior perforada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El equipo diseñado permite obtener, en las condiciones de ensayo utilizadas hasta el momento, concentrados de 31,2ºBrix de sacarosa, 24,9ºBrix de glucosa y 26,6ºBrix de fructosa. En zumos, se han obtenido concentraciones de 30,8ºBrix en pera y de 30,2ºBrix en manzana. Se encuentra un comportamiento diferente según cual sea la solución ensayada. Es destacable la producción de espuma en zumos naturales.

CONCLUSIONES

El equipo es más productivo en soluciones con baja concentración de solutos. Parece factible que después de las oportunas pruebas para mejorar los parámetros de interés (grado de concentración, producción y pureza de hielo), pueda emplearse en la pre-concentración de fluidos alimentarios, o bien combinarse con otros sistemas (evaporación, ósmosis inversa) para obtener concentraciones más altas.

La pureza del hielo disminuye a medida que aumenta el grado de concentración. Si bien la pureza del hielo es inferior respecto a equipos comerciales existentes en el mercado, es de destacar la simplicidad, tanto constructiva como de utilización, del equipo ensayado

Los resultados de los ensayos realizados en equipos de laboratorio (Flesland 1995; Chen 1999) se confirman satisfactoriamente en esta aplicación a escala piloto.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Aider, M., de Halleux, D., and Akbache, A (2007). Whey cryoconcentration and impact on its composition. *Journal of Food Engineering*. 82. 92-102
- Chen, P., Chen, X.D. y Free, K.W. (1999). An experimental study on the spatial uniformity of solute inclusion in ice formed from falling film flows on a sub-cooled surface. *Journal of Food Engineering*. 39: 101-105.
- Chen, P., Chen, X.D, (2000) A generalized correlation of solute inclusion in ice formed from aqueous solutions and food liquids on sub-cooled surface. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*.78, 312-319.
- Chiampo, F., and Conti, R., (2002). Crioconcentrazione di succhi di frutta in un impianto pilota. *Industrie delle Bevande*. 31: 182, 550-554.
- Flesland, O. (1995). Studies on freeze concentration by suspension and layer crystallization. Ph. Thesis. University of Trondhein. Norway.
- Hartel, R.W. y Espinel, L.A. (1993). Freeze concentration of skim milk. *Journal of Food Engineering* 20: 101-120
- Hartel, R.W., and Chung, M.G. (1993). Contact nucleation of ice in fluid dairy products. *Journal of Food Engineering*. 18: 281-296.
- Huige, N.J.J (1972). Nucleation and growth of ice crystals from water and sugar solutions in continuous stirred tank crystallizers. PhD Dissertation. University of Eindhoven, The Netherlands.
- Huige, N.J.J. and Thijssen. H.A.C. (1972). Production of large crystals by continuous ripening in a stirred tank. *J. Crystal Growth*. 13/14. 483-487
- Maltini, E., and Mastrocola, D (1999). Preparazione di succo integrale crioconcentrato di kiwifruit, *Industrie delle Bevande*, 28 (159), 6-9
- Miyawaki. O. (2001). Progressive freeze-concentration: a new method for high-quality concentration of liquid food. *Food Engineering Progress*. 5(3), 190-194
- Miyawaki. O. (2005). Tubular ice system for scale-up of progressive freeze-concentration. *Journal of Food Engineering*, 69: 107-113
- Müller, M., and Sekoulov, I. (1992). Waste water reuse by freeze concentration with a falling film reactor. *Wat. Sci. Tech.* 26(7-8), 1475-1482.
- Omran, A.M. and King, C.J. (1974). Kinetics of ice crystallization in sugar solutions and fruit juices. *AIChE Journal*. 20(4), 795-803
- Patino, H., Knudsen, F.B., Gress, H.S., and Heard, G.E. (1991). Use of freeze concentration for preparing malt liqueurs, *Technical Quarterly Master Brewers Association of the Americas*. 28 (3), 108-110
- Ramteke, R.S., Singh, N.I., Rekha, M.N. y Eipeson, W.E. (1993). Review. Methods for concentration of fruit juices: a critical evaluation. *J. Food Sci. Tchnol*, 30 (6): 391-402.
-Ramos, F.A., Delgado, J.L., Bautista, E., Morales,A.L., Duque,C.(2005). Changes in volatiles with the application of progressive freeze-concentration to Andes berry. *Journal of Food Engineering* 69, 291-297.
- Rane,M.V., Jabade,S.K. (2005). Freeze Concentration Of Sugarcane Juice In A Jaggery Making Process. *Applied Thermal Engineering*. 25, 2122-2137
- Raventós,M., Hernández,E., Auleda, J.M. y Ibarz, A. (2007). "Concentration of aqueous sugar solutions in a multi-plate cryoconcentrator" *Journal of Food Engineering*. 79: 577-585
- Shirai, Y., Nakanishi, K., Matsuno, R., Kamikubo, T. (1985). Effects of polymers on secondary nucleation of ice crystals. *J. Food Sci*. 50: 401-406.
-Thijssen, H.A.C. (1986) The economics and potentials of freeze concentration for fruit juices. International Federation of Fruit Juice Producers, XIX Scientific Technical Commission. Symposium Den Haag. Grenco Process Technology and Dept. of Chemical Engineering, Eindhoven University of Technology. pp 97-103.
- Van Mil, P.J.J.M. y Bouman, S (1990). Freeze concentration of dairy products. *Neth. Milk Dairy* J. 44: 21-31
- Valente, M., Duverneuil, G. y Nicolas, J. (1986). Studies on freeze concentration of whole kiwi fruit, ISHS Acta Horticulturae 194; 249-260. *International Symposium on Fruit and Vegetables for Processing*, Capetown (South Africa)
- Van Weelden, (1994.) Freeze concentration: the alternative for single strength juices, *Fruit Processing*, 4(5): 140-143 Niro Process Technology, The Netherlands
- Zhang, Z., & Hartel, R.W., (1995). A multilayer freezer for freeze concentration of liquid milk. *Journal of Food Engineering*. 29, 23-28.

PROTOTIPO PARA LA GRANULACIÓN DE PANELA GRANULADA

Sandoval, Galo; Mora, Wilson y Tuz, Carlos
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CENTRO DE INVESTIGACIONES
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS
Casilla 18-01-0334. E. mail. fcial@uta.edu.ec
AMBATO - ECUADOR

Palabras clave: Equipo, prototipo de maquina para granular panela

RESUMEN

En la investigación de tecnologías apropiadas o alternativas, la fabricación de nuevos productos siempre viene acompañada de problemas tecnológicos y de equipamiento a resolver. La panela granulada, es una nueva presentación de la ancestral panela en bloques, fabricada a partir del jugo de la caña de azúcar, Saccharum officinarum. La granulación, es un fenómeno físico químico que se produce al cristalizar la sacarosa saturada al final del proceso de elaboración, en el "punteo" de las mieles.

En las plantas paneleras de producción artesanal del país y de los de América Latina, esta fase se la realiza mediante una intensa agitación manual de las mieles utilizando un pisón de madera, para fraccionarla. Para ello se requiere un gran esfuerzo muscular. Esto afecta a la productividad y calidad del gránulo.

Para solucionar estos inconvenientes, se ha diseñado y construido una máquina de forma prismática con base semicilíndrica, horizontal; provista de un eje con aspas en forma de cuchillas y/o peines que giran a una velocidad de 120-150 RPM, batiendo el material saturado, eliminando los gases y el vapor de agua residual. Este movimiento pulveriza el material hasta obtener un producto granulado con cristales de tamaño entre 0.5 a 2 mm, con las características de la norma ecuatoriana

INTRODUCCIÓN

Partiendo del principio de que las máquinas se diseñan y construyen para alivianar el esfuerzo del hombre en el trabajo, aligerar la producción, perfeccionar los acabados y producir bienes o productos en serie; este estudio trata de mejorar el rendimiento de producción de panela granulada reemplazando el batido manual de la cristalización de la sacarosa saturada de las mieles de la caña de azúcar en cocción, por el batido mecánico de una máquina construida para el efecto.

Actualmente, la fabricación de panela granulada tiene la siguiente secuencia de fabricación: (1)

-Extracción del jugo de la caña de azúcar.- Prelimpieza y limpieza del jugo en frío.- Calentamiento y clarificación del jugo.-Descachazado.- Concentración.-Punteo. Reposo y enfriamiento.- Batido manual/Cristalización en artesas de madera. (2).- Clasificación granulométrica (tamizado en zarandas metálicas).- Envasado y almacenamiento.(3)

OBJETIVOS

General.- Mejorar el proceso de granulación de la panela aplicando técnicas mecánicas en el proceso de saturación de las mieles de la caña de azúcar en cocción

Objetivos específicos:

-Desarrollar una máquina batidora de miel de caña de azúcar para producir panela granulada
-Sustitución del batido manual por el batido mecánico para la cristalización de la sacarosa
-Obtención de panela granulada con cristales de sacarosa, que cumplan la Norma ecuatoriana NTE 2 332 2001. (4)

METODOLOGÍA

Para el diseño de un equipo o máquina en los proyectos de investigación necesarios para mejorar procesos, se pretende metodizar siguiendo los siguientes pasos en el proceso:

- Información y recopilación bibliográfica,
-Evaluación de la información,
-Boceto de máquina,
-Construcción de microprototipo para corroborar la teoría,
-Pruebas de funcionamiento de microprototipo
-Diseño y construcción de prototipo definitivo
-Cálculo de la capacidad de producción de la máquina
-Cálculo de la potencia del motor
-Pruebas de funcionamiento en plantas piloto y paneleras

INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA. (5)

Recopilación de información técnica: en bibliotecas, Internet, publicaciones; y contactos personales o correo con investigadores sobre máquinas similares o soluciones dadas en otras esferas sobre el problema técnico a resolver; habiéndose comprobado que este problema técnico no se ha solucionado en las paneleras. En algunos centros paneleros se ha tratado de resolver la granulación, mediante la molienda en molinos; o mediante un raspado de los bloques de panela. En todo caso, los resultados de los estudios no se han divulgado.

Normas técnica del producto, Clasificación, requisitos complementarios.

Para la panela granulaca, la Norma Técnica ecuatoriana NTE INEN 2:2001, exige los siguientes requisitos físico-químicos y microbiológicos; de los cuales se anotan: (4)

-Clasificación: Extra, Primera y Segunda		
-Color T (550 nm)	entre	30 - 75
-Azúcar reductor %	"	5.5 - 10
-Sacarosa %	"	75.0 - 83.0
-Humedad %		--- 3
-pH		5.9

-Requisitos microbiológicos: Recuentos de mohos y levaduras, de $1.0x10^2$ a $2.0x10^2$

Normas de otros países

La norma colombiana ICONTEC No. 1311 "Productos Agrícolas-Panela" indica los requisitos que debe cumplir la panela destinada al consumo humano; y define como el "producto sólido obtenido por evaporación abierta de los jugos de la caña de azúcar " ; y establecen requisitos de color, turbidez azúcares reductores, proteína, cenizas. Se clasifican en Extrafina, Primera y Segunda, de conformidad con el la turbidez, contenido de azúcares reductores, etc. (6)

Análisis físico-químicos.

Para evaluar la calidad y enmarcarse dentro de los parámetros de calidad y normas existentes, se han utilizado los análisis de

laboratorio, de acuerdo, R. Lees, la AOAC; y otros métodos, modificándolos para el uso en la panela granulada.(7)

Equipos similares en el mercado:
A la fecha del estudio, no se encontraron referencias bibliográficas de máquinas que realicen esta etapa del proceso de fabricación de panela granulada.
Soluciones dadas a problemas técnicos similares en otras latitudes,
Por referencia directa, se conoce que en Colombia se trabaja utilizando un molino de martillos. En Guatemala, en una reunión de paneleros de varios países latinos en 2002, se resolvió encargar a Ecuador resolver este problema técnico, diseñando una máquina para realizar el batido mecánico para elaborar panela granulada

Es fundamental considerar los siguientes factores en la elaboración del producto: (8)
-Temperatura final de cocción de las mieles; conocido como "punteo" en las paneleras. (9)
-Temperatura de saturación y/o ingreso del material a la maquina máquina granuladora,
-Volumen de material a trabajar; porque esto dará el tamaño de la máquina a diseñar. No es posible trabajar con grandes cantidades de miel; pues, simultáneamente con el enfriamiento, se produce en la artesa o en la batidora trozos o aglomerados duros de fraccionar y granular en la máquina.
-Densidad aparente. Es determinante la cantidad de masa en la máquina en relación al volumen procesado
-Higroscopicidad del material en proceso. Esto determina el tiempo de manipulación del producto entre la granulación y el envasado.

Soluciones alternativas planteadas:
a.- Se ha considerado la adaptación de maquinarias existentes mezcladoras o batidoras de harinas y de otros materiales, para aplicarlos en la granulación de la panela; o buscar la posibilidad de mejorar las del mercado; pero no se ha encontrado información técnica o referencias bibliográficas sobre la existencia de una máquina para granular la panela.
b.- Al no ser posible la primera opción, se decide construir una nueva máquina de acuerdo a los requerimientos del material a procesar, aprovechando la información obtenida.
Para ello, se ha considerado los principios y fundamentos del Manual del Ingeniero Mecánico Volumen II, Segunda edición, sección 10 Manejo de Materiales, de Baumister, T. y Avallone, T.; en donde, para calcular el flujo o caudal del material en un transportador sinfín han formulado una ecuación para calcular la potencia del motor que mueve el sistema.

DISEÑO

Actividades y consideraciones técnicas ejecutadas en el diseño:
a. Dibujo de boceto primario del equipo,
b. Conocimiento y discusión del problema en el panel de investigadores y el constructor metalmecánica,
c. Materiales de construcción a utilizarse: Acero inoxidable No. 304, apto para puso en alimentos para la carcasa y las superficies en contacto con el mismo; de resistencia mecánica adecuada a la presión que ejerce el material contra las paredes; posibilidades de sustituirse en caso de no existir en el mercado nacional.
d. Características ergonómicas de la máquina: facilidad de manejo unipersonal, 75 cm de altura; protección del operador en la carcasa, para evitar peligros de proyección de partículas, protección de descargas de corriente eléctrica, entrada de material, salida de producto, etc.,
e. Alternativas de funcionamiento:
Funcionamiento manual o mecánico con energía eléctrica de 110, 220 V, o trifásico, de 60 hz. Se manejaron algunas soluciones posibles:
Maniobrabilidad por parte de un operador ligeramente entrenado
Soluciones eléctricas, motor monofásico, trifásico, motoreductor u otro.
Acople de sistema eléctrico y/o electrónico para implementar automatismos
f. Tipo de proceso: batch/continuo; dependiendo de sus posibilidades técnicas y económicas.
g.- Con las observaciones de los investigadores y del constructor se realiza el diseño y construcción de un pequeño equipo aplicando la información de la investigación bibliográfica.

CONSTRUCCIÓN DE MICROPROTOTIPO PARA PROBAR LA TEORIA ESTUDIADA

En determinadas ocasiones es aconsejable construir un pequeño equipo o microprototipo para comprobar las características técnicas estudiadas para su construcción y funcionamiento. Para el caso presente, se construyó un pequeño equipo de 30 x 17 x 10 cm, provisto de 18 paletas que en forma de brazos soldados al eje, rotan manualmente movidas con una manivela.

Pruebas de funcionamiento de microprototipo
Con este pequeño equipo de capacidad para 600 gramos de material se preparó panela granulada siguiendo el proceso indicado. Se probó el funcionamiento de las paletas,; determinando las RPM aproximadas del eje operado manualmente con una manivela; y la inclinación de paletas del eje para el avance del material desde el ingreso, hasta el otro extremo del equipo.

EL PROTOTIPO DEFINITIVO

Actividades y consideraciones técnicas ejecutadas:
-Dibujo del prototipo definitivo con las observaciones y recomendaciones del panel de evaluación de funcionamiento del microprototipo
-Selección definitiva de materiales de construcción
-Requisitos ergonómicos y de seguridad
-Cálculos: de flujo de material en la máquina, de la potencia del motor que mueve la máquina, del tiempo del proceso; y otros
Como ya se indicó, para la construcción del prototipo se consideró los principios de mezclas de sólidos en un túnel horizontal. (10)

INGENIERIA DEL EQUIPO

Potencia del motor:
Según Link-Belt Co, en el Manual del Ingeniero Mecánico tomo II, dice que la potencia del motor para un transportador horizontal sinfín se puede calcular con la fórmula siguiente: (10. p 10-50)

$P = HG/E$

H = Potencia en la cabeza del eje de transportador continuo en HP
G= Margen adicional que depende del caballaje
E = Factor de eficiencia del motor, 0.9 (10. p. 10-50)
$H = (A*L*N + C*W*L*F)*10^{-6}$

Cálculo del volumen de la máquina:
Volumen del cilindro

Radio	0.15 m
Largo	1.00 m
Ancho	0.30 m
Altura	0.38 m
Dens. aparente	554.2 kg/m^3
Revol/min	1.740 RPM

De la sección superior rectangular:

$V_1 = \pi * R^2 * L$
$V_1 = 3.1416*0.152*1.00$
$V_1 = 0.71\ m^3$

$V_2 = L*A*h$
$V_2 = 1.0*0.3*0.38$
$V_2 = 0.069\ m3$

$V_t = V_1 + V_2 = 0.104\ m^3$

Se anota que el material en la máquina ocupará la parte inferior del semicilindro, lo que cubre la altura del radio, es decir el equivalente a $V_1/2$

Por lo tanto: $0.71/2 = 0.035\ m^3$
En kg: $0.35 * \delta = 19.59$ kg
Considerando que la máquina funcionará 5 veces por hora y demora alrededor de 5-6 minutos por ciclo.
Se tiene: 19.59 * 5 = aprox. 100 kg/hora

La potencia en el eje de cabeza del motor H en HP

$$H = (A*L*N + C*W*L*F)*10^{-6} \quad (10.\ p\ 10\text{-}50)$$
$$P = HG/E$$

H = Potencia en la cabeza del eje del transportador
A = Factor tamaño t transportador. (10 tabla No. 3. p 1050) 255.0

L = Longitud del transportador en m	1.0 m
N = RPM del transportador	120
C = Cantidad material en kg/h	100
W = Densidad aparente del material en kg/m^3	554.20

Cálculo de la potencia en el eje de cabeza del transportador
H = 0.554.2 HP
Cálculo de la potencia del motor P en HP P = HG/E
P = 1.23 HP
Con el Factor de seguridad el 50%
P = 1.87 HP

Aprox. = 2 HP

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La capacidad teórica del equipo de granulación construido es de 58 litros. En las pruebas prácticas de granulación en la panelera artesanal de Pangua, con esta máquina, se obtuvo un rendimiento de alrededor de 70-80 kg por hora en esas condiciones de trabajo. Si esta máquina trabajaría 5 horas diarias, quiere decir que se podrá hacer aproximadamente 400 kg de panela granulada en una jornada de trabajo. Este trabajo mecánico de granulación, reemplaza en parte el trabajo de los obreros granuladotes, que en las condiciones actuales no podría fabricar este volumen de producto en el mismo horario.

El equipo diseñado podría trabajar en forma continua, siempre que no aparezcan gránulos endurecidos de tamaño superior a 2mm de diámetro; en cuyo caso es necesario separarlos, o quebrantarlos o fraccionarlos manualmente.

Características técnicas del equipo construido: (ver foto)
-Máquina batidora horizontal provista de 14 paletas pegadas al eje, en forma de peine que giran barriendo el interior de la carcasa; diseñadas para la reducción de partículas de los aglomerados del material.
-Sus paletas tienen un ángulo de inclinación adecuada para producir el desplazamiento del material dentro de la carcasa horizontal.
-Capacidad aproximada de trabajo: 60 a 70 kg de material
-Medidas exteriores: 140 x 32 x 75 cm
-Carcasa de 100 x 32 x 37 cm
-Motor de 2 HP, 1740 RPM, con reductor de velocidad a 120 RPM, 110 V.
-Botonera para arranque de motor
-Material de acero inoxidable
-Soporte o patas acero zincado de 5 cm por lado.
-Caja metálica de protección de motor



Gráfico No. 1. Máquina granuladora de panela diseñada y construida en el proyecto

Así mismo, utilizando carbonato de calcio grado alimenticios, se ha llegado a reemplazar el uso de mucílagos vegetales como la corteza de la balsa, para neutralizar los jugos, evitando la depredación del bosque. El carbonato es de fácil adquisición y empleo.
El producto obtenido es de calidad extra en un porcentaje superior al 90%, de acuerdo a la Norma Técnica INEN

CONCLUSIONES.-

Con la máquina prototipo para batir las mieles de la caña de azúcar para la elaboración de panela granulada, se ha podido demostrar que es posible mecanizar el duro trabajo del obrero "granulador" de la panela; utilizando la cual se conseguiría obtener panela granulada con los requisitos que exige la Norma ecuatoriana NTE 2 332 2001
Para ampliar la efectividad del equipo se recomienda extender el tamiz en su sección inferior, como también la instalación de un variador de frecuencia en el motor, para controlar las RPM del eje.
Con este sistema de granulación la capacidad de producción se la puede multiplicar en 2, 3 o 4 veces la producción actual, si es que a las instalaciones actuales se las complementa de marmitas de cocción, artesas de mayor capacidad; y de un sistema de calentamiento con calderos de vapor.

AGRADECIMIENTO

Proyecto de investigación ejecutado con el auspicio de Fondos para la Investigación, del Presupuesto de la Universidad Técnica de Ambato

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

1.- Observaciones directas en paneleras artesanales del país.
2.- FERNANDEZ A. Proyecto de factibilidad para la instalación de una Planta productora de Panela Granulada en el Cantón Pangua. P. 68-70. 1988. Ambato - Ecuador
3.- CORPOICA . Condiciones Ambientales para la Conservación de la Panela. Disponible en http://www.corpoica.org.co/panelanet/documentos/. Colombia. 2001
4.- INEN. 2001. Panela sólida y Panela Granulada. Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Norma INEN 331 P 2,3. :2001.
5.- Sandoval G. Producción Mecánica de Panela Granulada, Proyecto de Investigación, Universidad Técnica de Ambato. P 24, 25. 2004.
6.- ICONTEC. Productos Agrícolas Panela CDU: 644.14. 1985
7.- LEES R. Manual de Análisis de Alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 1969.
8.- Moya G. Manual para la producción de la panela.-CFN. P. 52, 53. 2000. Ecuador. P 67-68
9.-Caracterización Tecnica y Cultural de la Cadena Agroindustrial Panelera. Colombia. 2002. Disponible en www.ecuarural.gov/ecuagro/paginas/cana_e/cana_panelera.aspo
10.- Baumeister T. Avallone E. Baumeister III. Marks Manual del Ingeniero Mecánico. 9da. Edición en Español. P. 10-49, 10-50, 1051. 1984.

CONSTRUÇÃO DE LAVADORA DE LARANJAS EM ESCALA PILOTO PARA TESTE DE DESINFECÇÃO DE SUPERFÍCIE DE LARANJAS, FRENTE A *Alicyclobacillus acidoterrestris*

Rodrigues Jr., Salatir[1]; Barbosa, Marcos de Freitas; Ferreira, José Orlando; Reyes, Alessandra, Massaguer, Pilar Rodriguez de[2];
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, DEPTO. DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
R. MONTEIRO LOBATO, 80, CEP 13083-862, CAMPINAS – SP – BRASIL
[1]salatir5@gmail.com; [2]esteril@unicamp.br

Palavras-chaves: Desinfecção, *Alicyclobacillus acidoterrestris*, Lavador de frutas, Suco de laranja

RESUMO

Baseado nas condições de lavagem de um sistema industrial de uma planta de produção de FCOJ, foi desenvolvida uma lavadora em escala piloto, a fim de verificar a eficiência de dois sanitizantes (Dióxido de Cloro - 5 e 10 ppm - e Vortexx® ES – 1.25%) a diferentes pressões (4 e 10 bar), na desinfecção da superfície de laranjas contaminadas com *Alycyclobacillus acidoterrestris*. Para o desenvolvimento da lavadora foram usados softwares CAD/CAM. Como água de lavagem, foi usado o condensado proveniente de uma fábrica FCOJ, aquecido a 50°C (condição de uso na planta industrial).

Nos testes realizados com a lavadora, o sanitizante Vortexx® ES causou elevada redução na contaminação da superfície da laranja ($\gamma \geq 4.25$), enquanto que o dióxido de cloro teve reduzida eficiência na inativação dos esporos ($\gamma \leq 0.91$). A reduzida eficiência do Dióxido de Cloro pode ser explicada pela volatilização do gás para a atmosfera, logo após a saída da solução pelos bicos aspersores.

INTRODUÇÃO

A passagem pelas lavadoras industriais é parte essencial do conjunto de operações que visam reduzir a contaminação superficial da fruta. No caso do processamento industrial de suco de laranja concentrado congelado – FCOJ (*frozen concentrate of orange juice*), a casca da fruta é cortada nas duas extremidades durante a extração do suco, e uma pequena parte dela é carregada, entrando em contato com o suco obtido. Assim, a eventual contaminação da superfície da fruta pode ser incorporada ao suco, devendo ser eliminadas/reduzidas em operações posteriores.

Recentemente, tem sido verificada a presença de microrganismos esporulados termoresistentes e acidófilos em sucos de frutas. Tais microrganismos são capazes de desenvolver-se a temperaturas entre 25°C e 60°C e a pH entre 2.6 e 6.0. Sua elevada resistência térmica ($D_{95°C}$ =67.57 segundos e valor z = 7.9°C – Eiroa, 1999) o torna resistente a aplicação de processos térmicos tipicamente usados na indústria de sucos. A população sobrevivente multiplica-se no suco de laranja não refrigerado, e, ao atingir a população de 10^4UFC/mL, sua presença torna-se evidente pelo aumento da turbidez (Jensen *et. all*., 2001) e pelo surgimento de odor desagradável, causado por um produto de seu metabolismo, o Guaiacol (ou 2-metoxifenol), produzido a partir do ácido ferúlico em sucos de frutas, via vanilina e ácido vanílico (Niwa e Kuryama, 2003). O odor desagradável também pode ser devido ao 2,6-dibromofenil (Jensen, 1999).

Em algumas indústrias brasileiras, se usa a água de condensado, obtida após a concentração do suco para a lavagem das frutas. Estudos evidenciaram que a etapa de evaporação de suco contaminado por esporos deste microrganismo arrastava parte deles para o condensado, e a posterior estocagem deste condensado à 50°C levava à sua germinação e crescimento. Assim, apesar de o uso deste líquido gerar economia de água e de energia, causa a recontaminação da fruta. A sua desinfecção torna-se, portanto, indispensável.

O Dióxido de Cloro tem sido usado para sanitizar superfícies de alimentos, na forma de gás ou em solução aquosa. A sua aplicação em alimentos é permitida pelo FDA (FDA, 1998). Devido a sua forte ação oxidante, apresenta ação esporocida contra *Bacillus* e *Clostridium* (Foegedding *et al*., 1986).

O ácido peracético é um agente oxidante forte e corrosivo se decompõe em acido acético, água e oxigênio. É mais efetivo a 40-60°C do que a temperatura ambiente. O ácido acético junto com o peróxido de hidrogênio e o ácido peroctanóico em solução aquosa, formam um produto estável comercializado como Vortexx ES (Ecolab Brasil), o qual é amplamente utilizado nos procedimentos CIP de linhas assépticas. Os ingredientes ativos de Vortexx ES decompõem-se rapidamente em acido acético, ácido octanóico e água após seu uso, o que auxilia a reduzir o risco ambiental.

OBJETIVO

O presente trabalho visou construir um equipamento que fosse capaz de causar a mesma limpeza que uma lavadora industrial, usando a água de condensado a 50°C, proveniente de uma indústria de FCOJ, adicionada de sanitizantes, para verificar a sua eficácia "in situ" na desinfecção de laranjas contaminadas intencionalmente por *A. acidoterrestris*.

MATERIAIS E MÉTODOS

O Equipamento

Para atingir o objetivo apresentado, foi construída uma lavadora piloto, com 10 bicos aspersores, em instalação semelhante àqueles da lavadora industrial original. Foi obedecida a mesma proporção de número de bicos/metro linear de largura, e as mesmas vazão e pressão da água.

A chapa de aço inox de suporte por onde as frutas desciam era perfurada (furos redondos de 5/16" - 7.9mm), de forma a permitir que o líquido de lavagem escoasse através dela (chapa perfurada de aço inox. AISI 304 1/8"(4mm)x 1500mmx1000mm). As chapas de aço inox das laterais eram ligadas à chapa da base mediante cantoneiras. O coletor de água de lavagem foi construído em aço inox.

Foram instalados um motor e transmissão de modo que os rolos girassem a 180RPM, como aqueles presentes na lavadora original; os rolos foram construídos com escovas de cerdas plásticas, eixo em plástico e aço carbono. As pontas das cerdas estavam distantes 3.5 ~ 4 cm da base, de forma a escovar as frutas, causando a remoção mecânica necessária; o motor dos rolos era de 0.5 CV.

Foi instalado um coletor na saída da lavadora, de forma que as frutas pudessem ser facilmente recolhidas após a lavagem, em recipientes higienizados.

A bomba de líquido utilizada era do tipo centrífuga, marca Dancor (Campo Grande-Rio de Janeiro/Brasil) SÉRIE: CAP (BOOSTER), de carcaça, bocal, intermediária, Eixo a Bucha de acoplamento em aço inoxidável e Rotor, Difusor e

Tampa em Noryl, reforçado com fibra de vidro, com anéis (insertos) em aço inoxidável. Vazão de trabalho: 3.5m³/h, Peso: 36kg, dimensões: 318x180x907mm.
A tubulação da lavadora foi construída em aço carbono e mangueiras reforçadas, para resistir à pressão de 10bar.
Conforme o catálogo dos bicos, a sua rosca era do tipo NPT, e o ângulo de deflexão do jato de água era de 60 graus. Por isso, na construção do tubo de líquido localizado na saída da lavadora, o ângulo entre os bicos era de 120graus.
A lavadora possuía um eixo próximo à sua saída, de modo que podia ser inclinada, entre 5 e 10 graus;
Foram necessários 10 bicos aspersores, sendo 7 modelo ¼ Pss-50-10 e 3 modelo ¼ Pss-50-05. Estes bicos têm a capacidade de resistir a pressões de 0- 10 bar.
A construção da lavadora ficou a cargo da Empresa Centenário (Limeira).
A seguir apresentamos algumas fotos da lavadora que mostram seus componentes:

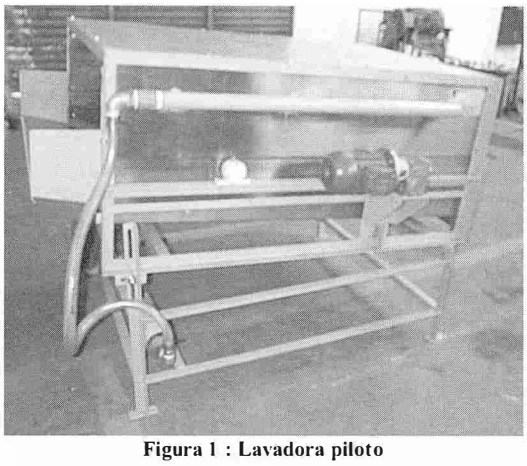


Figura 1 : Lavadora piloto

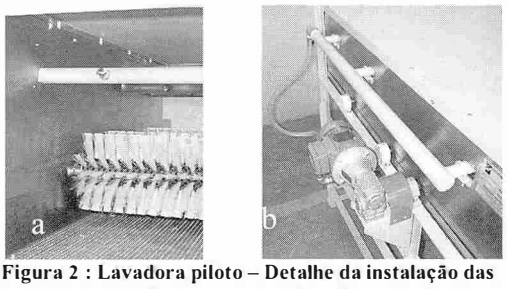


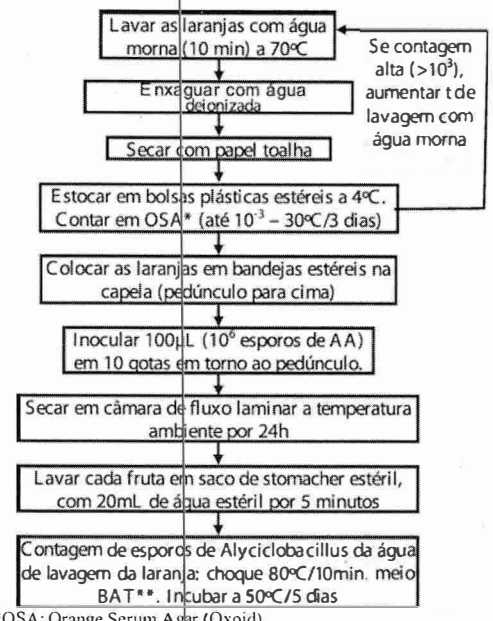
Figura 2 : Lavadora piloto – Detalhe da instalação das escovas e bicos aspersores (a) e do motor de movimentação das escovas (b)

Ensaio de avaliação de desinfecção de laranja em lavadora piloto

Foram testados dois sanitizantes, Vortexx ES (Ecolab do Brasil) a 1.25% e Dióxido de cloro a 10ppm e a 5ppm (obtido mediante uso de gerador de Dióxido de Cloro – Bello Zon – da Prominent). As concentrações foram determinadas mediante os ensaios de MIC e de ação esporicida (PACHECO *et al*. 2007). Para controle, foi realizado ensaio de lavagem apenas com água de condensado, sem sanitizante. Para cada concentração de sanitizante e o controle, foram testadas duas condições de pressão, 4 e 10 bar.
A variedade de fruta era Laranja Pêra Rio, o tempo de contato com o sanitizante foi de 1 minuto e a temperatura da solução de lavagem era 50°C.
Após cada teste foi determinada a concentração residual do agente sanitizante na superfície da fruta.

Inoculação da superfície das laranjas

Na inoculação da superfície das laranjas foi utilizada uma suspensão de esporos de *A. acidoterrestris* DSM2498 cepa altamente deteriorante disponível no laboratorio, conforme esquema apresentado abaixo, com base no procedimento de inoculação proposto por Beauchat, *et. al*., 2001:



*OSA: Orange Serum Agar (Oxoid)
**BAT: Bacillus Acidoterrestris Medium (MERCK)

Figura 3 : Esquema de inoculação da superfície das laranjas

Após este procedimento, as laranjas apresentaram contaminação de 10^4 esporos/fruta.

Teste de lavagem

A quantidade necessária de água de condensado para cada lavagem foi de 300L. A água de condensado, chegou refrigerada (4°C) e foi estocada desta forma até seu uso. Para contagem de *A. acidoterrestris* no condensado, foi retirada uma alíquota de 100 ml, aplicado choque térmico de 80°C x 10 min., e procedeu-se diluições até 10^{-4}, seguida de plaqueamento em duplicata em profundidade em meio BAT MERCK, e incubação a 50°C por 5 dias. Esta análise foi repetida antes de cada tratamento.
Foi utilizada solução do sanitizante testado a 50L/min e 50°C. 19 laranjas previamente inoculadas foram utilizadas, das quais 14 foram lavadas com a solução de sanitizante à pressão de 4 ou 10bar, com 1 minuto de contato e 5 laranjas inoculadas foram usadas para determinação do nível de contaminação por esporos de *Alicyclobacillus*, após ativação por 10 minutos a 80°C, seguida de contagem em meio BAT Merck.
Após a lavagem, 10 laranjas foram colocadas individualmente em bolsas plásticas estéreis contendo 20ml de neutralizante cada. A água de neutralização foi aplicado choque térmico de 80°C/10min e feita a contagem de sobreviventes em meio BAT Merck, com incubação a 50°C/5 dias. O residual do sanitizante foi determinado com 4 laranjas após lavagem com 20mL de água deionizada cada (esfregadas por 5 minutos).

Análise de Residual de sanitizante

A análise de residual de peracético foi realizada de acordo com método qualitativo de ECOLAB (2001), e a análise de residual de ClO_2 foi realizada de acordo com Prominent (2004). Os agentes neutralizantes usados foram tiossulfato

de sódio 0.1N (para Vortex® ES) e metabissulfito de sódio (2.8:1 em relação ao dióxido de cloro).
O residual dos desinfetantes na solução de lavagem foi verificado, sendo que a análise de acido peracético foi qualitativa (residual > ou < 0.75ppm).

A porcentagem de redução de esporos após lavagem foi calculada por:

Porcentagem de redução de esporos = 100 – (contagem final de esporos/ contagem inicial de esporos)

RESULTADOS

Não houve nas frutas, em nenhum ensaio, resíduos de sanitizantes considerados significativos.
O residual de Dióxido de Cloro na solução de sanitizante imediatamente após a aspersão foi 6,64 ppm e 1,84 ppm, para a concentração de 10 e 4ppm, respectivamente. Este fato foi devido principalmente à volatilização do composto à alta temperatura (50°C) da água de condensado e a reação com o material orgânico presente na água.
A contaminação inicial encontrada na água de condensado utilizada foi de < 1 até 2.8x10¹ esporos/mL de água.

Tabela 1: determinação da eficiência dos sanitizantes na lavagem de laranja Pêra Rio

Lavagem com		Inicial*	Final*	Número de reduções decimais (γ)
Água de condensado	4bar	4,28	3,62	0,56
	10bar	4,44	3,77	0,67
Dióxido de Cloro 5ppm	4bar	4,51	3,66	0,85
	10Bar	4,49	3,58	0,91
Dióxido de Cloro 10ppm	4bar	4,56	4,07	0,49
	10bar	4,53	3,65	0,88
Vortex ES 1.25 %	4bar	4,38	< 1	>4,38
	10bar	4,25	0,02	4,23

* Contagem inicial/final, expressa em Log (esporos/mL)

A Tabela 1 permite inferir que o sanitizante mais eficiente foi o Vortex ES, independentemente da pressão utilizada. Teste de variância (ANOVA) indicou que essa conclusão é significativa ($p<0,001$), havendo diferenças entre tratamentos. Avaliando a interação entre sanitizante e pressão, observa-se que, no caso do dióxido de cloro a 5ppm e da lavagem com água de condensado, não existe diferença significativa entre as médias dos ensaios com relação aos dois valores de pressão. Para o dióxido de cloro a 10ppm, a maior eficiência se dá a pressão de 10 bar ($p<0,001$).
Os dados da tabela 2 apresentam a média e o desvio padrão da porcentagem de redução.

Tabela 2: Porcentagem de redução da população de *A. acidoterrestris* DSM2448

Tratamento		Porcent. Média	Desvio Padrão
Água de Condensado	4 bar	13.15	5.41
	10 bar	15.02	5.07
Dióxido de Cloro 5ppm	4 bar	18.82	5.72
	10 bar	20.35	4.10
Dióxido de Cloro 10ppm	4 bar	10.68	1.90
	10 bar	19.45	2.83
Vortexx ES 1.25%	4 bar	100.00	0.00
	10 bar	98.75	2.00

A tabela 2 indica que, para o Vortex ES, não há diferença entre a eficiência a 4 e a 10 bar. Já para o Dióxido de Cloro, há diferença estatisticamente significativa entre os testes a 4 e a 10 bar.

CONCLUSÃO

A solução de Vortexx ES 1.25% provou ser mais eficiente para destruir a população de *Alicyclobacillus* durante a lavagem das laranjas com água de condensado a 50°C.

A contaminação de *Alicyclobacillus acidoterrestris* naturalmente presente em água de lavagem foi determinada como sendo de 10¹ esporos/mL.
Independentemente da pressão, a população de *Alicyclobacillus* inoculada intencionalmente foi totalmente eliminada com o uso de Vortexx ES. Isso significa que o sanitizante além de eliminar a carga de *Alicyclobacillus* das laranjas, também foi eficiente para eliminar a carga presente na água de condensado. Para reduzir o volume de sanitizante utilizado, pode ser aplicado um tratamento de desinfecção da linha e dos tanques de condensado, antes de paradas prolongadas, a fim eliminar o biofilme que possa ser formado, contendo esporos e células vegetativas do microrganismo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Ecolab do Brasil e à Prominent pelo fornecimento dos sanitizantes usados durante os ensaios.

BIBLIOGRAFIA

Beuchat, L.R.; Harris, L.J.; Ward, T.E.; Kais, T.M. 2001. Development of a Proposed Standard Method for Assessing the Efficacy of Fresh Produce Sanitizers. Journal of Food Protection 64(8): 1103-1109.
ECOLAB 2001. Vortexx ES. Apresentação de divulgação do produto.
Eiroa, M.N.U., Junqueira, V.C.A., Schimidt, F.L. 1999. *Alicyclobacillus* in Orange Juice: Occurrence and Heat Resistance of Spores. J. of Food Protection. 62(8):883-886.
Foegeding, P.M., Hemstapat, V. Giesbrecht, F.G. 1986. Chlorine dioxide inactivation of *Bacillus* and *Clostridium spores*. Journal Food Science 51: 181-183.
Food and Drug Administration – FDA-USDA-CDC, 1998. Guidance for industry-Guide to Minimize microbial food safety hazards for fresh fruits and vegetables. www.vm.cfsan.fda.gov/~dms/prodguid.html
Gray, P.M.; Kang, D.H.; Dougherty, R.H. 2002. Controle em *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores with chlorine dioxide on laboratory medium and apples. Apresentado no Annual Meeting and Food Expo – Anaheim, California.
Jensen, N. 1999. *Alicyclobacillus* - A new challenge for the food industry. Food Australia 51:33-36.
Jensen, N., Varelis, P., Whitfield, F.B. 2001. Formation of guaiacol in chocolate milk by the psychrotrophic bacterium Rahnella aquatilis. Letters in Appl. Microbiol. 33:339-343.
Murakami, M., Tedzuka, H., Yamazaki, K. 1998. Thermal resistence of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in different buffers and pH. Food Microbiology, 15: 577-582.
Niwa, M., Kuriyama, A. 2003. *Alicyclobacillus. acidoterrestris*: Rapid Detection Kit. Fruit Processing. 2:102-107.
Orr, R.V.; Beuchat, L.R. 2000. Efficacy of disinfectants in killing spores of *Alicyclobacillus acidoterrestris* and performance of media for supporting colony development by survivors. J. of Food Protection. 63(8):1117-1122.
Pacheco-Sanchez, C.P.; Massaguer, P.R., Tamega Jr., W.P., Ferreira, J.O., Barbosa, M.F. 2007. Desinfecção superficial de laranja destinada a produção de suco. Trabalho apresentado no VI CIBIA-Ambato, Ecuador. No prelo.
Previdi, M.O.P.; Lusardi, C.; Vicini, E. 1999. Resistenza di spore di *Alicyclobacillus* spp. ad un disinfettante. Industria Conserve. 74(3):231-236.
Prominent Brasil Ltda. 2001. Bello Zon Gerador de Dióxido de Cloro.

ESTUDIO DE METODOS EN UN PACKING

Alves, Nancy
UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMAN
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGIA
Avda. Independencia 1800. e-mail: nan2005_4@hotmail.com
TUCUMAN – ARGENTINA

Palabras claves: alimentos, métodos de trabajo, ergonomía, inocuidad.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue proponer una nueva metodología de trabajo para elevar la productividad y preservar la inocuidad del producto en torno a la norma HACCP, la seguridad y la higiene de los trabajadores, la productividad, un costo racional y la ergonomía.
Se realizó un estudio del trabajo en la última etapa del proceso productivo de la frutilla cubeteada implementando los distintos pasos del estudio de métodos y desarrollando los instrumentos necesarios que sirvieron para el análisis de los diferentes trabajos.
Como complemento del trabajo se realizó un análisis económico del nuevo método de trabajo a efectos de analizar la factibilidad de la implementación del cambio en el proceso productivo.
La metodología de investigación utilizada fue la *Investigación No Experimental* que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Se observaron los fenómenos tal y como se dan en su contexto natural y luego fueron analizados.
La investigación se realizó en una PyMES de la provincia de Tucumán, específicamente un packing de frutillas.

INTRODUCCION

En los tiempos actuales, la necesidad que tienen las pequeñas y medianas empresas de la República Argentina de ganar nuevos mercados, las obliga a reaccionar ante las diversas fuerzas que marcan rumbos hacia los parámetros internacionales de calidad.
En el caso particular de alimentos hay ineludibles exigencias de mayor calidad en los procesos de elaboración de los mismos, siendo prioritario el logro de su seguridad y su inocuidad. Aspectos tales como el factor humano, las instalaciones, el equipamiento utilizado en el proceso productivo, los métodos de trabajo y sus implicancias en el resultado final, deben ser analizados a efectos de armonizarlos para asegurar la calidad del producto.
Ante este panorama de cambios, competencia, exigencias, aumentos de la productividad, etc. surge en una empresa de la Provincia de Tucumán, dedicada al procesamiento de frutilla congelada (IQF), cubeteado y de frutilla fresca, la necesidad de investigar las actuales metodologías de trabajo y desarrollar nuevas, en el proceso productivo de la frutilla teniendo como idea rectora el logro de la seguridad y la inocuidad del producto destinado al consumo humano.
La Oficina Internacional del Trabajo define al ***Estudio del Trabajo como la expresión que se utiliza para designar las técnicas del estudio de métodos y de la medida del trabajo mediante las cuales se asegura el mejor aprovechamiento posible de los recursos humanos y materiales para llevar a cabo una tarea determinada.*** Se trata de un procedimiento sistemático, especialmente relacionado con la productividad, que se constituye en un instrumento de investigación y de mejora a partir de la utilización de los recursos existentes, es decir sin tener que incurrir en inversiones elevadas. Como complemento se deben tener presente las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), los lineamientos del Plan HACCP (siglas en inglés del Sistema de Peligros y Puntos Criticos de Control), las condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo y la eficiencia del proceso.

- *Interrogantes preliminares*

¿Las tareas que se realizan en la primera etapa del proceso – despalillado de la fruta- pueden modificarse, a efectos de disminuir el agotamiento del personal involucrado?
¿Es factible el diseño de un mejor método de trabajo en la última etapa del proceso de obtención y empaque de la frutilla cubeteada?
¿Son las condiciones de trabajo favorables, de manera que las operarias ejecuten sus tareas sin fatiga innecesaria?
¿Existe una preocupación por el diseño ergonómico de los puestos de trabajo?

MATERIALES Y METODOS

Al inicio de la investigación se hizo necesario profundizar el estudio del tema central del trabajo que es la Ingeniería de Métodos, como una técnica para aumentar la producción por unidad de tiempo o disminuir el costo por unidad de producción, es decir mejorar la productividad. Para ello se utilizó un programa sistemático que tiene etapas claramente definidas:

1. Seleccionar el proyecto
2. Obtener y presentar datos
3. Analizar datos
4. Desarrollar el nuevo método
5. Análisis del trabajo
6. Establecer estándares de tiempo
7. Seguimiento

Se denomina Método de Trabajo a la forma en que se lleva a cabo un trabajo determinado. Como del Método de Trabajo que se emplee depende en parte el costo de su realización, se ha desarrollado una técnica conocida con el nombre de Mejora de Métodos de Trabajo (MMT), que se ocupa de analizar sistemáticamente los procedimientos de trabajo empleados y de proponer mejoras para que se realice con mayor seguridad en un tiempo mas corto y más económicamente.
El Estudio de Métodos es el registro, análisis y examen crítico sistemáticos de los modos existentes y propuestos de llevar a cabo un trabajo, y el desarrollo y aplicación de métodos más sencillos y eficaces. Se trata de una técnica que tiene por objeto aumentar la productividad del trabajo mediante la eliminación de todos los desperdicios de materiales, tiempo y esfuerzo; además procura hacer más fácil y lucrativa cada tarea y aumenta la calidad de los productos.
El procedimiento básico consiste en:

I. Seleccionar el trabajo que va a ser objeto de estudio realizando consideraciones de índole económica, de orden técnico y las reacciones humanas.

II. Registrar todos los hechos pertinentes acerca del método actual mediante la observación directa utilizando: la Guía de Análisis del Trabajo/Lugar de Trabajo, Diagrama de flujo, Diagrama de análisis del proceso y Diagrama de las operaciones del proceso.

III. Examinar esos hechos utilizando técnicas apropiadas.
Además de este criterio estrictamente analítico, el Estudio de Métodos exige que se:

- Tomen en cuenta las razones, no las excusas.

IV. Desarrollar un nuevo método más práctico, económico y eficaz: considerando las respuestas obtenidas, que pueden conducir a tomar las siguientes acciones: **ELIMINAR, COMBINAR, CAMBIAR Y REORGANIZAR** o **SIMPLIFICAR** dichas actividades.
Para lograr la mejor forma de ejecutar los detalles se han desarrollado los principios de economía de movimientos, los cuales deben ser observados en la ejecución de los trabajos y cuyo objetivo es utilizar de la manera más eficiente los movimientos del cuerpo humano, obtener una mejor distribución del área de trabajo y llevar a cabo un mejor diseño de las herramientas.
Antes de implementar una mejora es necesario tener la seguridad de que la solución es práctica de acuerdo con las condiciones de trabajo en que va a operar. Hay que tener cuidado de vigilar todos los aspectos humanos y psicológicos, pues son de gran trascendencia.
Para no afectar los intereses de los individuos por una modificación, es conveniente:
- Mantener informado al personal antes de implantar los cambios que lo afectarán.
- Tratar al personal con la deferencia y dignidad que merece su calidad de persona humana.
- Promover que todos aporten sugerencias.
- Hacer sentir al personal que forma parte del esfuerzo común por mejorar las condiciones de trabajo de la fábrica.

V. Adoptar y mantener dicho método mediante las comprobaciones regulares y habituales.

La metodología de investigación utilizada fue la *Investigación No Experimental* que es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Lo que se realiza es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos. De hecho, no hay condiciones o estímulos a los cuales se expongan los sujetos del estudio. Los sujetos son observados en su realidad.
En un estudio no experimental no se construye ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes; en este tipo de investigación las variables ya han ocurrido y no pueden ser manipuladas, no se puede influir sobre ellas.
La investigación no experimental es investigación sistemática y empírica en la que las variables independientes no se manipulan porque ya han sucedido. Las inferencias sobre las relaciones entre variables se realizan sin intervención o influencia directa y dichas relaciones se observan tal y como se han dado en su contexto natural.
Por su dimensión temporal el tipo de diseño es *Transeccional* o *Transversal* debido a que la investigación se centra en analizar el nivel o estado de una o diversas variables en un momento dado.
Los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables, y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.
Para la etapa de recolección de datos se utilizaron planillas para la descripción del proceso productivo y también se empleó un cuestionario relacionado con la descripción del lugar de trabajo y los aspectos ergonómicos del mismo. Por sobre estas actividades estuvo siempre presente la observación, que consiste en el registro sistemático, válido y confiable de conducta manifiesta. Puede utilizarse como instrumento de medición en muy diversas circunstancias.
Para el desarrollo de la investigación se realizaron visitas reiteradas al packing a efectos de conocer el proceso, la gente, las metodologías de trabajo, los procedimientos, etc. Además se efectuaron entrevistas con personas claves dentro de la organización, tales como: operarias, supervisoras, encargada de control de calidad y asesor externo en calidad.

Descripción de la empresa
La empresa donde se realizó el trabajo es un packing de frutillas ubicado en la ciudad de Lules distante 20 km. de la capital, San Miguel de Tucumán. Es una de las principales productoras de frutillas de la Argentina. Produce en temporada la variedad Camarosa desde 1997, como licenciatarios de la Universidad de California UC Davis y en contraestación a más de 2000 m de altura con variedades reflorescentes.
La variedad Camarosa con rendimientos entre 35.000 y 40.000 kgs/ha les permite ser los principales exportadores del país de frutillas congeladas para uso industrial y retail.
La empresa produce tres productos de la frutilla:
- Fruta fresca: es solo para el mercado interno, y es comercializada en cajones de madera o cajas de cartón.
- IQF -Individually Quick Frozen- : significa congelado rápido individual. La fruta es congelada en un túnel dinámico, lo que permite un congelado rápido de la frutilla (alcanza una temperatura de -20 °C en 13 minutos) reduciendo el daño que se produce en las paredes celulares al ser congelada. Otra característica del IQF es que los frutos una vez congelados no quedan adheridos unos a otros.
- Cubeteado con agregado de azúcar: la fruta es cortada en cubos o fetas por medio de máquinas, en las cuales se puede regular el tamaño de corte. Una vez cortada, la fruta se congela en baldes plásticos.

Tanto el IQF como el Cubeteado son productos de exportación.
Para ambos productos la frutilla es cuidadosamente seleccionada partiendo de la base de una frutilla madurada en la planta, rápidamente procesada y congelada para preservar sus características organolépticas.
Las características de las instalaciones hacen posible que la empresa durante todo el año trabaje de manera continua. Así es como se trabaja con frutillas (en los meses de Julio- Noviembre), arándanos (Septiembre- Noviembre), duraznos (Noviembre-Diciembre) y ciruelas (Enero- Marzo). Además posibilita esta realidad, el conocimiento del sector por parte de los empresarios dueños de la empresa, la versatilidad de las líneas de producción, el capital humano de la zona y el tipo de cambio actual que favorece las exportaciones de los productos de nuestro país.

RESULTADOS

Al analizar el proceso, desde el despalillado de la fruta hasta el envasado, se puede advertir que hay diversos aspectos que se deben modificar, principalmente, relacionados con la ergonomía y los métodos de trabajo utilizados.
Al analizar las formas de realizar las diversas tareas que se llevan a cabo en el empaque es necesario tener presente:
- Que la característica principal de este tipo de actividad productiva es la forma de trabajo artesanal, fundamentalmente.
- Que la empresa se encuentra ubicada en una zona donde la mano de obra es abundante y bajo costo.
- Que en el empaque trabajan varios miembros de la misma familia, lo que genera ciertas actitudes de aceptación de condiciones laborales que, en general, no son las óptimas atendiendo a la ergonomía y al bienestar del trabajador.

  Que el empaque se encuentra en continuo crecimiento, producto del aumento de las exportaciones, favorecidas por el tipo de cambio actual y por la diversificación que están realizando; también se trabaja con duraznos, ciruelas y arándanos, aprovechando las instalaciones existentes y otras nuevas que se están habilitando.
- Que es una PyMes manejada por sus dueños.
- Que la mayoría de las personas que trabajan son temporarias.

Los aspectos antes mencionados se deben tener presente para poder comprender muchos de los modos, costumbres y actitudes observadas en el trabajo.

CONCLUSIONES

El objetivo general planteado, postula:
"Proponer una nueva metodología de trabajo para elevar la productividad y preservar la inocuidad del producto en torno a la norma HACCP, la Seguridad y la Higiene de los trabajadores, la productividad, un costo racional y la ergonomía".
Se puede avalar esta afirmación considerando que es posible aumentar la productividad:

- Utilizando los recursos existentes
- Modernizando el proceso realizando una inversión mínima
- Mejorando las instalaciones y la calidad de vida de las operarias
- Inventando nuevos procedimientos
- Generando una mejor disposición del lugar de trabajo
- Racionalizando la utilización de los recursos a través de la semi-automatización
- Utilizando las herramientas y/o dispositivos adecuados a cada estación de trabajo.

La productividad es una forma de vida: esto presupone trabajar de manera inteligente, no más intensa; trabajar mejor, no trabajar más.
En el escenario competitivo internacional las nuevas formas de organizar el trabajo, desde el punto de vista de la calidad de vida laboral, deben ofrecer a todos los empleados oportunidades para la creatividad y la participación, favoreciendo el aprendizaje y la innovación. Además, está demostrado que la participación de las personas en el trabajo también contribuye al desarrollo económico de la empresa. Por lo tanto, la calidad de vida laboral es un punto central para el éxito de las empresas.
En este modelo organizativo es fundamental la cooperación, el trabajo en grupo, el aprendizaje y la innovación tecnológica.
Esto significa un gran desafío para el Packing ya que debe aprender a adaptarse a las exigencias cambiantes del mercado y del sistema social y político. El aprendizaje continuo es la característica que marca la diferencia en este modelo organizacional y que le permitirá sobrevivir en el mercado.
La organización que aprende (traducción literal del inglés: "learning organization") es un nuevo modelo organizativo que se basa en las siguientes características: Orientación hacia el cliente, Diseño participativo, Desarrollo de las habilidades y de los recursos personales, Planes de flexibilidad en el trabajo y Tecnología de la información.
La organización que aprende es un modelo, una filosofía, que puede ser implantada en todo tipo de empresas.
La organización que aprende es una nueva forma de organización del trabajo que se basa en dos principios: que el conocimiento existe en todos los individuos de la organización; y, que este conocimiento puede ser socializado.
La nueva organización aporta ventajas a distintos niveles: por un lado el conocimiento como una nueva forma de capital, crea riqueza y proporciona a las organizaciones la ventaja competitiva necesaria en el mercado de trabajo; por otro lado, este tipo de organización favorece el equilibrio entre las capacidades físicas y mentales de las personas, es decir, la conjunción entre "hacer" y "pensar" en los grupos de trabajo.
Ambos aspectos coinciden con el criterio de muchos estudios sobre organización del trabajo según los cuales para que el trabajo sea satisfactorio debe tener sentido para la persona que lo ejecuta. La persona no es una mera herramienta de trabajo, como en el sistema taylorista, sino un elemento fundamental para la empresa, ya que su conocimiento y su trabajo le proporcionan a la empresa la ventaja competitiva necesaria para sobrevivir en el mercado.

La organización que aprende potencia el aprendizaje de nuevos procedimientos de trabajo y la introducción de mejoras creando el deseo de conocer y saber en los trabajadores, a través de la formación, la motivación y la autonomía. Además, tiene en cuenta las características individuales y pretende situar a cada persona en el lugar correcto de la organización.

Parece lógico pensar que un tipo de organización que tiene en cuenta los factores anteriormente mencionados, también tendrá en cuenta la seguridad, la higiene, y la ergonomía. Además, los planes de mejora continua, deben estar íntimamente ligados a buenas condiciones de trabajo, ya que éstas redundarán en la competitividad de la empresa en el mercado en el cual está inserta.
Teniendo en cuenta las etapas del Estudio de Métodos quedaría por cumplir la última de ellas que corresponde a "Adoptar el método propuesto como práctica uniforme" lo cual queda a criterio de la empresa. Este paso puede causar malestar en el personal ya que implicaría una reducción de operarias de seis a una, de manera que se debería realizar mostrando las bondades del nuevo método y reubicándolas en otros sectores, tales como producción de arándanos, que es una actividad nueva en la empresa y para la cual se ha realizado una fuerte inversión en tecnología.

A partir del trabajo surgen nuevas líneas de estudio tales como:

- Efectuar un Estudio de Tiempos y un Balanceo de Línea en el sector de envasado como complemento del nuevo método de trabajo propuesto.
- Realizar una Ingeniería de Métodos en el sector de IQF.

El trabajo realizado contempló distintos aspectos inherentes a la dinámica de trabajo en la empresa: métodos, procedimientos, recursos humanos, calidad de vida, ergonomía y seguridad e higiene en el trabajo en una PyMes de la provincia de Tucumán dedicada a un producto con un importante crecimiento en las exportaciones y con un futuro próspero en la medida que confluyan hacia el logro de los objetivos las acciones del empresariado, la seguridad jurídica y las normas económicas de los países importadores.

AGRADECIMIENTO

Al Prof. Eduardo Ruiz de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile, a la Ing. Susana Chauvet y al Ing. Juan Angel Cuellar de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, por su guía para la realización del trabajo.

BIBLIOGRAFIA

FREIVALDS Andris, Niebel Benjamín Ingeniería Industrial Métodos, estándares y diseño del trabajo, México, Alfaomega, 11ª edición, 2004.
MEYERS Fred Estudios de tiempos y movimientos, México, Pearson Educación, 2ª edición, 2000.
OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO Introducción al Estudio del Trabajo, Ginebra, 1963
BARNES Ralph Estudios de movimientos y tiempos, España, Aguilar, 4ª edición 1962.
GARCIA CRIOLLO Roberto Estudio del trabajo-Ingeniería de métodos y medición del trabajo, México, Mc Graw Hill, 2ª edición, 2005
PEREZ Daniela Sector Hortícola en la provincia de Tucumán-Aspectos para su crecimiento, Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, Tucumán, 1998
HERNANDEZ SAMPIERI Roberto y otros Metodología de la Investigación, México, Mc Graw Hill, 2ª edición, 2000