



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN
ALIMENTOS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS



Caracterización reológica de papillas infantiles formuladas a base de harina de papas de variedades nativas ecuatorianas (*Solanum andigena*) deshidratadas mediante secado convectivo

Trabajo de Titulación parte del Proyecto de investigación “Papilla para niños de 6 a 36 meses a base de harina de papa nativa (*Solanum andigena*), variedades yema de huevo y santa rosa con sabor a mora (*Rubus glaucus*) y taxo (*Passiflora tripartita*)”, financiado por la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Técnica de Ambato según resolución 1149-CU-P-2012, coordinado por Mg. Dolores Robalino.

Autora: Jessenia Magaly Catota Balseca

Tutora: Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

Ambato - Ecuador

Enero- 2019


APROBACIÓN DE LA TUTORA

Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

CERTIFICA:

El presente Trabajo de Titulación, ha sido prolijamente revisado. Por lo tanto, autorizo la presentación de este Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación mismo que cumple con las normas establecidas en el reglamento de Títulos y Grados de la Facultad.

Ambato, 28 de Noviembre del 2018



Ing. M.Sc. Liliana Patricia Acurio Arcos

C.I. 180406708-8

TUTORA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Jessenia Magaly Catota Balseca, manifiesto que los resultados obtenidos en el presente Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos, son absolutamente originales, auténticos y personales, a excepción de las citas bibliográficas.



Jessenia Magaly Catota Balseca.

C.I. 050435783-1

AUTORA

APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los suscritos Profesores Calificadores, aprueban el presente Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, el mismo que ha sido elaborado de conformidad con las disposiciones emitidas por la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato.

Para constancia firman:



Presidente de Tribunal



Dr. Orestes Darío López Hernández

CI: 175478486-4



Dra. Cristina Alexandra Arteaga Almeida

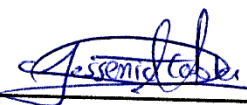
C.I. 050281765-3

Ambato, 20 de Diciembre del 2018

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo de Titulación o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto, con fines de difusión pública, además apruebo su reproducción parcial o total dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autora.



Jessenia Magaly Catota Balseca.

C.I. 050435783-1

AUTORA

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que me ayudaron al cumplimiento de mi tan ansiada meta. Las palabras dichas no son suficientes y son tan frágiles que se las lleva el viento, pero aquí quedarán plasmados mis más sinceros sentimientos de gratitud.

A mis padres que han confiado en mí profundamente, por su duro trabajo y sacrificio, especialmente a mi madre que ha sido mi motor y fuente de inspiración.

A Ing. Liliana Acurio, quien me permitió formar parte de este proyecto de investigación. Le agradezco por ser mi tutora, maestra y guía. Sin su apoyo y acompañamiento constante no hubiera podido lograr este sueño.

A la Dra. Mirari Arancibia, quien con su calidez, y a pesar de las dificultades, me enseñó con paciencia el manejo de los equipos relacionados con mi trabajo de titulación.

A mi querida Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, cuyas aulas y laboratorios me vieron crecer y madurar.

A mis amigos Kathia, Cyntia, Diana, Jorge, Andrés y Jonatan, quienes fueron mi apoyo durante toda mi etapa universitaria y que me han hecho una mejor persona.

A mis hermanos, por permanecer junto a mí siempre a pesar de las dificultades, especialmente a Jhon por nunca dejarme sola. Finalmente a todas las personas con las que en algún momento durante estos 5 años tuve el placer de coincidir, pues a pesar del corto tiempo, dejaron en mi aprendizaje y buenos recuerdos. Dios los bendiga siempre a todos, que su vida esté colmada de alegrías y paz.

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mi familia, especialmente a mis padres y hermanos que con esfuerzo y sacrificio me apoyaron con todos los recursos posibles, tanto económicos como emocionales, este logro es para ustedes.

A mis maestros, quienes vieron en mí el potencial suficiente para conseguir mi sueño y han compartido conmigo su vasto conocimiento y experiencia.

A mis amigos, quienes a pesar de mis falencias y debilidades como persona y como amiga supieron mantenerse a mi lado y llevarme junto a ellos, para superar miedos y vencer los obstáculos.

Finalmente para todos aquellos compañeros cuyo sueño se inició pero se vio interrumpido, para ustedes que decidieron tomar un camino diferente espero que sus sueños se cumplan.

“Cuando alguien que de verdad necesita algo, lo encuentra, no es la casualidad quien lo procura, sino él mismo. Su propio deseo y su propia necesidad le conducen a ello”.

(Hermann Hesse)

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA	I
APROBACIÓN DEL TUTOR	II
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	III
APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	IV
DERECHOS DE AUTOR.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
DEDICATORIA.....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVI

CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA.....	1
1.1. Tema	1
1.2. Justificación	1
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
CAPÍTULO II.....	3
MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Antecedentes investigativos	3
2.1.2. Alimentos para lactantes.....	4
2.1.3. Secado como método de conservación.....	4
2.1.4. Rehidratación.....	6
2.1.5. Propiedades reológicas	7
2.3. Señalamiento de variables de la hipótesis	12
CAPÍTULO III	14

MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1. Materiales, ingredientes y equipos	14
3.2. Métodos	14
3.2.1. Elaboración de la papilla infantil	14
3.2.3. Capacidad de rehidratación	16
3.2.4. Caracterización reológica	16
3.3. Diseño experimental	17
CAPÍTULO IV	18
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
4.1. Capacidad de rehidratación	18
4.2. Caracterización reológica de la papilla.....	20
4.2.1. Índice de consistencia.....	23
4.2.2. Índice de comportamiento	23
4.2.3. Influencia de la temperatura sobre el índice de consistencia.....	25
CAPÍTULO V	27
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
5.1. Conclusiones.....	27
5.2. Recomendaciones	28
6. BIBLIOGRAFÍA	29
ANEXOS.....	36

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Curva de rehidratación	20
Gráfica 2. Curva de flujo para diferentes tipos de fluidos.....	23
Gráfica 3. Ajuste a distintos modelos de flujo a 20°C papillas frescas.....	42
Gráfica 4. Ajuste a distintos modelos de flujo a 20°C papillas rehidratadas.....	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Formulación de papillas de continuación para lactantes de más edad (6 - 12 meses)	13
Tabla 2. Alérgenos del huevo	14
Tabla 3. Capacidad de rehidratación de las papillas secadas con aire caliente.....	18
Tabla 4. Parámetros reológicos calculados para la papilla, ajustado a distintos modelos.....	24
Tabla 5. Energía de activación.....	25

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Capacidad de rehidratación.....	6
Ecuación 2. Fluidos newtonianos.....	7
Ecuación 3. Ley de la potencia.....	8
Ecuación 4. Fluidos plásticos.....	8
Ecuación 5. Modelo de Herschel-Bulkley.....	9
Ecuación 6. Modelo de Casson.....	10
Ecuación 7. Modelo de Mizrahi-Berk.....	10
Ecuación 8. Ecuación de Arrhenius.....	11
Ecuación 9. Ecuación linealizada de Herschel-Bulkley.....	18

ÍNDICE DE ANEXOS

A. TABLAS ANOVA

Tabla A1. Análisis de varianza para índice de consistencia, modelo Herschel Bulkley.....	37
Tabla A2. Análisis de varianza para índice de consistencia, modelo Mizrahi-Berk.....	37
Tabla A3. Análisis de varianza para índice de comportamiento, modelo Herschel-Bulkley.	38
Tabla A4. Análisis de varianza para índice de comportamiento, modelo Mizrahi-Berk.....	38

B. FOTOGRAFÍAS DE LA INVESTIGACIÓN

Fotografía B1. Muestras en el secador convectivo.....	39
Fotografía B2. Muestras en el reómetro Anton Paar.....	39
Fotografía B3. Reómetro Anton Paar modelo MCR 302.....	40

C. DIAGRAMAS DE BLOQUES

Diagrama 1. Proceso de elaboración de la papilla.....	41
--	----

RESUMEN

Uno de los métodos de conservación más utilizados en la industria de alimentos es el secado, debido a que permite reducir la humedad, evitando el ataque microbiano y facilitando el transporte; sin embargo, este proceso normalmente modifica las propiedades reológicas. El presente estudio evaluó las propiedades reológicas de una papilla elaborada a base de harina de papas nativas ecuatorianas, edulcorada con frutas de consumo local (mora y taxo) y deshidratada mediante secado convectivo, previo y posterior al proceso de secado. Las muestras describieron un comportamiento plástico pseudoplástico y se ajustaron a los modelos de Herschel-Bulkley y Mizrahi-Berk. El método de secado provocó un daño estructural que causó una disminución del índice de consistencia, mientras que la variedad Santa Rosa y la mora influyeron en el incremento del índice de consistencia debido a la gelatinización del almidón y el hinchamiento de la fibra dietética que la papa posee y a la alta cantidad de pectina que la fruta posee. Finalmente, se observó el efecto inversamente proporcional de la temperatura en el índice de consistencia.

Palabras clave: Papillas infantiles, papas nativas ecuatorianas, alimentación infantil, conservación de alimentos.

ABSTRACT

Drying is one of the most used conservation methods in food industry, because it allows to reduce humidity, preventing microbial attack and facilitating transport; however, this process usually modifies the rheological properties. This study evaluated the rheological properties of a porridge made from flour from native Ecuadorian potatoes, sweetened with local fruits of local (blackberry and taxo) and dehydrated by convective drying, before and after the drying process. The samples described a plastic pseudoplastic behavior and were adjusted to the Herschel-Bulkley and Mizrahi-Berk models. The drying method caused structural damage that caused a decrease in the consistency index, while Santa Rosa variety and blackberry influenced the increase in the consistency index due to the gelatinization of the starch and the swelling of the dietary fiber that the potato possesses and the high amount of pectin that the fruit has. Finally, the inversely proportional effect of the temperature on the consistency index was observed.

Keywords: Children's paps, native Ecuadorian potatoes, infant feeding, food preservation.

INTRODUCCIÓN

Los alimentos para infantes son formulaciones establecidas para satisfacer los requerimientos nutricionales de niños en etapa de lactancia. Dentro de estos alimentos se encuentran las papillas, mismas que deben poseer características nutricionales específicas dependiendo de la edad del consumidor. Aunque este producto requiere el cumplimiento de exigentes normas de fabricación, se encuentran limitados estudios relacionados con su comportamiento reológico. El análisis de los parámetros reológicos es fundamental debido a que el proceso de elaboración consiste en operaciones de transferencia de materia y energía, como la cocción y el secado, en las cuales se modifica la estructura y por ende existe un cambio en relación al producto original.

El secado es una operación indispensable en la fabricación de papillas, ya que al ser una formulación altamente nutritiva y poseer un alto contenido de agua, es propensa a la degradación por ataque microbiológico o enzimático. Sin embargo, aunque este proceso permite alargar el tiempo de vida útil, puede modificar la estructura del producto y por ende no cumplir con las exigencias del consumidor. Por consiguiente, la predicción de los cambios estructurales, específicamente reológicos, que ocurren durante el secado, aporta información relevante que puede ser utilizada en su diseño y optimización.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Tema

Caracterización reológica de papillas infantiles formuladas a base de harina de papas de variedades nativas ecuatorianas (*Solanum andigena*) deshidratadas mediante secado convectivo.

1.2. Justificación

El alimento investigado fue una papilla para niños de entre 6 a 12 meses, elaborada a partir de papas de variedades Yema de huevo y Santa rosa, edulcorada con frutas de consumo local (mora o taxo), todas propias de la región Andina de Ecuador. El problema más importante es que este alimento fresco presenta una alta humedad y por ende un tiempo de consumo limitado, por lo que se amplió el tiempo de vida útil mediante un proceso de secado por aire caliente.

Se conoce que el proceso de secado provoca cambios considerables en la viscosidad de los alimentos; por ende, la presente investigación pretendió comprobar el efecto de dicho proceso en las propiedades reológicas de la papilla. Para evaluar este efecto fue imprescindible conocer los parámetros reológicos: índice de consistencia e índice de comportamiento, los cuales permitieron categorizar a qué tipo de fluido corresponde, mediante la aplicación de modelos matemáticos, y así describir el comportamiento de la papilla. El resultado esperado fue que la deshidratación no afecte las condiciones iniciales del alimento, y por ende se consuma con la misma viscosidad de un alimento fresco.

Así mismo, se evaluó la influencia de la temperatura sobre el índice de consistencia, con la finalidad de controlar los cambios que pueden afectar su estabilidad durante el proceso de elaboración, almacenamiento y transporte, lo que finalmente permite controlar.

Además, la investigación podría contribuir indirectamente con la reducción de la desnutrición infantil, debido a que el alimento podría formar parte del Programa de Alimentación Escolar coordinado por el Ministerio de Educación para mejorar la nutrición de niños de entidades fiscales, fisco-misionales, municipales y comunitarias del País.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar las propiedades reológicas de papillas infantiles formuladas a base de harina de papas de variedades nativas ecuatorianas (*Solanum andigena*) deshidratadas mediante secado convectivo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar reológicamente la papilla infantil previa a la deshidratación.
- Evaluar la capacidad de rehidratación de la papilla infantil.
- Analizar reológicamente la papilla infantil rehidratada.
- Determinar los parámetros reológicos mediante ajuste de los datos experimentales a modelos matemáticos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos

2.1.1. Cultivos tradicionales

Los países andinos cuentan con una diversidad de cultivos debido a su ubicación geográfica, misma que permite la siembra y obtención de alimentos ecológicos, debido a que las bajas temperaturas reducen el desarrollo de plagas y por lo tanto evitan el uso de químicos (Monteros et al., 2005). De todos los cultivos andinos, la papa se caracteriza por adaptarse a climas templados, subtropicales y tropicales; es decir, pueden proliferar en un amplio rango de temperaturas (10 a 30°C) humedades y condiciones de suelo (Silva & Hernán, 2017).

En el tema de conservación de cultivos nativos, Ecuador busca impulsar las prácticas ancestrales por medio del Plan Nacional del Buen Vivir (Senplades, 2013). La idea no solo busca mantener latente la aplicación de dichos conocimientos para cuidar y conservar los cultivos nativos, sino a su vez mejorar la calidad de vida de los productores (Cortez, 2013).

2.1.1.2. Papas nativas en Ecuador

Según Monteros et al. (2005), existen alrededor de 400 variedades de papas nativas que son cultivadas a 3000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Esta ubicación hace que se encuentren sometidas a una radiación solar elevada, razón por la que posean una naturaleza única en el mundo. Por otra parte, las papas nativas tienen un mayor contenido de sólidos por lo que son más nutritivas y ofrecen un sabor especial a los preparados. También, presentan un contenido elevado de carotenoides, flavonoides y antocianinas (sustancias antioxidantes naturales).

Según Villacrés (2016), la variedad de papa Yema de huevo tiene 6,4 % de proteína, 86,2 % de almidón, y 17,65 mg de potasio, 4,6 mg de hierro, 3,1 g de fibra y 1,3 mg de zinc por cada 100

gramos. Mientras que la variedad Santa rosa posee 10,6 % de proteína, 0,14 % de grasa y 4,6 g de fibra por cada 100 gramos (Montenegro Villavicencio & Angulo Paredes, 2006).

A pesar de que se cultivan cerca de 400 variedades de papas nativas, solo 20 se comercializan. Y aunque algunas variedades son apetecidas por su buen sabor y textura harinosa; se cultivan a baja escalada debido a su bajo rendimiento en comparación con las variedades mejoradas. Por lo tanto, industrializar un producto con estos cultivos podría aumentar su demanda.

2.1.1.2. Frutas de Ecuador

Ecuador debido a su posición geográfica también permite el cultivo de una gran variedad de frutas. Una de las frutas más apetecidas es la mora de castilla, ampliamente estudiada por su alto contenido de polifenoles, por su poder edulcorante (12 °Brix) y colorante (Cárdenas, 2013). Por otro lado, el taxo es una fruta rica en proteínas (1,10 g/100 g fruta), 17 mg de calcio, fósforo 20 mg y vitaminas (A 6,67 mg, B32,5 mg; C 35 mg) por cada 100 gramos de fruta; además, tiene 6,30 g de carbohidratos por cada 100 g de materia comestible, lo que lo convierte en un fruto con un poder edulcorante y saborizante (Cuaspud Portilla, 2015).

2.1.2. Alimentos para lactantes

Según Hernández et al. (2006), durante los primeros seis meses de vida el lactante puede obtener todos los nutrientes que necesita de la leche materna, después de este periodo es necesario que se le proporcione alimentación complementaria para el desarrollo del niño. Dentro de los alimentos recomendados para niños de entre 6 a 12 meses, se encuentran: purés de frutas y verduras, carnes, pescados, zumos y papillas. No obstante, muchos de ellos no cuentan con la cantidad de vitaminas y minerales que el niño requiere, por lo tanto se requiere de un alimento formulado para asegurar la ingesta necesaria de nutrientes. Dentro de este tipo de productos se encuentran en las perchas locales papillas en polvo; sin embargo, son de difícil acceso para la mayoría de la población por su alto costo, debido a que en su mayoría son importadas.

2.1.3. Secado como método de conservación

Fito Maupoey et al. (2001), consideran que el secado es un excelente método de preservación de alimentos debido a que disminuye la cantidad de humedad, misma que influye directamente

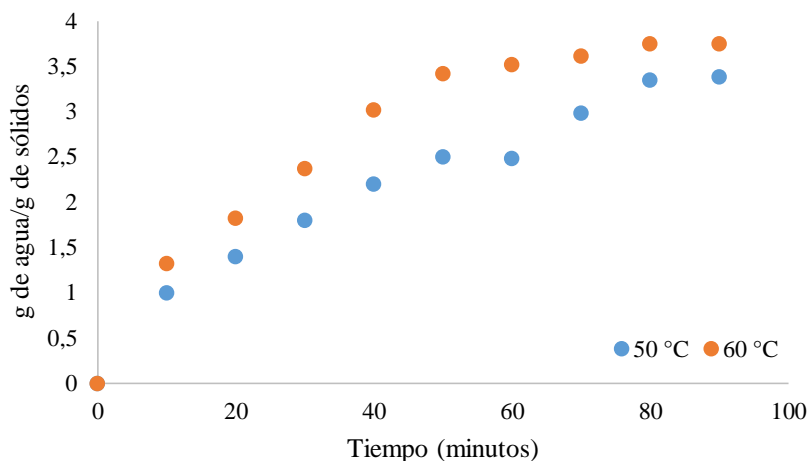
en el deterioro de los mismos. Uno de los equipos ampliamente usado es el secador por aire caliente por su bajo costo de implementación y su versatilidad.

2.1.3.1. Secado por aire caliente

Los secadores convectivos están formados por una cámara metálica rectangular que contiene soportes móviles sobre los que se apoya un cierto número de bandejas perforadas (poca profundidad), montadas unas sobre otras con una separación adecuada en donde se coloca el material a secar. El aire es calentado con un haz de tubos y se lo hace circular entre las bandejas con la ayuda de un ventilador. El equipo también posee un conducto de evacuación por donde sale el aire húmedo y una abertura de entrada por donde ingresa el aire fresco.

En esta clase de secador se puede secar todo tipo de material y el producto obtenido, debido a sus características de tamaño de partícula y buena calidad, presenta altos índices de rehidratación. Estos equipos permiten secar cargas pequeñas de productos muy sensibles (25-50 kg/h) y es usado ampliamente para la deshidratación de espinacas, ajo, perejil, guisantes, judías verdes, champiñones, cebollas, entre otros (Fito Maupoey et al., 2001).

Existen diferentes estudios de la cinética de secado de diferentes alimentos utilizando equipos de secado convectivo. Por ejemplo, Giraldo-Zuniga et al. (2010), utilizaron esta tecnología para la deshidratación de copoazú en rodajas. El tiempo requerido para secar el producto, hasta 20 % de humedad con aire a 1,5 m/s, fue de 9,2; 8,1 y 7,3 horas para 50, 60 y 70 °C respectivamente. Además, la investigación determinó que la temperatura del agua (50 y 60 °C) está relacionada con la velocidad de rehidratación (Gráfica 1).



Gráfica 1. Curva de rehidratación

Fuente: Giraldo-Zuniga et al. (2010)

2.1.4. Rehidratación

Durante el secado se pueden provocar cambios indeseables en los alimentos. Por ejemplo, el material puede sufrir alteraciones en su conformación estructural y esto ocasiona que al momento de ser reconstituido el alimento no recupere su forma, textura y tamaño original. Según Fito Maupoey et al. (2001), el cambio de textura es debido al encogimiento celular provocado por la pérdida de agua y las altas temperaturas a las que ha sido sometido el alimento. Además, existen alteraciones debido al cambio de estado gomoso a vítreo provocado por el proceso de deshidratación. Todos estos cambios limitan la capacidad del producto seco para absorber agua durante la rehidratación. En el caso de los alimentos en polvo, lo deseable es que se reconstituyan de forma instantánea y completa, tanto en líquidos calientes como fríos, y la medida en la que esto se logra depende del método y de las condiciones de secado empleadas para la obtención del material seco.

La rehidratación y la reconstitución son términos que suelen confundirse. La rehidratación se refiere a la cantidad de agua que un alimento seco es capaz de absorber en un periodo de tiempo, y está relacionado con la cinética y tecnología de secado. Mientras que la reconstitución se refiere al estado del producto después de la absorción de líquidos, y está relacionado con cambios en la viscosidad, entre otros. Además que al acortar el tiempo de rehidratación se

minimiza el esfuerzo requerido por el consumidor para obtener un alimento con las características originales (Acosta Hernández, 2010).

La capacidad de rehidratación se evalúa mediante el coeficiente de rehidratación (RC) (Ecuación 1), y lo que comúnmente se observa es que la velocidad a la que se hidrata el producto disminuye con el tiempo de inmersión. Es deseable que estos dos aspectos tengan valores elevados, ya que representa la efectividad del proceso de secado (Arriola-Guevara et al., 2006; Meda & Ratti, 2005).

$$RC = \frac{W_r - W_{fd}}{W_0 - W_{fd}} \times 100 \quad (1)$$

Dónde: W_r peso de la muestra después de la rehidratación (g); W_{fd} peso de la muestra seca (g), W_0 peso inicial de la muestra sin ningún proceso (g).

2.1.5. Propiedades reológicas

Según Ramírez-Navas (2006), las propiedades reológicas de un fluido son uno de los criterios esenciales en el desarrollo de productos, ya que son parámetros determinantes en el dimensionamiento de equipos. Además, al conocer el comportamiento reológico de los productos se puede analizar la calidad durante los procesos aplicados a nivel industrial e incluso en el momento del consumo.

2.1.5.1. Reología

2.1.5.2. Tipos de fluidos

La relación del esfuerzo de corte requerido para provocar una determinada velocidad de deformación en cizalla es la que define el comportamiento reológico de un fluido (Alvarado, 1996). En base a su comportamiento cuando son sometidos a tensión Rao et al. (1975), clasificó a los fluidos de la siguiente manera:

a) Fluidos newtonianos

Según Toledo (2007), los fluidos newtonianos son aquellos en los que el esfuerzo de cizalla (σ) es directamente proporcional a la velocidad de cizalla (γ) (Ecuación 2), por lo que fluyen rápidamente sin necesidad de aplicarles un esfuerzo.

$$\sigma = \mu (\gamma) \quad (2)$$

Donde: μ viscosidad.

b) Fluidos no newtonianos

Los fluidos que no presentan comportamiento newtoniano se conocen como no newtonianos. En este tipo de fluidos el cociente entre esfuerzo cortante y la velocidad de corte no es lineal; por ende, la viscosidad está en función de la velocidad de corte y el término que se caracteriza es el índice de consistencia (Alvarado, 1996). Según Muller (1973), la mayoría de alimentos se encuentran dentro de esta clasificación.

Alvarado (1996), clasifica a los fluidos no newtonianos dentro de 3 categorías. A los que exhiben relación directa entre la viscosidad aparente y el aumento de la velocidad de cizalla, los denomina fluidos dilatantes. Mientras que los fluidos que describen una relación inversamente proporcional de la viscosidad aparente con la velocidad de cizalla, los describe como pseudoplásticos. Ambos se ajustan a la Ley de la Potencia (Ecuación 3).

$$\sigma = k (\gamma)^n \quad (3)$$

Donde: k índice de consistencia ($\text{Pa}\times\text{s}^n$), n índice de comportamiento al flujo (adimensional) ($n = 1$ fluido newtoniano, $n < 1$ fluido pseudoplástico y $n > 1$ dilatante).

La tercera categoría involucra los fluidos que presentan un comportamiento plástico, es decir tienen propiedades de sólido hasta que sobrepasa un esfuerzo umbral, a partir del cual se comportan como líquido. Para Singh y Heldman (1997), este efecto se debe a que poseen una red inter-particular, en la que actúan fuerzas de Van der Waals y puentes de hidrógeno entre las partículas suspendidas en la matriz del alimento (Ramírez-Navas, 2006), que los hace resistentes a bajos esfuerzos cortantes cuando se encuentran en reposo. El material fluirá solo cuando se ha

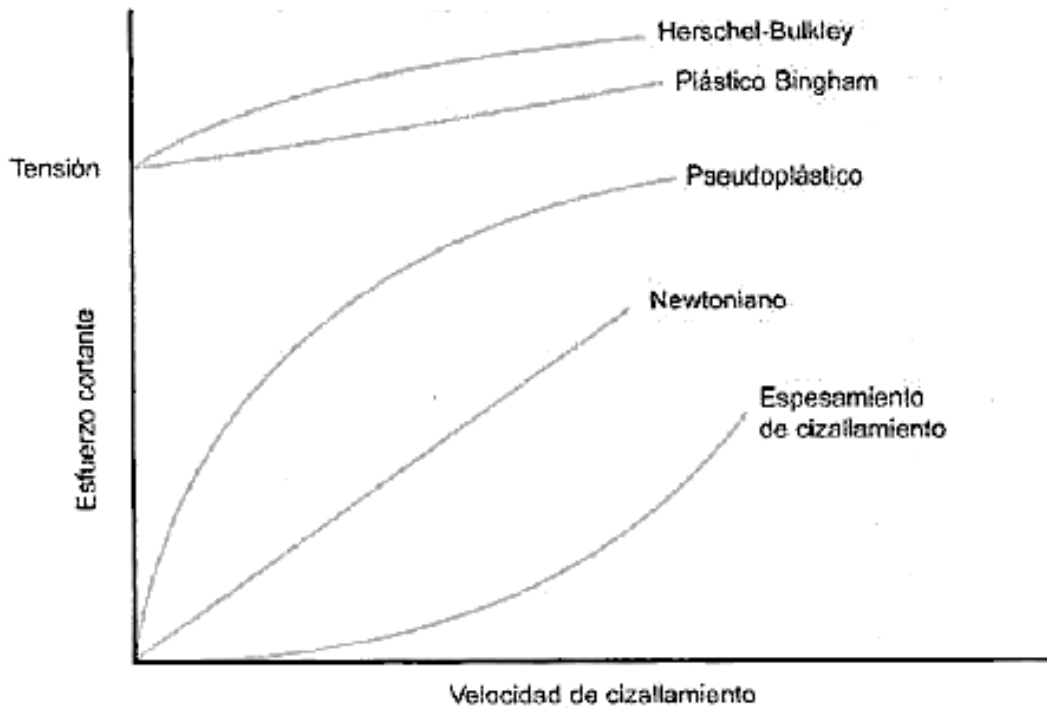
aplicado una fuerza capaz de romper dicha red. En este tipo de fluidos la relación entre la velocidad de cizalla y el esfuerzo cortante no siempre es lineal (Gráfica 2).

Este tipo de fluidos se ajustan a la Ecuación 4, que incluye la constante C que se denomina esfuerzo de fluencia.

$$\sigma = k (\dot{\gamma})^n + C \quad (4)$$

Donde: k índice de consistencia ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$), n índice de comportamiento al flujo (adimensional) ($n = 1$ fluido Bingham, $n < 1$ fluido plástico pseudoplástico y $n > 1$ plástico dilatante), C umbral de fluencia inicial (Pa).

Además, según Singh y Heldman (1997), se pueden dividir entre independientes y dependientes del tiempo. Para fluidos no newtonianos con comportamiento independiente del tiempo existen modelos que permiten describirlos reológicamente, uno de éstos es el modelo de Herschel-Bulkley, ampliamente usado para caracterizar alimentos.



Gráfica 2. Curva de flujo para diferentes tipos de fluidos

Fuente: Singh y Heldman (1997)

2.1.5.3. Modelos matemáticos

Ofoli et al. (1987), mencionan que los modelos que mejor se ajustan en la caracterización de alimentos son: la Ley de la potencia, Bingham, Herschel-Bulkley, Casson, Heinz-Casson y Mizrahi-Berk.

a) Modelo Herschel-Bulkley

Steffe (1986), menciona que éste modelo (Ecuación 5), permite describir el comportamiento de todo tipo de fluidos.

$$\sigma = \sigma_0 + k (\dot{\gamma})^n \quad (5)$$

Donde: σ_0 umbral de fluencia inicial (Pa), k índice de consistencia ($\text{Pa}\times\text{s}^n$), n índice de comportamiento de flujo (adimensional) ($n = 1$ fluido newtoniano/Bingham, $n < 1$ fluido pseudoplástico/plástico pseudoplástico y $n > 1$ dilatante/plástico dilatante).

b) Modelo de Casson

Es utilizado para el ajuste de datos de chocolate y aceites arrojando elevados coeficientes de correlación (Ecuación 6) (Casson, 1959).

$$\sigma^{0,5} = \sigma_0^{0,5} + k^{0,5} (\dot{\gamma})^{0,5} \quad (6)$$

Donde: σ_0 umbral de fluencia inicial (Pa), k índice de consistencia ($\text{Pa}\times\text{s}^n$).

c) Modelo de Mizrahi-Berk

Es una modificación del modelo de Casson y considera el efecto de varios componentes propios de la matriz analizada en el comportamiento del flujo. La aplicación del modelo permite explicar la dependencia del tiempo (reversible e irreversible), la existencia de tensión de fluencia, el comportamiento pseudoplástico y el efecto de la concentración de partículas suspendidas en el umbral de fluencia (Mizrahi & Berk, 1972).

$$\sigma^{0,5} = k_{0M}^{0,5} + k_M (\dot{\gamma})^n \quad (7)$$

Donde: k_{OM} umbral de fluencia inicial (Pa), k_M índice de consistencia ($\text{Pa}\times\text{s}^n$), n índice de comportamiento (adimensional).

2.1.5.4. Efecto de la temperatura

Los alimentos durante su procesamiento y transporte enfrentan cambios de temperatura, por esta razón es necesario conocer la estabilidad de los alimentos frente a dichos cambios (Garza, 2001). La influencia de la temperatura con la viscosidad se ajusta a la ecuación de Arrhenius (Ecuación 8) en ausencia de cambios considerables en la estructura del alimento, de acuerdo a diferentes estudios. Por ejemplo, en puré de papa fresco, escaldado y congelado con adición de crioprotectores se observó que la transición de fase, así como la activación y/o desactivación de enzimas, a 55°C , causan desviaciones en la ecuación de Arrhenius al relacionar tanto la viscosidad plástica como el índice de consistencia (Fernández Fraguas, 2008; González-Martínez et al., 2004). Finalmente, puré de batata muestra similar cambio a 65°C , debido a que los almidones alcanzan su máxima viscosidad (Ahmed & Ramaswamy, 2006b).

En el caso del presente estudio, se evaluó la influencia de la temperatura sobre el índice de consistencia, debido a que se obtuvo mejor ajuste con la ecuación de Herschel-Bulkley (Sheridan et al., 2012).

$$k = A \times e^{\frac{E_a}{RT}} \quad (8)$$

Dónde: k índice de consistencia ($\text{Pa}\times\text{s}^n$); T temperatura absoluta (K); R constante universal de los gases ($8,314 \text{ J}\times\text{mol}^{-1}\times\text{K}^{-1}$); E_a energía de activación al flujo ($\text{J}\times\text{mol}^{-1}$); A constante del material ($\text{Pa}\times\text{s}$).

2.1.5.5. Estudios reológicos previos en matrices alimenticias similares

Diversos estudios reológicos se han realizado en alimentos. Por ejemplo, un estudio realizado por Moelants et al. (2011), en papilla de zanahoria rehidratada, determinó que se ajusta a la Ley de la Potencia ($n < 1$), con influencia del tamaño, forma y concentración de las partículas en la elasticidad de la muestra (Rendón, 2013).

Por otra parte, Ahmed y Ramaswamy (2006a), observaron que purés de vegetales (arveja, maíz y fréjol) presentan un comportamiento viscoelásticos, con un cambio considerable en los valores a 80 °C debido a la gelatinización del almidón. Así mismo, Álvarez y Canet (2001), evaluaron el efecto de la congelación y el calentamiento en puré de papa y brócoli, observando que ambos procesos provocan una disminución de las propiedades reológicas debido a la pérdida de agua y retrogradación de los gránulos de almidón.

En cuanto a estudios realizados en tubérculos, puré de papa fresco y congelado (con la adición de crio-protectores) presenta comportamiento pseudoplástico en un amplio rango de temperatura, debido a la presencia de almidón y biopolímeros presentes en la papa (pectina) y gomas añadidas (xantán) agregadas para mejorar su textura (Fernández Fraguas, 2008).

Mientras que puré de yuca fermentada, se clasifica como un fluido no newtoniano, sin esfuerzo de fluencia y con comportamiento pseudoplástico, debido a que contiene entre 0,60 a 0,62 % de almidón (García et al., 2016).

En general, en la estructura del almidón se observa que la amilosa favorece la retrogradación durante el enfriamiento (sinéresis), mientras que la amilopectina permite obtener pastas más estables a baja temperatura. En este sentido, el almidón de papa presenta una temperatura media de gelatinización de 66°C (Alvis et al., 2008) y 24% de amilosa, lo que garantiza bajos niveles de retrogradación (Grommers & van der Krogt, 2009) y menor hinchazón del gránulo (Truong & Avula, 2010).

2.2. Hipótesis

H₀: El tipo de papilla, el secado con aire caliente y la temperatura no afectan las propiedades reológicas (índice de consistencia e índice de comportamiento al flujo).

H₁: El tipo de papilla, el secado con aire caliente y la temperatura afectan las propiedades reológicas (índice de consistencia e índice de comportamiento al flujo).

2.3. Señalamiento de variables de la hipótesis

2.3.1. Variable dependiente

Propiedades reológicas Índice de consistencia (k en $\text{Pa}\times\text{s}^n$)
Índice de comportamiento a flujo: (n - adimensional)

2.3.2. Variable independiente

Tipo de papilla SRM: Santa Rosa Mora
SRT: Santa Rosa Taxo
YHM: Yema de Huevo Mora
YHT: Yema de Huevo Taxo

Estado Fresca
Rehidratada

Temperatura 20 °C
30 °C
40 °C

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales, ingredientes y equipos

3.1.1. Materia prima

- Papas nativas (Santa rosa, Yema de huevo)
- Fruta (mora, taxo)
- Harina de maíz y arroz
- Stevia
- Yema de huevo

3.1.2. Equipos

- Secador de aire caliente (Gander MTH)
- Reómetro Anton Paar (modelo MCR 302)
- Balanza analítica (Citizen CX 220)
- Balanza de humedad (Citizen)

3.2. Métodos

3.2.1. Elaboración de la papilla infantil

La formulación para la elaboración de las papillas se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Formulación de papillas de continuación para lactantes de más edad (6 - 12 meses)

Material	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
Papa Santa rosa o Yema de huevo	300	38,61
Pulpa de mora o taxo	300	38,61
Harina de arroz	100	12,87
Harina de maíz	50	6,44
Yema de huevo	25	3,22
Stevia	2	0,26
TOTAL	777	100

Elaborado por: Autora

Debido a que la presencia de yema de huevo en la formulación de la papilla genera incertidumbre (por las alergias que puede provocar en infantes), se realizó una investigación exhaustiva obteniendo la información citada a continuación. Según Falcó et al. (2003), la alergia al huevo se produce principalmente por la ingesta de la clara debido a que contiene los alérgenos más importantes (Tabla 2). En el caso de la yema de huevo las alfa-levitinas son consideradas alérgenos, pero se inhibe su potencial riesgo al ser sometidas a cocción debido a que son termolábiles (Binaghi & López, 2012); además que, tan solo el 10% del total de las proteínas presentes en la yema de huevo son alfa-livetinas. En cuanto a la normativa alimentaria internacional, Japón es el único país que ha establecido un límite máximo de 10 ppm para alérgenos (10 mg de proteínas/g alimento).

Tabla 2. Alérgenos del huevo

Clara
Ovoalbúmina (Gal d 2): 64 %. Termolábil
Ovomucoide (Gal d 1): 9 %. Termolábil
Conalbúmina (Gal d 3): 14%
Lisozima (Gal d 4): 34%
Yema
α -livetina (Gal d 5)

Fuente: Falcó et al. (2003)

3.2.2. Proceso de elaboración

3.2.2.1. Cocción

Se cocieron por separado papa, harina de arroz y harina de maíz, con agua en una relación 1:1. Posteriormente, se mezclaron todos los ingredientes, con la adición de la pulpa de fruta, huevo y stevia.

3.2.2.2. Deshidratación

Se colocó la papilla en recipientes desechables formando una fina capa. Los recipientes se introdujeron en el secador de aire caliente (Marca Gander MTH) durante 21 horas a 75 °F.

3.2.3. Molienda

La papilla seca se trituró con un molino eléctrico construido con financiamiento del proyecto de investigación, mismo que permitió obtener un producto con partículas uniformes.

3.2.3. Capacidad de rehidratación

Se trabajó según la metodología detallada en el apartado 2.1.4. Se pesó la papilla seca y se añadió agua (20, 30, 40 °C), se volvió a pesar la papilla y se evaluó la capacidad de rehidratación utilizando la Ecuación 1.

3.2.4. Caracterización reológica

Los parámetros reológicos se determinaron con un reómetro Anton Paar (modelo MCR 302), utilizando una geometría de platos paralelos lisos (PP25, diámetro 25 mm) y una trampa de solvente para minimizar las pérdidas de agua durante el tiempo de medición.

Se colocaron 2 g de papilla en la geometría y se dejó estabilizar durante 5 minutos con la finalidad de que la muestra recupere su estructura y alcance la temperatura de determinación. El tiempo de estabilización fue establecido mediante pruebas preliminares y bajo la consideración de que no debe ser prolongado, ya que puede provocar volatilización de componentes. La determinación se realizó a velocidad de cizalla de 1 a 100 s⁻¹ y 20, 30 y 40 °C alcanzadas mediante un sistema Peltier Plate.

Para la caracterización de las curvas de flujo, se tomó como antecedente estudios reológicos sobre purés de vegetales (Qiu & Rao, 1988), y finalmente se decidió trabajar con los siguientes modelos:

3.2.4.1. Modelo Herschel Bulkley

Debido a que las curvas de flujo no parten desde el origen, se trabajó con este modelo, con la finalidad de evaluar el umbral de fluencia inicial (Ecuación 5). Este modelo es utilizado para la caracterización de fluidos industriales y ha mostrado valores elevados de coeficiente de correlación al ser ajustado a productos como salsas, mermeladas, confituras y purés de vegetales (Fernández Fraguas, 2008).

3.2.4.2. Modelo de Casson

Este modelo también toma en consideración el umbral de fluencia inicial (Ecuación 6) y permite ajustar los datos a rangos más amplios (Fernández Fraguas, 2008).

3.2.4.3. Modelo de Mizrahi-Berk

Este modelo surge de una modificación del modelo de Casson (Ecuación 7), y ha sido usado para la obtención de parámetros reológicos de alimentos con partículas suspendidas y con tendencia a la formación de gel (Mizrahi & Berk, 1972).

3.2.5. Influencia de la temperatura en las características reológicas de la papilla

Para determinar la estabilidad de la papilla con los cambios de temperatura se aplicó el modelo de Arrhenius (Ecuación 8), utilizando el índice de consistencia como propiedad reológica. Además, se calculó la energía de activación, lo cual permitió explicar la influencia que ejerce la temperatura en la consistencia de la papilla (Sheridan et al., 2012).

3.3. Diseño experimental

Se aplicó un arreglo factorial $A \times B \times C$, siendo el factor A: tipo de papilla (SRM, SRT, YHT, YHM), factor B: estado de la papilla (fresca y rehidratada) y factor C: temperatura (20, 30, 40 °C). Las variables respuesta analizadas fueron: índice de consistencia (k) e índice de comportamiento (n). Las diferencias significativas de los datos obtenidos (3 réplicas y 3 repeticiones) se analizaron mediante pruebas de varianza y Tukey a un 95 % de confianza, utilizando el paquete estadístico Statgraphics.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Capacidad de rehidratación

A partir de los resultados del porcentaje de rehidratación (Tabla 3), se puede concluir que el secado convectivo provocó daños estructurales durante la evaporación debido a que no se reintegra el 100% del agua evaporada. Rodajas de kiwi, sometidas a un proceso de secado similar, muestran porcentajes de rehidratación entre 26 a 28% (Maskan, 2001), rodajas de zanahoria 25% (Lin et al., 1998), mientras que rodajas de papa alrededor 10% (Bouraoui et al., 1994) (valores obtenidos con agua a 100°C, durante un tiempo de rehidratación de 6 min en todos los casos citados). Estos datos comparativos permiten concluir que los porcentajes obtenidos en el presente estudio, a pesar de ser bajos, son superiores a los considerados como adecuados (45 y 50%) (McMinn & Magee, 1997b).

Según Melquíades et al. (2009), la capacidad de rehidratación en productos biológicos está relacionada con el tipo de material y composición de las células, y por ende con cambios químicos o físicos que ocurren durante el proceso de secado. Uno de los principales cambios ampliamente observados es el encogimiento, modificación que genera espacios menos definidos debido a que los tejidos son más densos y rígidos, reduciendo así el coeficiente de difusión del agua durante la rehidratación (García- Pascual et al., 2005).

Por otra parte, se observa que la capacidad de rehidratación presenta los valores más altos al trabajar con mora. Esto se debe a que esta fruta presenta un alto contenido de pectina (0,8 %) que durante la rehidratación absorbe y mantiene más agua en su estructura. Además, su presencia es favorable debido a que los compuestos pécticos están asociados con la retención de compuestos aromáticos, lo que es favorable (Cáceres & Heidy, 2003). Además, se observa un efecto sinérgico con la papa variedad Yema de huevo, siendo la muestra con los porcentajes más altos en todas las temperaturas de estudio. En este caso, la gelatinización del almidón y el hinchamiento de la fibra dietética contribuyen a la absorción agua (Granito et al., 2009).

Así mismo, esta propiedad se ve influenciada por la temperatura del agua utilizada en la rehidratación, presentando porcentajes más altos en todas las muestras a 40 °C (Tabla 3). Esto guarda relación con los valores elevados de solubilidad de ciertos componentes alimenticios a temperaturas altas (Melquíades et al., 2009). Además, a 40 °C se mantiene la estructura original de las pectinas presentes en la pared celular, mejorando la capacidad de absorción de agua (Marín et al., 2006). Por esta razón, para la caracterización reológica las muestras se rehidrataron a esta temperatura. Además, influyen los valores bajos de densidad y viscosidad que el agua presenta a altas temperaturas (Mott & Brito, 2006), mismos que contribuyen al transporte de sólidos a través de la matriz alimenticia. Sin embargo, este efecto no es positivo durante el secado, debido a que ocasiona pérdida de nutrientes y colorantes.

Finalmente, se puede concluir que el proceso de secado a baja temperatura por tiempo prolongado, afecta la capacidad de rehidratación, debido a que provoca un daño estructural irreversible (Ghosh & Mukherjee, 1988; Ormaza et al., 2016). Frente a estos resultados, la evaluación individual del efecto de la temperatura, velocidad de aire, humedad relativa y tiempo es imprescindible en la optimización del proceso de secado (McMinn & Magee, 1997a). Otra opción es aplicar métodos de secado combinados, como microondas y secado convectivo, debido a que reduce el daño estructural y la pérdida de componentes (Marín et al., 2006).

Tabla 3. Capacidad de rehidratación de las papillas secadas con aire caliente

Temperatura °C	Tipo de papilla	Capacidad de rehidratación %
20	SRM	55,67
	SRT	54,79
	YHM	57,41
	YHT	52,46
30	SRM	63,28
	SRT	62,25
	YHM	65,66
	YHT	59,87
40	SRM	69,63
	SRT	70,99
	YHM	75,67
	YHT	64,92
50	SRM	65,32
	SRT	66,36
	YHM	73,16
	YHT	64,16

4.2. Caracterización reológica de la papilla

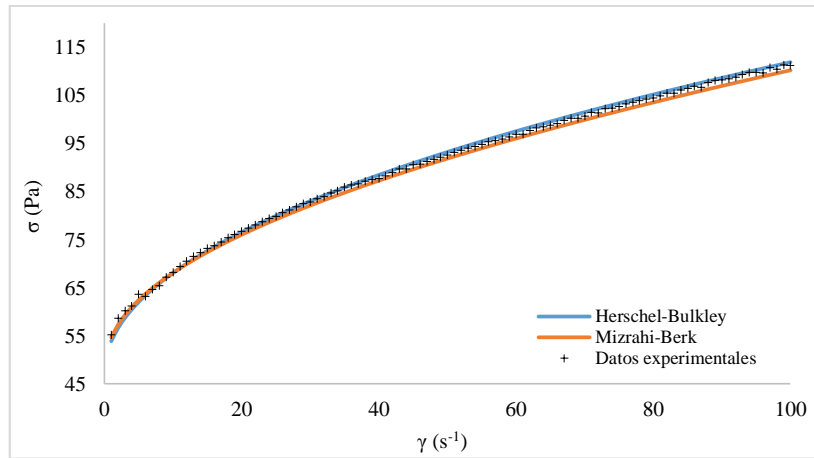
Las curvas de flujo muestran un comportamiento plástico pseudoplástico. Es decir, las papillas infantiles requieren un esfuerzo inicial para empezar a fluir y exhiben un aumento potencial del esfuerzo de corte frente al incremento de la velocidad de cizalla (Gráficas 3 y 4).

Para la caracterización reológica se ajustaron los valores de velocidad de cizalla y esfuerzo de corte a los modelos matemáticos previamente citados (Guanoluisa, 2013). Las ecuaciones de Herschel-Bulkley y Mizrahi-Berk presentan coeficientes de correlación elevados, mientras que el modelo de Casson no se ajusta a la muestra en estudio.

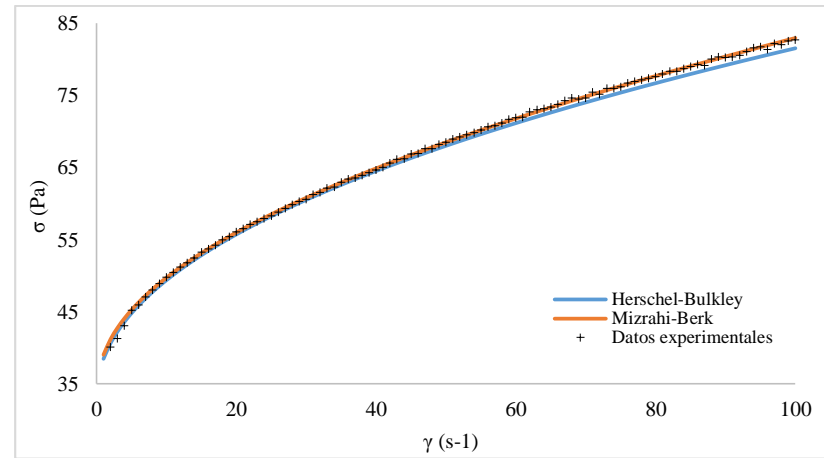
Las papillas analizadas presentan umbral de fluencia que varía entre 22 a 47 Pa, con una relación directamente proporcional con la cantidad de sólidos totales que presenta la muestra, como es el caso de las muestras elaboradas con mora y la papa variedad Yema de huevo. En cuanto al índice de consistencia (k), se observan valores que oscilan entre 2,05 y 6,88 Pa \times sⁿ con el modelo de Herschel-Bulkley, mientras que con el modelo de Mizrahi-Berk se obtuvieron valores menores (0,23 a 0,73 Pa \times sⁿ). Debido a que el índice de consistencia es una medida indirecta de la viscosidad (Garza, 2001), se puede concluir de forma general, que la viscosidad disminuye después del proceso de secado.

Finalmente, con ambos modelos se comprueba el comportamiento pseudoplástico observado en las curvas de flujo (Gráficas 3 y 4), debido a que todos los ajustes arrojan valores de índice de comportamiento al flujo (n) menores a 1 (Tabla 3), similares a los observados por Canet et al. (2005), en puré de papas fresco y congelado. El comportamiento pseudoplástico se debe que la velocidad de ruptura de las interacciones moleculares es mayor a la velocidad de reformación de estas interacciones con el aumento de la velocidad de deformación (Morris, 1989). Según Van Wazer et al. (1963), el fenómeno de pseudoplasticidad da como resultado una menor resistencia al flujo debido a la presencia de sustancias de alto peso molecular en el fluido.

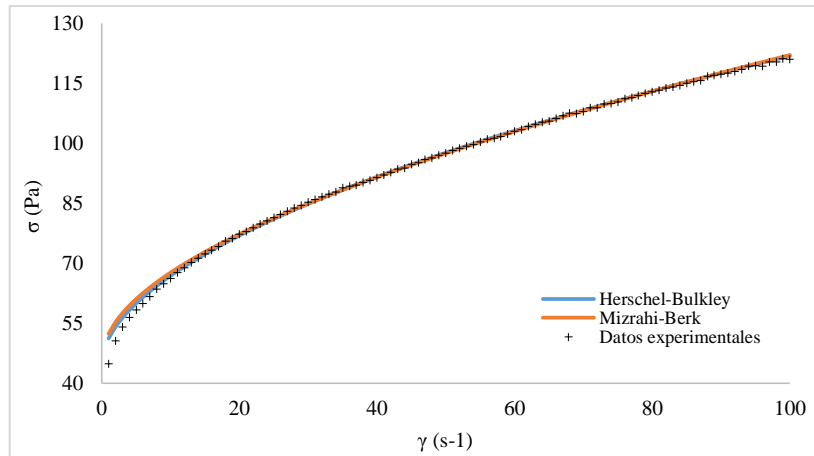
Así mismo, las Gráficas 3 y 4 muestran la efectividad del ajuste de los modelos matemáticos utilizados para la caracterización reológica. Además, el porcentaje de error medio relativo (%E) oscila entre 1,6 y 3,8% (Tabla 3), inferiores al 6% marcado como límite de ajuste (Einhorn, 1986), indicando que los modelos describen el comportamiento reológico satisfactoriamente.



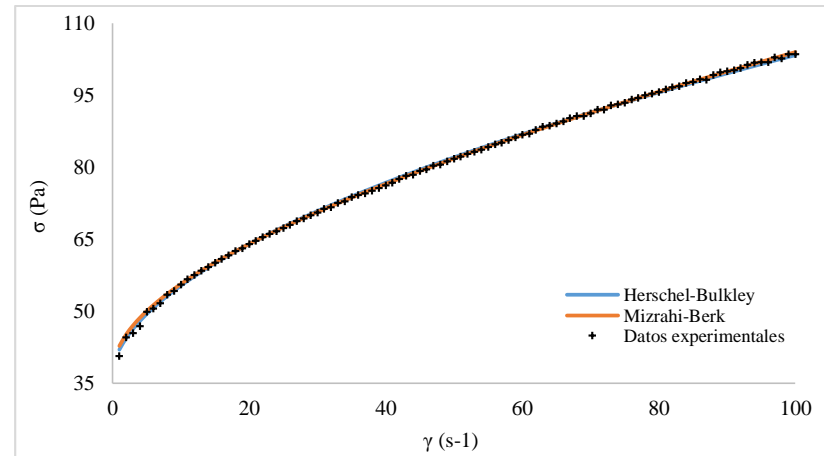
a)



b)



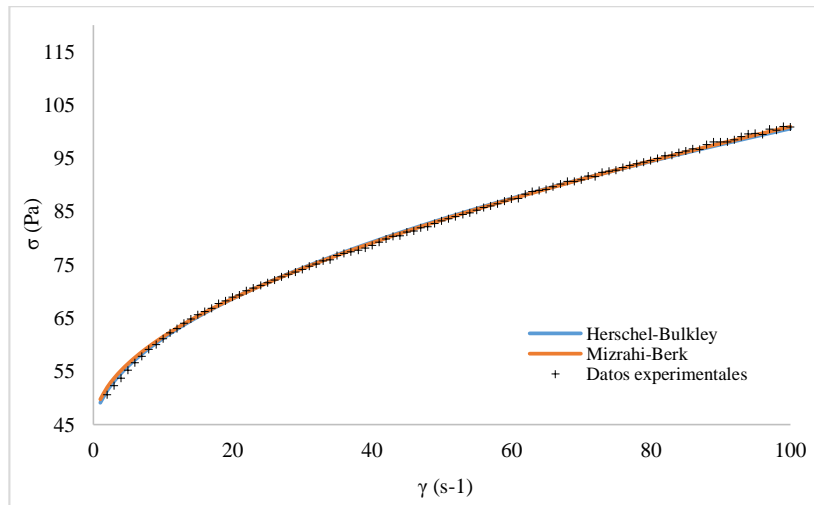
c)



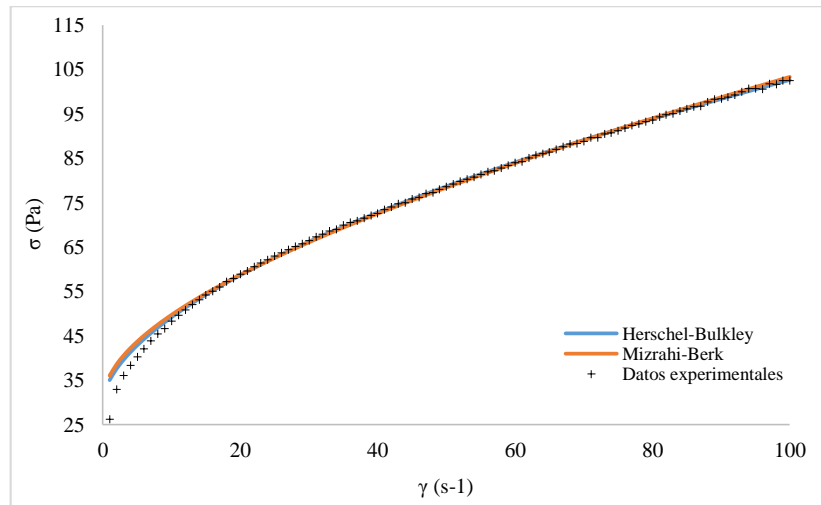
d)

Gráfica 3. Ajuste a distintos modelos de flujo a 20°C papillas frescas

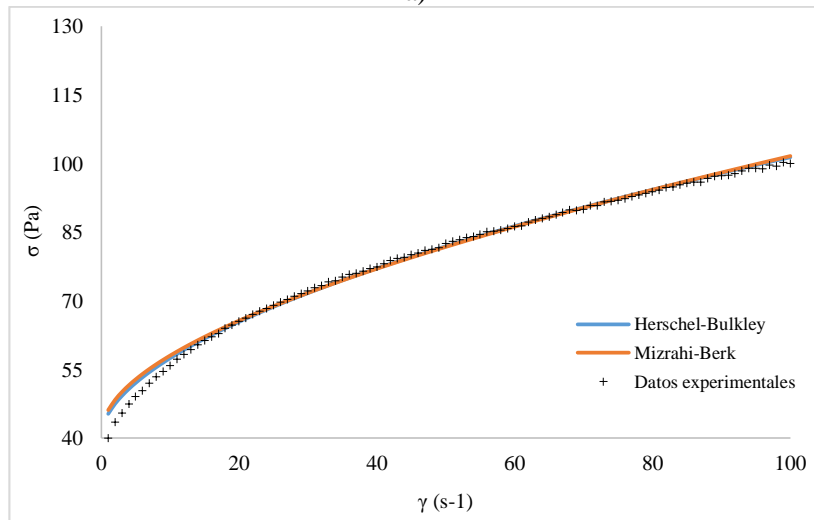
a) SRM; b) SRT; c) YHM; d) YHT



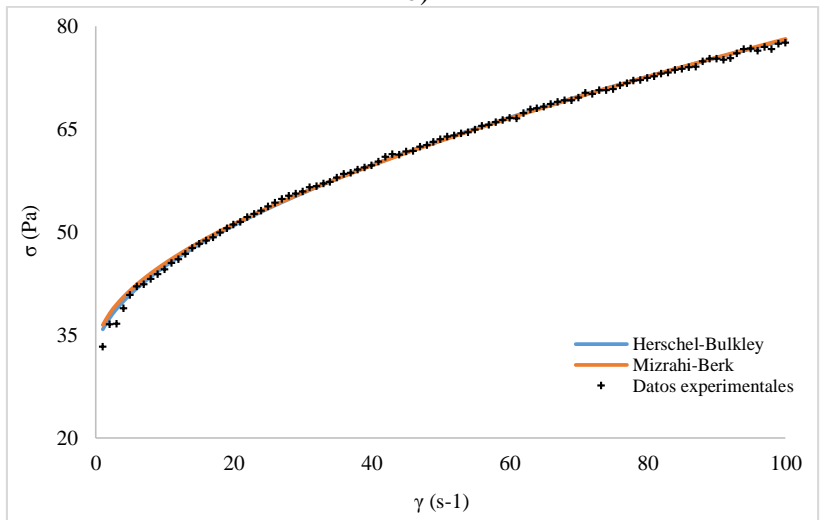
a)



b)



c)



d)

Gráfica 4. Ajuste a distintos modelos de flujo a 20°C papillas rehidratadas

a) SRM; b) SRT; c) YHM; d) YHT

4.2.1. Índice de consistencia

El índice de consistencia presenta diferencias significativas en los tres factores analizados (tipo de papilla, estado y temperatura), en los dos modelos de ajuste utilizados.

En cuanto al tipo de papilla se observa que la papa Santa rosa presenta valores más elevados de índice de consistencia, debido a que esta variedad contienen mayor porcentaje de proteína y fibra (10,6 g de proteínas y 4,6 g de fibra por cada 100 gramos) frente a la variedad Yema de huevo (6,4 g de proteína y 3,1 g de fibra por cada 100 gramos) (Robalino et al., 2014). Además, de las proteínas presentes en la papa el 38 % pertenecen al grupo de las papatinas y la fibra está representada en su mayoría por celulosa, lignina y pectina, siendo todos estos compuestos responsables de la firmeza del producto elaborado.

Mientras que al analizar el estado de la papilla se observan valores menores en la papilla rehidratada. Esto se debe a que el proceso de secado ocasiona cambios estructurales que no se recuperan cuando el alimento se reconstituye. Parte de estos cambios estructurales son el encogimiento celular provocado por la pérdida de agua y las altas temperaturas, así como el cambio de estado de gomoso a vítreo (Fito Maupoey et al., 2001).

Finalmente, el índice de consistencia presenta una relación inversamente con la temperatura; es decir con el aumento de temperatura la papilla se vuelve menos viscosa. Esta tendencia se debe al daño estructural provocado por el aumento de la temperatura (Fernández Fraguas, 2008). Además, parte de sus componentes estructurales, como almidón y sustancias pécticas (alrededor del 60%), son susceptibles a cambios de temperaturas, debido a que se solubilizan más fácilmente que otros polímeros, provocando una disminución en la adhesión intercelular (Van Marle, 1997).

4.2.2. Índice de comportamiento

El índice de comportamiento presenta diferencias significativas entre el estado y la temperatura de análisis en ambos modelos analizados, aunque en ninguno de los casos se observan cambios que modifiquen la clasificación de plásticos pseudoplásticos establecida previamente.

Analizando las diferencias halladas entre estado fresco y rehidratado, se observan valores menores en las muestras rehidratadas. Es decir, aunque el proceso de secado no generó cambios drásticos en el tipo de comportamiento reológico, si provocó una disminución del índice de comportamiento con respecto a las frescas. Esta modificación se debe a que las propiedades reológicas dependen de diferentes características de los gránulos de almidón como: estado, concentración, tamaño, deformabilidad y rigidez. Estas características se ven afectadas con el aumento de la temperatura, debido al proceso de gelatinización y a la ruptura del gránulo de almidón, provocando una hidrólisis parcial y una disminución de la viscosidad (Linehan & Hughes, 1969).

En cuanto a la temperatura, se observa una relación directamente proporcional, llegando a obtener valores cercanos a 0,7 a 40 °C. Este efecto se debe a que la temperatura provoca un desequilibrio estructural provocando que la papilla libere parte del agua retenida, mostrando así que el comportamiento se acerca al de un fluido newtoniano.

En este sentido, estudios realizados en purés de papas, muestran que con el aumento de temperatura, el índice de comportamiento también aumentan debido a que se provoca una fluidificación de la papilla, disminuyendo su carácter pseudoplástico y por lo tanto acercando su tendencia hacia un comportamiento newtoniano (Fernández Fraguas, 2008). Así mismo, la tendencia general observada en purés de frutas, vegetales y mermeladas es una disminución del índice de consistencia y un aumento en el índice de comportamiento al flujo con el aumento la temperatura (Maceiras et al., 2007).

Tabla 4. Parámetros reológicos calculados para la papilla, ajustado a distintos modelos

Estado	Temperatura °C	Papilla	Herschel-Bulkley					Mizrahi-Berk				
			σ_0 (Pa)	k (Pa×s ⁿ)	n	R ²	% Error	k (Pa×s ⁿ)	n	R ²	% Error	
Fresco	20	SRM	47,32 ± 0,3	6,88 ± 0,5	0,53 ± 0,1	1	3,30	0,73 ± 0,5	0,40 ± 0,1	0,95	2,89	
		SRT	33,94 ± 4,6	5,17 ± 0,2	0,59 ± 0,1	1	2,19	0,43 ± 0,1	0,43 ± 0,1	1	2,02	
		YHM	45,88 ± 3,2	5,86 ± 1,4	0,50 ± 0,1	1	3,44	0,48 ± 0,1	0,45 ± 0,1	1	3,99	
		YHT	37,04 ± 0,6	5,17 ± 0,2	0,59 ± 0,1	1	3,75	0,46 ± 0,1	0,51 ± 0,1	0,99	3,18	
	30	SRM	43,88 ± 3,2	5,36 ± 1,5	0,59 ± 0,1	1	2,79	0,47 ± 0,1	0,50 ± 0,1	1	2,35	
		SRT	27,91 ± 2,2	4,31 ± 0,7	0,53 ± 0,1	1	3,33	0,43 ± 0,1	0,44 ± 0,1	1	2,96	
		YHM	38,31 ± 0,4	4,14 ± 0,1	0,61 ± 0,1	1	2,94	0,37 ± 0,03	0,53 ± 0,1	0,99	2,62	
		YHT	33,48 ± 0,4	3,84 ± 0,2	0,64 ± 0,1	1	3,47	0,35 ± 0,1	0,56 ± 0,1	0,99	2,35	
	40	SRM	38,93 ± 0,9	4,27 ± 0,2	0,62 ± 0,1	0,99	2,91	0,36 ± 0,1	0,52 ± 0,1	0,99	2,39	
		SRT	23,96 ± 0,7	3,37 ± 0,3	0,61 ± 0,1	1	3,28	0,38 ± 0,02	0,51 ± 0,1	1	2,65	
		YHM	32,10 ± 0,5	3,06 ± 0,1	0,69 ± 0,2	1	2,67	0,33 ± 0,1	0,62 ± 0,2	1	2,35	
		YHT	27,95 ± 1,7	3,06 ± 0,1	0,67 ± 0,1	1	2,90	0,36 ± 0,03	0,54 ± 0,1	1	2,27	
Rehidratado	20	SRM	44,13 ± 1,3	5,34 ± 0,3	0,47 ± 0,1	1	3,23	0,43 ± 0,03	0,41 ± 0,1	1	2,98	
		SRT	27,41 ± 3,7	5,78 ± 1,5	0,54 ± 0,1	1	3,64	0,62 ± 0,1	0,44 ± 0,1	0,99	3,32	
		YHM	40,69 ± 0,2	4,62 ± 0,2	0,50 ± 0,1	0,99	2,96	0,40 ± 0,04	0,44 ± 0,1	0,99	2,78	
		YHT	32,85 ± 1,3	3,54 ± 1,3	0,50 ± 0,1	1	2,62	0,34 ± 0,04	0,42 ± 0,1	1	2,45	
	30	SRM	41,79 ± 1,3	4,03 ± 0,8	0,52 ± 0,1	1	2,16	0,34 ± 0,1	0,47 ± 0,1	1	2,02	
		SRT	28,63 ± 3,4	4,85 ± 0,3	0,55 ± 0,0	1	3,12	0,51 ± 0,1	0,46 ± 0,04	1	2,84	
		YHM	32,24 ± 0,7	3,25 ± 0,1	0,46 ± 0,1	0,98	1,58	0,27 ± 0,1	0,46 ± 0,1	0,99	1,65	
		YHT	30,20 ± 1,7	2,86 ± 0,2	0,64 ± 0,1	0,99	2,63	0,36 ± 0,1	0,52 ± 0,04	0,99	2,33	
	40	SRM	38,90 ± 3,0	3,44 ± 0,7	0,62 ± 0,1	1	2,68	0,31 ± 0,1	0,55 ± 0,1	1	2,50	
		SRT	22,15 ± 1,9	3,48 ± 0,7	0,64 ± 0,1	1	3,21	0,44 ± 0,1	0,53 ± 0,1	1	2,50	
		YHM	26,65 ± 1,8	2,70 ± 0,2	0,49 ± 0,2	0,96	2,12	0,25 ± 0,05	0,47 ± 0,2	0,98	1,95	
		YHT	26,24 ± 0,5	2,05 ± 0,5	0,62 ± 0,1	1	2,56	0,23 ± 0,04	0,53 ± 0,1	1	2,08	

σ_0 : umbral de fluencia inicial; n: índice de consistencia; k: índice de comportamiento; SRM: santa rosa mora; SRT: santa rosa taxo; YHM: yema de huevo mora; YHT: yema de huevo taxo; R²: coeficiente de correlación

4.2.3. Influencia de la temperatura sobre el índice de consistencia

La ecuación de Arrhenius permite determinar la influencia de la temperatura sobre la viscosidad de los productos, en este caso se determinó la influencia de la temperatura sobre el índice de consistencia de las papillas.

Las papillas elaboradas con la variedad Yema de huevo exhiben valores mayores debido a que la energía de activación es elevada en muestras menos concentradas (Guerrero & Alzamora, 1998) guardando relación con el índice de consistencia discutido previamente. Además, en estas muestras la temperatura tiene menor influencia sobre el índice de consistencia (Gálvez et al., 2006).

En cuanto a los modelos matemáticos utilizados en la caracterización reológica, se observa mejor ajuste en este análisis con los datos obtenidos con la ecuación de Herschel-Bulkley, verificado mediante los altos valores obtenidos en los coeficientes de correlación.

Tabla 5. Energía de activación

Estado	Papilla	Herschel-Bulkley			Mizrahi-Berk		
		k_0 (Pa×s)	E_a (kJ/mol)	R^2	k_0 (Pa×s)	E_a (kJ/mol)	R^2
Fresca	SRM	$3,9 \times 10^{-3}$	18,2	1	$1,1 \times 10^{-5}$	27	0,99
	SRT	$6,5 \times 10^{-3}$	16,3	0,99	$6,5 \times 10^{-2}$	9,7	0,73
	YHM	6×10^{-4}	24,8	1	$1,5 \times 10^{-3}$	14,3	0,96
	YHT	$1,4 \times 10^{-3}$	20	1	$2,4 \times 10^{-3}$	12,7	0,89
Rehidratada	SRM	$5,3 \times 10^{-3}$	16,8	0,98	$2,5 \times 10^{-3}$	12,5	0,95
	SRT	$2,2 \times 10^{-3}$	19,3	0,96	$2,9 \times 10^{-3}$	13,1	1
	YHM	7×10^{-3}	20,5	0,98	$2,9 \times 10^{-4}$	18	0,88
	YHT	$7,2 \times 10^{-4}$	20,8	0,98	1×10^{-1}	14,7	0,95

E_a : Energía de activación; k_0 : constante del fluido

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se determinó las propiedades reológicas de las papillas frescas y rehidratadas las cuales presentaron una relación directamente proporcional del umbral de fluencia con la cantidad de sólidos totales, lo cual las caracteriza como fluidos plásticos pseudoplásticos. La variedad Santa rosa contribuye a obtener papillas más consistentes, debido a que posee mayor porcentaje de proteína y fibra, compuestos responsables de la firmeza de la papa. Mientras que el proceso de secado ocasiona cambios estructurales que no se recuperan cuando el alimento se reconstituye, lo cual se pudo evidenciar con los porcentajes de la capacidad de rehidratación de la papilla cuyo valor máximo se encontró a 40°C (60-70%) . En cuanto a la temperatura, presenta una tendencia inversamente proporcional debido a que el almidón y las sustancias pécticas son susceptibles a cambios de temperaturas.
- Se analizó el comportamiento reológico de las papillas frescas, las cuales presentaron un comportamiento no newtoniano del tipo plástico pseudoplástico, es decir requieren un esfuerzo inicial para empezar a fluir y exhiben un aumento potencial del esfuerzo de corte frente al incremento de la velocidad de cizalla. Además, se ajustan satisfactoriamente a los modelos de Herschel-Bulkley y Mizrahi-Berk, obteniendo valores menores de índice de consistencia con el segundo modelo, similares a diferentes estudios realizados en matrices alimenticias.
- Se evaluó la capacidad de rehidratación, con lo cual se obtuvo que los valores de la capacidad de rehidratación son superiores frente otros alimentos deshidratados mediante secado convectivo y se encuentran dentro del rango considerado como adecuado (45-50 % CRA). Uno de los fenómenos que más afectó este parámetro fue el encogimiento que se produce durante el secado, mismo que reduce el coeficiente de difusión de agua durante la rehidratación. La pectina presente en la mora, así como el almidón y la fibra dietética de la papa variedad Yema de huevo contribuyeron a una mayor hidratación de las papillas. Mientras que a 40 °C se obtuvieron

porcentajes más altos (60-70% CRA) debido a fenómenos de solubilidad de diferentes componentes, a la capacidad de absorción de la pared celular y a que se produce un mejor transporte de solutos a través de la matriz alimenticia.

– Se analizó las propiedades reológicas de la papilla rehidratada con lo cual se encontró que el proceso de secado provocó una disminución del índice de comportamiento al flujo, debido a que la temperatura provoca gelatinización y ruptura del gránulo de almidón, provocando una hidrólisis parcial y una disminución de la viscosidad. Sin embargo aunque existe una disminución del índice de comportamiento la papilla aun presenta un comportamiento pseudoplástico. En cuanto a la temperatura, se observa una relación directamente proporcional, llegando a obtener valores cercanos a la unidad lo que indica un acercamiento al comportamiento Newtoniano.

– Se determinó que las papillas elaboradas con la variedad Yema de huevo exhiben valores mayores debido a que la energía de activación es elevada en muestras menos concentradas guardando relación con el índice de consistencia. Además, se observa mejor ajuste con los datos obtenidos con la ecuación de Herschel-Bulkley.

5.2. Recomendaciones

- Frente a los resultados hallados en el presente estudio, la evaluación individual del efecto de la temperatura, velocidad de aire, humedad relativa y tiempo, es imprescindible en la optimización del proceso de secado.
- Aplicar métodos de secado combinados, como microondas y secado convectivo, en la misma matriz alimenticia con la finalidad de reducir el daño estructural y la pérdida de componentes.
- Realizar la determinación de los parámetros reológicos a tres temperaturas diferentes a las trabajadas en el presente estudio para obtener una mejor correlación al aplicar la ecuación de Arrhenius.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Hernández, W. D. (2010). *Evaluación del proceso de rehidratación del liofilizado de aguacate criollo (Persea Americana Mill. Variedad Drimifolya) mediante análisis de imágenes.*
- Ahmed, J., & Ramaswamy, H. S. (2006a). Viscoelastic and thermal characteristics of vegetable puree- based baby foods. *Journal of Food Process Engineering*, 29(3), 219-233.
- Ahmed, J., & Ramaswamy, H. S. (2006b). Viscoelastic properties of sweet potato puree infant food. *Journal of Food Engineering*, 74(3), 376-382.
- Alvarado, J. d. D. (1996). *Principios de ingeniería aplicados a alimentos*: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Proyecto Multinacional de Biotecnología y Tecnología de Alimentos.
- Álvarez, M. a. D., & Canet, W. (2001). Influence of cooking and freeze-thawing cycles on viscoelastic properties of vegetable purees. *LWT-Food Science and Technology*, 34(8), 549-555.
- Alvis, A., Vélez, C. A., Villada, H. S., & Rada-Mendoza, M. (2008). Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas. *Información tecnológica*, 19(1), 19-28.
- Arriola-Guevara, E., García-Herrera, T., Guatemala-Morales, G., Nungaray-Arellano, J., González-Reynoso, O., & Ruíz-Gómez, J. (2006). Comportamiento del aguacate Hass liofilizado durante la operación de rehidratación. *Revista mexicana de ingeniería química*, 5(Su1).
- Binaghi, M. J., & López, L. B. (2012). Detección de alérgenos de huevo en fideos secos por método de elisa. *Diaeta*, 30(139).

- Bouraoui, M., Richard, P., & Durance, T. (1994). Microwave and convective drying of potato slices. *Journal of Food Process Engineering*, 17(3), 353-363.
- Cáceres, M., & Heidy, L. (2003). Estudio preliminar del efecto de la microfiltración tangencial sobre la capacidad antioxidante en jugos de fruta clarificados.
- Canet, W., Álvarez, M. D., Fernández, C., & Luna, P. (2005). Comparisons of methods for measuring yield stresses in potato puree: effect of temperature and freezing. *Journal of Food Engineering*, 68(2), 143-153.
- Cárdenas, Y. (2013). Evaluación Agronómica y Fenología de dos clones de Mora sin espinas (*Rubus glaucus* Benth) para determinar su potencial comercial. *Tumbaco, Ecuador. Universidad Central del Ecuador, Quito-Ecuador.*
- Casson, N. (1959). A flow equation for pigment-oil suspensions of the printing ink type. *Rheology of disperse systems.*
- Cortez, D. (2013). El régimen de saber ancestral. *El diálogo de saberes ancestrales en los Estados plurinacionales*, 13-24.
- Cuaspud Portilla, Y. M. (2015). *Elaboración de bebidas naturales a partir de taxo (Passiflora tripartita var. mollissima) y piña (Ananas comosus) enriquecidas con lactosuero.* Quito: UCE.
- Einhorn, H. J. (1986). Accepting error to make less error. *Journal of personality assessment*, 50(3), 387-395.
- Falcó, S. N., Ramisa, R. C., & Bellfill, R. L. (2003). Síndrome ave-huevo en niños. *Allergologia et immunopathologia*, 31(3), 161-165.

- Fernández Fraguas, C. (2008). *Caracterización reológica y optimización de la textura de purés de patata frescos y congelados: efectos del proceso y adición de crioprotectores*. Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones.
- Fito Maupoey, P. J., Albors, A. M., Andrés, A., & Barat, J. M. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*: Editorial UPV.
- Gálvez, A. V., Aravena, E. L., & Mondaca, R. L. (2006). Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays* L.). *Food Science and Technology (Campinas)*, 26(4), 821-827.
- García- Pascual, P., Sanjuán, N., Bon, J., Carreres, J. E., & Mulet, A. (2005). Rehydration process of *Boletus edulis* mushroom: characteristics and modelling. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(8), 1397-1404.
- García, C., Hernández, F., & García, M. (2016). Comportamiento reológico de almidón de yuca fermentado. *Vitae*, 23, S599.
- Garza, S. G. (2001). *Caracterización reológica y microbiológica, y cinéticas de deterioro en cremogenado de melocotón*. Universitat de Lleida.
- Ghosh, A., & Mukherjee, S. (1988). Studies on the development of methods for production of quick cooking rice. *Journal of food science and technology*, 25(4), 182-185.
- Giraldo-Zuniga, A. D., Arévalo-Pinedo, A., Silva, A. F., Silva, P. F., Valdes-Serra, J. C., & Pavlak, M. C. d. M. (2010). Datos experimentales de la cinética del secado y del modelo matemático para pulpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) en rodajas. *Ciênc. Tecnol. Aliment*, 30(1), 179-182.
- González-Martínez, G., Ahrné, L. I., Gekas, V., & Sjöholm, I. (2004). Analysis of temperature distribution in potato tissue during blanching and its effect on the absolute residual pectin methylesterase activity. *Journal of Food Engineering*, 65(3), 433-441.

- Granito, M., Guinand, J., Pérez, D., & Suhey, P. (2009). Valor nutricional y propiedades funcionales de *Phaseolus vulgaris* procesada: un ingrediente potencial para alimentos. *Interciencia*, 34(1), 064-070.
- Grommers, H. E., & van der Krogt, D. A. (2009). Potato starch: production, modifications and uses *Starch (Third Edition)* (pp. 511-539): Elsevier.
- Guanoluisa, N. (2013). *Determinación de parámetros reológicos en bebidas de frutas con diferentes concentraciones de sólidos solubles mediante el uso del equipo universal TA–XT2i*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Bioquímica.
- Guerrero, S., & Alzamora, S. (1998). Effects of pH, temperature and glucose addition on flow behaviour of fruit purees: II. Peach, papaya and mango purees. *Journal of Food Engineering*, 37(1), 77-101.
- Hernández, A. G., Dagach, R. U., & Serra, J. D. (2006). *Bases para una alimentación complementaria adecuada de los lactantes y los niños de corta edad*. Paper presented at the Anales de Pediatría.
- Lin, T. M., Durance, T. D., & Scaman, C. H. (1998). Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Research International*, 31(2), 111-117.
- Linehan, D. J., & Hughes, J. C. (1969). Texture of cooked potato II. Relationships between intercellular adhesion and chemical composition of the tuber. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 20(2), 113-119.
- Maceiras, R., Alvarez, E., & Cancela, M. A. (2007). Rheological properties of fruit purees: Effect of cooking. *Journal of Food Engineering*, 80(3), 763-769.
- Marín, E., Lemus, R., Flores, V., & Vega, A. (2006). La rehidratación de alimentos deshidratados. *Revista chilena de nutrición*, 33(3), 527-538.

- Maskan, M. (2001). Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 177-182.
- McMinn, W., & Magee, T. (1997a). Physical characteristics of dehydrated potatoes—Part I. *Journal of Food Engineering*, 33(1-2), 37-48.
- McMinn, W., & Magee, T. (1997b). Physical characteristics of dehydrated potatoes—Part II. *Journal of Food Engineering*, 33(1-2), 49-55.
- Meda, L., & Ratti, C. (2005). Rehydration of freeze-dried strawberries at varying temperatures. *Journal of Food Process Engineering*, 28(3), 233-246.
- Melquíades, Y. I., López, C., & Rosas, M. E. (2009). Estudio de la cinética de rehidratación de zanahoria (*Daucus Carota*) deshidratadas. *Información tecnológica*, 20(3), 65-72.
- Mizrahi, S., & Berk, Z. (1972). Flow behaviour of concentrated orange juice: mathematical treatment. *Journal of Texture Studies*, 3(1), 69-79.
- Moelants, P., Hendickx, M., Moelants, K., Cardinaels, R., Jolie, P. R., Verrjssen, T. A., & Buggenhout, S. V. (2011). Relation between particle properties and rheological characteristics of carrot-derived suspensions. *Food Bioprocess Technol.*
- Montenegro Villavicencio, E. S., & Angulo Paredes, D. I. (2006). Estudio técnico-económico en la elaboración de papa precocida congelada, puré integral y tortillas de papa a partir de tres variedades de papas nativas ecuatorianas.
- Monteros, J., Cuesta Subía, H. X., & Jiménez, J. (2005). Papas nativas en el Ecuador: Estudios cualitativos sobre oferta y demanda.
- Morris, E. R. (1989). Polysaccharide solution properties: origin, rheological characterization and implications for food systems. *Frontiers in Carbohydrate Research 1, Food Applications*, 132-163.

- Mott, R. L., & Brito, J. E. (2006). *Mecánica de fluidos*: Pearson Educación.
- Muller, H. G. (1973). *Introducción a la reología de los alimentos*. Zaragoza, España: Editorial Acribia.
- Ofoli, R. Y., Morgan, R. G., & Steffe, J. F. (1987). A generalized rheological model for inelastic fluid foods 1. *Journal of Texture Studies*, 18(3), 213-230.
- Ormaza, Á., Ayala-Aponte, A., & Ortega, K. (2016). Cambios físicos durante el secado de banano bocadillo (*Musa acuminata* Colla) mediante la técnica de ventana de refractancia. *Vitae*, 23, S84.
- Qiu, C. G., & Rao, M. A. (1988). Role of pulp content and particle size in yield stress of apple sauce. *Journal of Food Science*, 53(4), 1165-1170.
- Ramírez-Navas, J. S. (2006). *Introducción a la reología de los alimentos*: Revista ReCiTeIA.
- Rao, V., Hamann, D., & Humphries, E. (1975). Flow behavior of sweet potato puree and its relation to mouthfeel quality. *Journal of Texture Studies*, 6(2), 197-209.
- Rendón, A. C. (2013). *Evaluación del efecto de la temperatura en la viscosidad de la papilla de zanahoria industrial*. (Ingeniería en Alimentos), Universidad Veracruzana, Xalapa-México.
- Robalino, D., Acurio, L., & Proaño, J. (2014). Caracterización reológica de papillas infantiles, formuladas a base de harina de papas (*Solanum tuberosum* L.) de variedades nativas ecuatorianas, edulcoradas con pulpa de mora (*Rubus glaucus* Benth) y taxo (*Passiflora tarminiana* Copp.). *Investigación y Desarrollo*, 6(1), 36-43.
- Senplades. (2013). Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017. *Buen Vivir Plan Nacional 2013-2017 Todo el Mundo Mejor*.

- Sheridan, C., Petersen, J., & Rohwer, J. (2012). Technical note On modifying the Arrhenius equation to compensate for temperature changes for reactions within biological systems. *Water S. A.*, 38(1), 149-152.
- Silva, V., & Hernán, J. (2017). *Factores que inciden para la pérdida de los saberes ancestrales de la producción de papá (Solanum tuberosum) en la comunidad San Miguel de Quera del cantón Riobamba.*
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (1997). *Introducción a la ingeniería de los alimentos.*
- Steffe, J. F. (1986). Rheological properties of fluids foods: data compilation. *Physical and chemical properties of food*, 1-13.
- Toledo, R. (2007). *Fundamentals of food process engineering*: Springer Science & Business Media.
- Truong, V.-D., & Avula, R. Y. (2010). Sweet potato purees and dehydrated powders for functional food ingredients. *Sweet potato: post harvest aspects in food, feed and industry. Nova Science Publishers, Inc*, 117-162.
- Van Marle, N. (1997). *Characterization of changes in potato tissue during cooking in relation to texture development*: Van Marle.
- Van Wazer, J. R., Colwell, R. E., Kim, K. Y., & Lyons, J. W. (1963). Viscosity and flow measurements. *A laboratory handbook of rheology*: Wiley (New York 1963).
- Villacrés, E. (2016). Caracterización física, nutricional y funcional de papas nativas (*Solanum tuberosum* ssp.) para orientar sus usos en Ecuador. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 15(1), 52-55.

ANEXOS

A. TABLAS ANOVA

Tabla A1. Análisis de varianza para índice de consistencia, modelo Herschel Bulkley

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Estado	6,19	1	6,19	11,63	0,0016
B:Temperatura	40,84	2	20,42	38,39	0,0
C:Tipo de papilla	20,22	3	6,74	12,67	0,0
Interacciones					
AB	0,33	2	0,16	0,31	0,74
AC	9,74	3	3,25	6,10	0,0018
BC	1,17	6	0,20	0,37	0,89
ABC	3,12	6	0,52	0,98	0,45
Residuos	19,68	37	0,53		
Total (corregido)	108,76	60			

Tabla A2. Análisis de varianza para índice de consistencia, modelo Mizrahi-Berk

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Temperatura	0,26	2	0,13	11,30	0,0001
B:Tipo de papilla	0,21	3	0,07	6,14	0,002
C:Estado	0,04	1	0,04	3,75	0,06
Interacciones					
AB	0,08	6	0,01	1,13	0,37
AC	0,01	2	0,002	0,21	0,81
BC	0,19	3	0,06	5,52	0,003
ABC	0,09	6	0,01	1,28	0,29
Residuos	0,43	38	0,01		
Total (corregido)	1,31	61			

Tabla A3. Análisis de varianza para índice de comportamiento, modelo Herschel-Bulkley

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Tipo de papilla	0,05	1	0,05	5,92	0,02
B:Temperatura	0,14	2	0,07	8,85	0,0005
C:Estado	0,04	3	0,01	1,62	0,20
Interacciones					
AB	0,003	2	0,001	0,17	0,84
AC	0,05	3	0,02	2,26	0,09
BC	0,02	6	0,003	0,45	0,84
ABC	0,05	6	0,01	1,17	0,34
Residuos	0,36	47	0,01		
Total (corregido)	0,71	70			

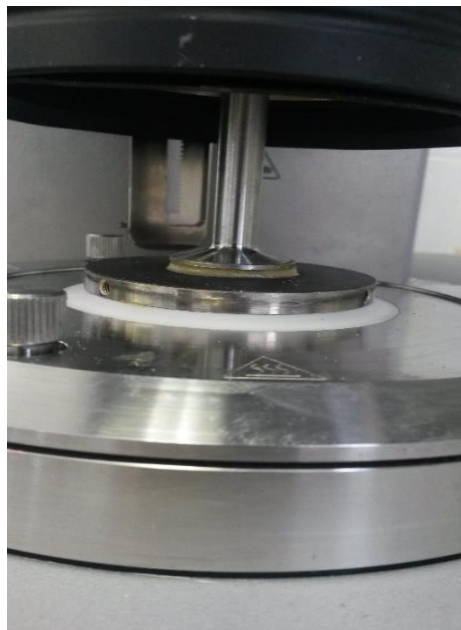
Tabla A4. Análisis de varianza para índice de comportamiento, modelo Mizrahi-Berk

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos principales					
A:Temperatura	0,12	2	0,06	12,47	0,00
B:Tipo de papilla	0,03	3	0,01	1,99	0,13
C:Estado	0,01	1	0,01	2,99	0,09
Interacciones					
AB	0,02	6	0,003	0,61	0,73
AC	0,001	2	0,001	0,12	0,89
BC	0,02	3	0,01	1,71	0,18
ABC	0,03	6	0,004	0,90	0,50
Residuos	0,22	47	0,005		
Total (corregido)	0,45	70			

B. FOTOGRAFÍAS DE LA INVESTIGACIÓN



Fotografía B1. Muestras en el secador de bandejas



Fotografía B2. Muestras en el reómetro Anton Paar



Fotografía B3. Reómetro Anton Paar modelo MCR 302

C. DIAGRAMAS DE BLOQUES

Diagrama 1. Proceso de elaboración de la papilla

