



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

Tema: Estudio de las condiciones óptimas de almacenamiento de papillas elaboradas con harina de papas nativas ecuatorianas (*Solanum andigena*) deshidratadas mediante secado convectivo por aire caliente.

Trabajo de Titulación, modalidad proyecto de investigación, previo la obtención del Título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato, a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

El presente Trabajo de Titulación es parte del Proyecto de investigación “Papilla para niños de 6 a 36 meses a base de harina de papa nativa (*Solanum tuberosum ssp.*), 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: Susana Margarita Moreira Chachipanta

Tutora: Ing. Mg. Dolores del Rocío Robalino Martínez

Ambato - Ecuador

Mayo - 2018

APROBACIÓN DE LA TUTORA

Ing. Mg. Dolores Robalino Martínez

CERTIFICA:

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

Ambato, 15 enero del 2018.



Ing. Mg. Dolores del Rocío Robalino Martínez

C.I. 1801769488

TUTORA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Susana Margarita Moreira Chachipanta, 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.



Susana Margarita Moreira Chachipanta

C.I. 1804276903

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 de Grado



Ing. Liliana Patricia Acurio Arcos M. Sc.

C. I. 1804067088



Ph. D. Milton Rubén Ramos Moya

C. I. 1801119635

Ambato, 22 de Marzo del 2018

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto de Investigación 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 autor.



Susana Margarita Moreira Chachipanta

C.I. 1804276903

AUTORA

DEDICATORIA

A mis padres Límber y Marlene porque son el espejo de mi vida.

A mi hermana Viviana y mis sobrinos porque su cariño y candidez son mi apoyo.

A mi amado esposo Danilo porque encuentro el amor a diario solo en tu mirada.

A mi motor, mi razón de ser y mi más grande regalo, mi pequeño hijo Jared porque deseo que sepas que cuando alcanzas una meta no es el fin de un sueño, al contrario, es el inicio de un camino lleno de nuevas oportunidades, recuerda que todo sacrificio merece una recompensa cuando es realizado con amor, que tus miedos son el límite y mayor obstáculo y que jamás olvides de dónde vienes para que tengas claro a dónde vas, te amo infinitamente.

Susana Moreira

AGRADECIMIENTOS

Porque dar es más importante que recibir y la gratitud más que una palabra es un regalo valioso que se ofrenda a quienes formaron parte de un gran sueño.

Más allá de los méritos profesionales está ante todo nuestra fe y espiritualidad; por tanto, deseo extender mis palabras de agradecimiento a lo más alto, a mi padre Dios por permitirme abrir mis ojos a diario y darme una oportunidad para mejorar como ser humano.

A mis padres y mi hermana por su apoyo incondicional, sacrificio, dedicación admirable y amor en el transcurso de mi vida, ofreciéndome todo sin esperar nada a cambio.

A mí amado esposo por su paciencia y comprensión, en especial por ser mi soporte, compañero y mejor amigo, quien a pesar de los obstáculos se ha mantenido a mi lado.

Mi sincero y más ferviente agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos por brindarme una formación académica, profesional y personal de calidad.

Los verdaderos ángeles se encuentran en la tierra y eso han sido ustedes Ing. Lenin Garcés e Ing. Alex Valencia verdaderos guardianes sin alas que me encaminaron de forma celestial, siendo incondicionales y leales en todo momento, por tanto, deseo retribuir todo su cariño con estas sencillas palabras de agradecimiento haciéndoles saber que jamás olvidaré sus enseñanzas.

A mi querida Ing. Dolores Robalino una mujer y profesional intachable, llena de conocimiento por impartir, de su pasión por educar, le extiendo mi eterna gratitud, porque su amable sonrisa, su gesto amigo y su paciencia se han convertido en un gran apoyo en este proceso.

Las palabras se vuelven nada cuando tratamos de elogiar a un prodigio, no solo por su inteligencia, más bien, por todo ese conjunto armonioso que la convierte en una mujer de admiración, mi querida Ing. Lily Acurio mi gratitud con usted es infinita, por ser una luz en este camino.

Los amigos son pocos y los verdaderos duran toda la vida, afortunadamente cuento contigo amiga querida Ing. Alejandra Jácome, eres increíble y no me has abandonado, gracias es poco, porque todo esto te lo debo a ti.

Finalmente, a todos quienes contribuyeron con un granito de arena para la realización de esta gran meta.

ÍNDICE GENERAL

HOJAS PRELIMINARES

Portada.....	
Aprobación de la tutora	II
Declaración de autenticidad.....	III
Aprobación de los miembros del tribunal de grado.....	IV
Derechos de autor	V
Dedicatoria.....	VI
Agradecimientos	VII
Resumen	XV
Abstract.....	XVI
Introducción.....	XVII

CAPÍTULO I 1

EL PROBLEMA..... 1

1.1. Tema	1
1.2. Justificación	1
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3

CAPÍTULO II..... 4

MARCO TEÓRICO..... 4

2.1. Antecedentes	4
2.2. Hipótesis	6
2.2.1. Hipótesis nula	6
2.2.2. Hipótesis alternativa	7
2.3. Señalamiento de las variables de la hipótesis	7
2.3.1. Variable independiente	7
2.3.2. Variable dependiente.....	7

CAPÍTULO III 8

MATERIALES Y MÉTODOS 8

3.1. Diseño experimental	8
--------------------------------	---

3.1.1.	Determinación de factores y niveles de estudio	8
3.1.2	Tratamientos para el estudio.....	8
3.2.	Formulación de la papilla.....	9
3.3.	Preparación de papilla.....	9
3.3.1.	Selección.....	9
3.3.2.	Cocción.....	10
3.3.3.	Deshidratación	10
3.3.4.	Molienda.....	10
3.4.	Tamaño de muestra	10
3.5.	Granulometría.....	11
3.6.	Contenido de humedad	11
3.7.	Actividad de agua (a_w)	11
3.8.	Isotermas de sorción	11
3.9.	Humedad en equilibrio	12
3.10.	Modelado de isotermas	12
3.11.	Determinación del tiempo de vida útil teórico	13
3.12.	Análisis estadístico	14
CAPÍTULO IV.....		15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		15
4.1.	Tamaño de la muestra	15
4.2.	Granulometría	15
4.3.	Contenido de humedad y actividad de agua	16
4.4.	Humedad en equilibrio.....	17
4.5.	Isotermas de sorción	17
4.6.	Modelado de las isotermas de adsorción	20
4.7.	Parámetros de BET y GAB.....	22
4.8.	Humedad óptima de almacenamiento y contenido crítico de agua	23
4.9.	Tiempo de vida útil	24
4.10.	Verificación de las hipótesis.....	25
CAPÍTULO V		26
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		26
5.1.	Conclusiones.....	26

5.2. Recomendaciones 27

MATERIAL DE REFERENCIA

Referencias bibliográficas 28

Anexos.....

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Isotherma de adsorción experimental para la muestra SR-M	18
Figura 2. Isotherma de adsorción experimental para la muestra SR-T	18
Figura 3. Isotherma de adsorción experimental para la muestra YH-M	18
Figura 4. Isotherma de adsorción experimental para la muestra YH-T	19
Figura 5. Comparación de isothermas de sorción obtenidas experimentalmente del análisis de las cuatro muestras de papilla.	20
Figura 6. Modelado de isothermas de adsorción para la muestra SR-M, con las ecuaciones: BET; GAB y Experimental.....	21
Figura 7. Modelado de isothermas de adsorción para la muestra SR-T, con las ecuaciones: BET; GAB y Experimental.....	21
Figura 8. Modelado de isothermas de adsorción para la muestra YH-M, con las ecuaciones: BET; GAB y Experimental.....	21
Figura 9. Modelado de isothermas de adsorción para la muestra YH-T, con las ecuaciones: BET; GAB y Experimental.....	22
Figura 10. Determinación del contenido de humedad límite en función del parámetro a_w segura.	24
Figura 11. Secador convectivo marca Gander MN	35
Figura 12. Papilla deshidratada.	35
Figura 13. Molino automático y papilla molida.....	36
Figura 14. Papilla deshidratada en polvo en la cámara con a_w determinada.	36
Figura 15. Cámara herméticamente cerrada.....	37
Figura 16. Equipo para análisis granulométrico.....	37
Figura 17. Análisis granulométrico de la papilla elaborada con la variedad Santa rosa y con pulpa de taxo.	38
Figura 18. Análisis granulométrico de la papilla elaborada con la variedad Santa rosa y con pulpa de mora.	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requerimiento total diario de nutrientes (RDA) para la producción de 100 calorías	4
Tabla 2. Composición química de las dos clases de papa nativa empleadas en la investigación...	5
Tabla 3. Factores y niveles de estudio.....	8
Tabla 4. Tratamientos de estudio	8
Tabla 5. Formulación de papillas de continuación para lactantes de más edad (entre 6 y 12 meses).....	9
Tabla 6. Dosificación de vitaminas para 100 g de papilla deshidratada	9
Tabla 7. Soluciones salinas saturadas como factor higroscópico a 20°C	12
Tabla 8. Porcentaje de muestra retenida.....	15
Tabla 9. Fracción en peso de muestra retenida	16
Tabla 10. Porcentaje de humedad (%H) y actividad de agua (a_w) de las papillas	16
Tabla 11. Fracción en peso de la humedad en equilibrio de las papillas analizadas	17
Tabla 12. Constante de calor C; K y estadísticos obtenidos para los modelos BET y GAB propuestos para las isotermas de adsorción de papillas estudiadas.....	23
Tabla 13. Parámetros de isotermas de sorción experimentales para la estimación de la vida útil mediante la ecuación de Heiss & Eichner (1971) citado por Ikhu-Omoregbe & Chen, (2005)...	24
Tabla 14. Estimación del tiempo de vida útil para los cuatro tratamiento de papilla de bebe analizadas, a diferente contenido de humedad inicial.	25

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación

(1) Tamaño de la muestra.....	10
(2) Contenido de humedad	11
(3) Humedad en equilibrio	12
(4) Brunauer, Emmet y Teller (BET)	12
(5) Van den Berg & Bruin (GAB).....	13
(6) Error relativo	13
(7) Determinación de tiempo de vida útil teórico.....	13

RESUMEN

Los productos deshidratados, como las papillas para bebés, son considerados alimentos con mayor susceptibilidad a reducir su tiempo de vida útil, por efecto de las condiciones medio ambientales. El objetivo del presente trabajo fue generar isotermas de sorción y explicar su comportamiento a través de modelos matemáticos, mediante la correlación de la actividad de agua (a_w) y la humedad en equilibrio (w_e) a temperatura constante $20\text{ }^\circ\text{C}\pm 1$, para cuatro formulaciones de papillas, hechas a base de dos clases de papa (*Solanum andigena*) nativas del cantón Ambato: Santa rosa (SR) y Yema de huevo (HY); saborizadas con pulpa de: mora (*Rubus glaucus*) (M) y taxo (T) (*Passiflora tripartita*). Se empleó el modelo gravimétrico isopiéstico que consistió en alcanzar el equilibrio de una muestra de masa conocida, mediante la humedad de una atmósfera preestablecida, dada por soluciones salinas saturadas con a_w conocida (0,11-0,81). Se aplicaron dos modelos: BET (Brunauer, Emmett y Teller); GAB (Guggeheim, Anderson y de Boer), mismos que fueron evaluados en función del coeficiente de correlación (R^2). Se obtuvieron isotermas de tipo II o "S" (forma sigmoidea), propio de alimentos ricos en carbohidratos. El modelo de GAB tuvo un R mayor a 0,99 y un porcentaje de error (%E) inferior a 3. La magnitud de los parámetros C (constante de sorción en monocapa) y K (constante de sorción en multicapa) que caracterizan a la interacción vapor-sólido, estuvieron comprendidos entre: 54,0878 a 81,7126; y 0,5234 a 0,8581, respectivamente. Finalmente, la a_w varía en función de los solutos presentes, mientras esta sea mayor, será menor la a_w ; por ende, la formulación SR-M es la formulación con mayor estabilidad y tiempo de anaquel.

Palabras clave: papillas deshidratadas, isotermas, modelo BET, modelo GAB, conservación de alimentos, secado convectivo, modelos matemáticos.

ABSTRACT

Dehydrated products, such as baby porridges, are considered foods with greater susceptibility to reduce their shelf life, due to environmental conditions. The objective of the present work was to generate sorption isotherms and explain their behavior through mathematical models, by correlating the activity of water (a_w) and moisture in equilibrium (w_e) at a constant temperature of $20\text{ }^\circ\text{C} \pm 1$, for four formulations of porridges, made from two kinds of potatoes (*Solanum andigena*) native to the Ambato canton: Santa Rosa (SR) and Yema de huevo (YH); flavored with pulp of: blackberry (*Rubus glaucus*) (M) and taxo (T) (*Passiflora tripartita*). The isopiestic gravimetric model was used, which consisted of reaching the equilibrium of a sample of known mass, by means of the humidity of a pre-established atmosphere, given by saline solutions saturated with known a_w (0,11-0,81). Two models were applied: BET (Brunauer, Emmett and Teller); GAB (Guggeheim, Anderson and de Boer), which were evaluated based on the correlation coefficient (R^2). Type II or "S" isotherms (sigmoid form), typical of carbohydrate-rich foods, were obtained. The GAB model had an R greater than 0.99 and an error percentage (% E) less than 3. The magnitude of the parameters C (monolayer sorption constant) and K (multilayer sorption constant) that characterize the vapor-solid interaction were comprised between: 54,0878 to 81,7126; and 0,5234 to 0,8581, respectively. Finally, the a_w varies according to the present solutes, while this is greater, the a_w will be less; therefore, the SR-M formulation is the formulation with the highest stability and shelf-life.

Key words: Dehydrated porridge, isotherms, BET model, GAB model, food preservation, convective drying, mathematical models.

INTRODUCCIÓN

Las prácticas y los hábitos alimenticios presentan modificaciones a través del tiempo en función de las condiciones: ecológicas, socioeconómicas y culturales de cada comunidad (**FAO, 2005**). Esto ha hecho que el mercado de alimentos procesados evolucione y tecnifique sus métodos productivos, mostrando una clara tendencia por la inocuidad y la nutrición de los consumidores. Uno de los sectores más desarrollados es el infantil, debido a que se persigue erradicar la desnutrición y los trastornos clínicos producidos por dicho estado patológico (**OMS, 2015**).

La Constitución Nacional del Ecuador, en el artículo 32, establece la prioridad de garantizar sin discriminación la alimentación y la salud de toda la población, lo que permitirá gozar de un nivel de desarrollo emocional, físico e intelectual, acorde a la edad y condiciones físicas de cada individuo (**Asamblea Constituyente de la República del Ecuador, 2008**).

La **Organización Mundial de la Salud (2017)**, recomienda la lactancia materna hasta los 6 meses de vida de los infantes, con una introducción en su dieta diaria de suplementos y alimentos ricos en nutrientes que aporten en su desarrollo de actividades neuronales, fisiológicas y metabólicas.

Las papillas son los alimentos recomendados por los médicos para el consumo de los lactantes en edades comprendidas entre los 6-36 meses de edad, ya que estos son de fácil palatabilidad, deglución y aprovechamiento de nutrientes (**Nestlé, 2017**). Según la norma **INEN (2516:2010)**, las papillas son productos que se preparan con hortalizas o raíces de tubérculos cocidos, hasta conseguir una pasta, las mismas que son sometidas a tratamientos térmicos antes y después de ser selladas.

Según **Maupoey et al. (2001)**, los procesos de deshidratación por aire caliente son una de las técnicas más antiguas para la conservación de los alimentos, actualmente se lo realiza en ciclos de desecación cortos, lo cual lleva a disminuir la humedad relativa o actividad de agua y aumentar el tiempo de vida útil mediante la reducción de mecanismos de deterioro.

La actividad de agua (a_w) es una propiedad intrínseca de un sistema y está relacionada con la humedad (cantidad de agua en un alimento), y se encuentran representados mediante curvas o isotermas de sorción. Las isotermas de sorción involucran la información relacionada con la cantidad de agua ligada, mediante la determinación de la humedad de la capa monomolecular (monocapa), con la fuerza con la que está ligada dicha agua, a través del análisis de las entalpías de absorción-desorción (**Miranda et al., 2014**).

El modelo de isotermas monocapa cuenta con dos sistemas; el primero fue desarrollado a partir de la isoterma de Langmuir y propuesto por **Brunauer et al. (1938)**. En el modelo BET, la humedad en la monocapa es considerada como el punto de referencia para establecer la estabilidad de alimentos secos y es aplicable exclusivamente para a_w comprendida entre 0 - 0,55 (**Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005**).

Por otro lado, el valor monocapa y multicapa GAB, desarrollado por **Guggenheim, Anderson y De Boer (1981)**, representa adecuadamente los datos experimentales existentes en un intervalo de a_w comprendido entre 0 - 0,95, y demuestra el grado de libertad existente en la constante de calor (K_G) (**Labuza et al., 2001**).

En tal sentido, el estudio y la aplicación de las isotermas de sorción permitieron determinar los factores que favorecen la estabilidad de las papillas deshidratadas para lactantes de más edad; en función de la actividad de agua del alimento y la humedad en equilibrio se establecieron las condiciones idóneas para la conservación del producto.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Tema

“Estudio de las condiciones óptimas de almacenamiento de papillas elaboradas con harina de papas nativas ecuatorianas (*Solanum andigena*) deshidratadas mediante secado convectivo por aire caliente”.

1.2. Justificación

La variedad creciente de alimentos procesados ha evolucionado de forma significativa la dieta de la población en las últimas tres décadas. La transformación de alimentos, ya sea por su composición como por su practicidad, ha influido directamente en el consumidor, volcando sus preferencias a la adquisición de alimentos procesados pero que a su vez cumplan con las exigencias nutricionales. Por otro lado, factores socioeconómicos, que se han ido insertando a raíz del capitalismo y la globalización, permitieron la incorporación de productos poco conocidos en las rutinas alimentarias (**Cabral, 2016**).

Las papillas de continuación infantil son uno de los alimentos procesados más estudiados en la última década (**Álvarez et al., 2012**). La importancia radica en el creciente interés de los gobiernos por reducir el índice de morbimortalidad en lactantes a causa de la desnutrición. En este sentido, el consumo de alimentos fortificados (vitaminas y minerales), disminuirían considerablemente las enfermedades causadas por el déficit de nutrientes en la alimentación de infantes.

La alimentación de un lactante durante sus primeros 6 meses está cubierta con la ingesta de leche materna, o por el contrario con leche artificial, de manera que logren cubrirse los requerimientos nutricionales. Una vez que el lactante haya cumplido sus 6 meses de vida, la leche materna deja de satisfacer las demandas alimenticias, convirtiéndose en una amenaza para la salud del infante. Por tanto, una alimentación complementaria aporta los nutrientes que la leche materna no compensa (**Hernández et al., 2006**).

Los preparados de continuación para la alimentación de lactantes de más edad (entre 6 y 12 meses) y niños pequeños (entre 12 y 36 meses), comprende toda clase de alimentos adecuados que aseguren una correcta nutrición. Las formulaciones para esta clase de alimentos, son específicas e idóneas brindando nutrientes suplementarios de calidad, para evitar prácticas de alimentación inapropiadas y promulgando una buena salud **(CAC/GL8-1991, Rev. 2013)**.

La variabilidad con la que pueden presentarse los alimentos complementarios, no influyen en el aporte nutricional unos de otros; es así que, suelen encontrarse en presentaciones sólidas o semisólidas (papillas, purés, patés), líquidas y pulverulentas. Más allá de la presentación estos productos deben garantizar una ingesta equilibrada de nutrientes, cumpliendo con las demandas del lactante durante el segundo semestre de vida y previniendo el excesivo aporte energético en la dieta del niño **(Castillo et al., 2013)**.

Por otra parte, existen varios factores que afectan la calidad e inocuidad de los preparados infantiles, tales como el oxígeno, la humedad relativa y la temperatura, reduciendo las condiciones de almacenamiento óptimas para la conservación de estos productos. Es por ello que el secado de alimentos es un desafío tecnológico, ya que, su máxima estabilidad depende de la reducción en los porcentajes de humedad. La discriminación de los niveles de humedad, temperatura y oxígeno son inversamente proporcionales a la concentración de nutrimentos **(Arteaga et al., 2003)**.

Mediante la reducción de la humedad e higroscopicidad, las isotermas de sorción permiten determinar variantes relacionadas con la estabilidad de los alimentos. Las isotermas vinculan de forma gráfica la temperatura, la humedad en equilibrio del producto y del aire circundante al mismo **(Vega et al., 2006)**. Bajo este contexto, es indispensable el estudio de isotermas de sorción en relación a la estabilidad, calidad, facilidad de preparación y vida útil en alimentos deshidratados.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar las condiciones óptimas de almacenamiento de papillas elaboradas con harina de papas nativas ecuatorianas (*Solanum andigena*) deshidratadas mediante secado convectivo por aire caliente.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la granulometría de las papillas deshidratadas.
- Determinar las isotermas de sorción de humedad de las papillas deshidratadas utilizando soluciones salinas saturadas como agentes de higroscopicidad.
- Modelar las isotermas de adsorción de humedad utilizando las ecuaciones de GAB (Guggenheim - Anderson - de Boer) y BET (Brunauer - Emmet - Teller).
- Proponer las condiciones de almacenamiento óptimas para prolongar el tiempo de vida de anaquel de las papillas deshidratadas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

1.4. Antecedentes

Las papillas destinadas a la alimentación de infantes, después de los seis meses y aptas para su consumo hasta los 36 meses de edad, son productos ricos en macro y micro nutrientes, y son expandidas en los mercados en forma de puré o en polvo (**Rosado et al., 1998**). Por otra parte, **Poveda y Granados (2016)**, aseguran que la introducción adecuada de nuevos patrones alimenticios en la dieta diaria de un lactante o post lactante, asegura su desarrollo adecuado en aspectos fisiológicos y psicológicos.

A las papillas deshidratadas se les otorga el nombre comercial de suplemento alimenticio, el mismo que por absorción de agua para su preparación, adquiere una textura viscosa de aspecto pastoso (**Serrano et al., 2005**). El proceso de formulación de los suplementos debe estar sujeto a satisfacer los requerimientos energéticos y nutricionales en cada etapa del individuo (Tabla 1).

Tabla 1. Requerimiento total diario de nutrientes (RDA) para la producción de 100 calorías

Nutrientes	RDA			Concentración/100 cal de alimento		
	6 meses	9-11meses	12-23 meses	6 meses	9-11meses	12-23 meses
Vitaminas						
<i>A (mg RE/d)</i>	500	500	300	5	9	17
<i>D (mg/d)</i>	5-200	5-200	5-200	2,5	15	0,9
<i>Folatos (mg/d)</i>	80	80	150	0	0	0
<i>C (mg/d)</i>	50	50	15	0	0	1,1
<i>Niacina (mg/d)</i>	4	4	6	1,1	0,9	0,9
Minerales						
<i>Potasio (mg/d)</i>	700	700	800	129	84	69
<i>Sodio (mg/d)</i>	320	350	500	74	53	54
<i>Fósforo (mg/d)</i>	275	275	460	114	70	26
<i>Calcio (mg/d)</i>	270	270	500	125	78	26

Fuente: Sociedad Argentina de Pediatría (2001)

En la zona Sierra Centro (Ambato) existen 350 cultivos entre la especie de papa Santa rosa y Yema de huevo, apenas el 32% es empleado en procesos industriales (INIAP, 2015). Para la elaboración del alimento en estudio se emplearon dos variedades de papa nativa: Santa rosa y Yema de huevo, que fueron el componente mayoritario del producto debido al aporte energético y nutricional. Además, influyó en las características organolépticas (sabor y textura), debido a la cantidad y calidad de almidón, elevado contenido de carotenoides, flavonoides y antocianinas. Además, es un alimento rico en potasio, hierro y zinc (Tabla 2).

Tabla 2. Composición química de las dos clases de papa nativa empleadas en la investigación

Cultivares	g. 100 ⁻¹ g b.s.				mg. 100 ⁻¹ g b.s.			mg. 100 ⁻¹ g b.h.
	Fibra	Grasa	Proteína	Almidón	Potasio	Hierro	Zinc	Vitamina C
<i>Yema de huevo</i>	3,1	0,3	6,4	86,2	1765	4,6	1,3	15,3
<i>Santa rosa</i>	4,2	0,5	10,6	80,2	1930	10,7	1,3	14,8

Fuente: INIAP, 2015

Por otro lado, se empleó pulpa de fruta: mora (*Rubus glaucus*) y taxo (*Passiflora tripartita*), con la finalidad de proporcionarle un sabor característico y tinción natural del producto final. Una de las principales ventajas agroindustriales en cuanto al uso de fruta, radica en las propiedades organolépticas (sabor y color) que aportan al producto final, presentando mayor aceptabilidad por parte de los infantes.

Además, López et al. (2011), establecen que el proceso de secado o deshidratado, es la operación unitaria fundamental para mantener la estabilidad microbiológica de las papillas. Medina et al. (2006), afirman que el control de cada una de las etapas de este proceso de deshidratación permite la conservación máxima de los nutrientes, aumenta la digestibilidad del producto hasta en un 5% y alargar el tiempo de vida útil.

Por otra parte, las isotermas de sorción son las representaciones gráficas de la relación existente entre la cantidad de humedad adsorbida y la concentración en equilibrio, constituyéndose en un proceso de catálisis heterogénea (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005). Estas curvas isotermas de sorción son de utilidad para explicar el fenómeno de hidratación de los alimentos sólidos con rangos bajos de humedad (Bello, 2000).

Los solutos que integran la composición química de un alimento tienen relación directa con el comportamiento del agua (propia del alimento y del entorno), cuando las moléculas de agua quedan entrelazadas con otros componentes del alimento, pierden su libertad de acción, y esto provoca la reducción de la presión del vapor intermolecular (Andrade et al., 2011).

Según Martín (1990), existen cinco tipos de isothermas de sorción:

- **Tipo I o Langmuir “L”:** Proceso de quimi-sorción, donde el adsorbato cubre al adsorbente, el cual tiene una superficie uniforme y emplea el modelo de isoterma de Langmuir.
- **Tipo II o sigmoidea “S”:** Proceso de adsorción física, propio de sólidos no porosos o macro porosos, representa el proceso mono-multicapa, perfectamente definido con el modelo BET y GAB.
- **Tipo III:** Proceso de adsorción molecular, donde las fuerzas que actúan sobre el adsorbato y adsorbente son débiles, produce un recubrimiento desigual entre mono y multicapas, pudiéndose ajustar a la ecuación BET y GAB.
- **Tipo IV:** Proceso de formación de multicapas, con presencia de ciclos de histéresis.
- **Tipo V:** El proceso parte de una multicapa rugosa, hasta formar una estructura de mayor espesor.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis nula

H₀: La variedad de papa (Santa rosa y Yema de huevo) y la pulpa de fruta (Mora y Taxo), empleadas en el proceso de elaboración de las papillas infantiles, no influyen en las condiciones óptimas de almacenamiento del producto.

1.5.2. Hipótesis alternativa

H_A: La variedad de papa (Santa rosa y Yema de huevo) y la pulpa de fruta (Mora y Taxo), empleadas en el proceso de elaboración de las papillas infantiles, influyen en las condiciones óptimas de almacenamiento del producto.

1.6. Señalamiento de las variables de la hipótesis

1.6.1. Variables independientes

Variedad de papa	{ Santa Rosa Yema de huevo
Pulpa de fruta	{ Mora (<i>Rubus glaucus</i>) Taxo (<i>Passiflora tripartita</i>)

1.6.2. Variables dependientes

Parámetros determinados:

- Granulometría
- Humedad en equilibrio
- Contenido de humedad
- Parámetros BET y GAB

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

1.7. Diseño experimental

1.7.1. Determinación de factores y niveles de estudio

Se empleó un diseño experimental $a \times b$ con dos factores: variedad de papa nativa y pulpa natural de fruta (Tabla 3).

Tabla 3. Factores y niveles de estudio

Factores		Niveles	
<i>a. Variedad de papa nativa</i>	a₀	Santa rosa	
	a₁	Yema de huevo	
<i>b. Pulpa de fruta</i>	b₀	Mora	
	b₁	Taxo	

3.1.2 Tratamientos para el estudio

En la Tabla 4 se describen los tratamientos y las respuestas experimentales evaluadas.

Tabla 4. Tratamientos de estudio

Factores		Resultados experimentales		
A	B	<i>Réplicas</i>		
<i>Variedad de papa nativa</i>	<i>Pulpa de fruta</i>	<i>R₁</i>	<i>R₂</i>	<i>R₃</i>
a ₀	b ₀	Granulometría		
a ₀	b ₁	Humedad en equilibrio		
a ₁	b ₀	Parámetros GAB y BET		
a ₁	b ₁	Condiciones de almacenamiento		

1.8. Formulación de la papilla

La formulación y dosificación de vitaminas para la elaboración de las papillas se muestran en las Tablas 5 y 6 respectivamente, mismas que fueron planificadas en base a los requerimientos establecidos en **Codex Alimentarius (2006)**.

Tabla 5. Formulación de papillas de continuación para lactantes de más edad (entre 6 y 12 meses)

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

Fuente: Proyecto aprobado resolución: 1149-CU-P-2012

Tabla 6. Dosificación de vitaminas para 100 g de papilla deshidratada

Compuesto	Cantidad (g)
<i>Fosfato tricálcico</i>	0,54
<i>Granovit VitaPlus</i>	0,23
<i>Piro fosfato férrico</i>	0,28

Fuente: Proyecto aprobado resolución: 1149-CU-P-2012

1.9.Preparación de papilla

1.9.1. Selección

La materia prima pasó por un estricto control de calidad para asegurar su inocuidad antes del procesamiento; es decir, fueron elegidos, lavados y manipulados con la higiene pertinente, debido a la posible contaminación por aflatoxinas en harinas (arroz y maíz), bacterias, hongos y levaduras en frutas, hortalizas y manipuladores (**CX/NFSDU14/36/2**).

1.9.2. Cocción

Los ingredientes se cocieron por separado y en una cantidad considerable de agua, teniendo en cuenta que, entre menos tiempo de cocción, más cantidad de nutrientes se conservan en el alimento. Luego se colaron y licuaron, teniendo como base la pulpa de la fruta donde finalmente se obtuvo una mezcla viscosa y homogénea (Vázquez, 2012).

1.9.3. Deshidratación

La mezcla se colocó en bandejas circulares de poliestireno (30 cm) y fue sometida a secado convectivo por aire caliente en un deshidratador modelo GANDER a temperatura constante de 75 °F durante un período de 21 horas. El equipo posee un ventilador por el que circula aire caliente entre las diferentes bandejas, distribuyéndose por la superficie de las muestras y eliminando el agua de las muestras sin alterar sus propiedades sensoriales y nutricionales (Maupoey et al., 2001).

1.9.4. Molienda

La papilla deshidratada se trituró con un molino automático modelo M20 Ika Werke, con la finalidad de reducir el tamaño de partícula.

1.10. Tamaño de muestra

El producto deshidratado se empacó en paquetes herméticos con 500 g de muestra y se tomaron tres paquetes al azar con lote y fecha de fabricación similar para realizar los análisis. De cada paquete se eligió una muestra de tamaño “n” representativa, calculada mediante la Ecuación 1.

$$n = \frac{[Z^2 \times p \times q \times N]}{[N \cdot e^2 + Z^2 \times p \times q]} \quad (1)$$

Dónde: **n** tamaño de muestra (g), **N** tamaño de la población (g), **Z** valor estadístico (1,960), factores probabilísticos **p** (0,95) y **q** (0,05), a un nivel de confianza del 90 % y un margen de error (e) de 0,05 (Prieto et al., 2006).

1.11. Granulometría

Se tamizó la papilla previamente molida utilizando diferentes tamices (mesh: 20, 40, 60 y 80). Se colocó la muestra sobre los tamices apilados de mayor a menor diámetro de perforación de malla y se agitó horizontal y verticalmente de forma vigorosa. Posteriormente se registró el peso de la muestra retenida en cada tamiz.

1.12. Contenido de humedad

Se determinó la humedad de la papilla recién procesada mediante el método de calentamiento convencional descrito por la Association of Official Analytical Chemist (AOAC, 1990). El cálculo de humedad se realizó mediante la Ecuación 2.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{Pp (g)}{Pm (g)} \times 100 \quad (2)$$

Dónde: **Pp** pérdida de peso (g) y **Pm** peso de la muestra (g).

1.13. Actividad de agua (a_w)

La a_w de las papillas deshidratadas se determinó a tiempo inicial de almacenamiento, mediante el uso de un hidrómetro Aqualab Decagón (serie 3).

1.14. Isotermas de sorción

Se utilizó el método gravimétrico estático propuesto por **Spiess & Wolf (1987)** y **Wolf et al. (1985)**. El método consiste en crear atmósferas a diferentes humedades relativas en recipientes herméticos; las condiciones de humedad relativa de cada recipiente se alcanzan mediante soluciones salinas sobresaturadas (Tabla 7). Este tipo de ambientes permiten ceder o retirar de manera continua la humedad de las muestras con el entorno higroscópico, hasta que la humedad relativa llegue al equilibrio (**Millán et al., 2001**). Las muestras finalmente se pesan hasta comprobar que se alcance peso constante ($\Delta P = \pm 0,0005 \text{ g}$) (**García et al., 2007**). En el presente estudio, se trabajó a temperatura constante de $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tabla 7. Soluciones salinas saturadas como factor higroscópico a 20°C

Nomenclatura	Sal	(a_w)
KOH	Hidróxido de potasio	0,11
CH ₃ CO ₂ K	Acetato de potasio	0,23
K ₂ CO ₃	Carbonato de potasio	0,43
NaBr	Bromuro de sodio	0,58
MgCl ₂	Cloruro de magnesio	0,69
NaCl	Cloruro de sodio	0,75
(NH ₄) ₂ SO ₄	Sulfato de amonio	0,81

Fuente: Navia et al. (2014)

1.15. Humedad en equilibrio

La humedad en equilibrio (w_e en g H₂O/g materia seca) se determinó con la Ecuación 3.

$$We(b.s) = \frac{Po \times Wo + \Delta P}{Po \times (1 - Wo)} \quad (3)$$

M

1.16. Modelado de isotermas

Los modelos están ajustados para representar los datos experimentales en función del fenómeno de adsorción de agua en los alimentos (McLaughlin & Magee, 1998).

- Brunauer, Emmett y Teller (BET)

$$W = \frac{w_0 \times C \times a_w}{(1 - a_w) \times (1 + (C - 1))} \quad (4)$$

Dónde: w_e humedad en equilibrio, w_0 humedad de la monocapa y C constante de calor de sorción.

- Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB)

$$w_e = \frac{w_0 \times C \times K \times a_w}{(1 - (K \times a_w)) \times (1 + (C - 1) \times (K \times a_w))} \quad (5)$$

Dónde: w_e humedad en equilibrio, w_0 humedad de la monocapa, C constante de calor de sorción y K constante de calor de sorción en las multicapas.

Los modelos matemáticos propuestos se ajustarán mediante el coeficiente de correlación lineal (R^2) y se calculará el error relativo (Ecuación 6).

$$(\%E) = \frac{100}{n} \times \sum_{i=1}^n \frac{[X_{ei} - X_{ci}]}{X_{ei}} \quad (6)$$

Dónde: X_{ei} contenido de humedad experimental (g agua/ g materia seca), X_{ci} contenido de humedad calculada para cada modelo y n número de observaciones.

1.17. Determinación del tiempo de vida útil teórico

Las isotermas de sorción de un alimento que será envasado, puede ser un factor de estimación de la vida anaquel según sus condiciones de almacenamiento. Para la estimación del tiempo potencial de almacenamiento en base a la a_w crítica se utilizó el modelo de **Heiss & Eichner (1971)** (Ecuación 7).

$$t_s = \frac{\ln[(X_e - X_i)/(X_e - X_c)]}{K_s(A/W_s)(P_o/S)} \quad (7)$$

Dónde: K_s permeabilidad al vapor de agua (kg H₂O/m²×Pa×día a través de un envase), t_s vida útil del alimento basado en todas las condiciones de almacenamiento desde el día de su deterioro, A superficie del envase (m²), w_s peso del producto (kg materia seca), P_o presión de vapor dependiendo de la temperatura de almacenamiento; S pendiente isotérmica entre la humedad crítica y la humedad de equilibrio (rango lineal), X_e humedad en equilibrio (kg agua/kg base seca); X_c humedad de almacenamiento seguro (kg agua/kg base seca); X_i humedad inicial del material (kg agua/kg base seca).

1.18. Análisis estadístico

La respuesta experimental obtenida fue tabulada y analizada mediante el paquete estadístico Infostat. La comparación entre tratamientos se efectuó con el análisis de varianza (ANOVA), empleando la prueba comparativa de Tukey con una significancia del 95 % para determinar las diferencias entre las medias.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.19. Tamaño de la muestra

El tamaño de población fue de 84 unidades, con una muestra de 10 unidades con un peso neto de 401,92 g para cada formulación.

1.20. Granulometría

La norma **INEN (616:2015)**, sirvió como referencia para establecer la distribución del tamaño de partícula. Se observó mayor porcentaje de retención en el tamiz 40 con un tamaño de partícula de 338 micras (μm), seguido del tamiz 20 con un tamaño de partícula de 638 μm (Tabla 8). La prueba comparativa de Tukey permitió determinar que existe diferencia significativa entre los tamices utilizados ($p \leq 0,05$), pudiendo considerarse como una mezcla heterogénea.

El tamaño de partícula obtenido mediante granulometría, permite predecir las condiciones de consumo del producto, debido a que partículas con dimensiones superiores a los 338 μm requieren mayor cantidad de líquido para producir una rehidratación parcial o total (**Alvarado & Aguilera, 2001; Andritz, 2014**). Por otro lado, **Bedolla et al. (2004)**, establece que un tamaño de partícula inferior a 200 μm aumenta el apelmazamiento y reduce el tiempo de vida útil; es decir, se prevé mayor estabilidad debido a que el porcentaje mayoritario de partículas es superior al valor reportado.

Tabla 8. Porcentaje de muestra retenida

Tratamiento	Tamiz				Plato
	20	40	60	80	
SR-M	27,74±0,006 ^a	44,01±0,009 ^b	5,44±0,012 ^c	11,28±0,005 ^d	11,54±0,003 ^e
SR-T	35,11±0,002 ^a	44,19±0,005 ^b	3,50±0,006 ^c	10,17±0,001 ^d	10,17±0,001 ^e
YH-M	33,64±0,005 ^a	40,43±0,001 ^b	4,31±0,011 ^c	10,61±0,004 ^d	11,00±0,003 ^e
YH-T	27,49±0,004 ^a	44,02±0,003 ^b	5,51±0,005 ^c	11,55±0,004 ^d	11,45±0,004 ^e

Media y desviación estándar de tres repeticiones. Letras diferentes en filas son significativamente diferentes mediante prueba comparativa Tukey ($p > 0,05$). SR-M: Santa rosa - pulpa de mora; SR-T: Santa rosa - pulpa de taxo; YH-M: Yema de huevo - pulpa de mora; YH-T: Yema de huevo - pulpa de taxo.

Según **Álvarez et al. (2012)**, debido al tamaño asimétrico de las partículas, a este tipo de productos también se les otorga la propiedad de ser porosos. Además, puede ser considerado como un sistema microheterogéneo, formadas por partículas de distintos tamaños, que constituyen un sistema poli-disperso (Tabla 9) (**Bello, 2000**).

Tabla 9. Fracción en peso de muestra retenida

Tamaño promedio (μm)	Fracción en peso			
	SR-M	SR-T	YH-M	YH-T
638	0,72 \pm 0,001	0,65 \pm 0,002	0,66 \pm 0,001	0,73 \pm 0,001
338	0,28 \pm 0,001	0,21 \pm 0,004	0,26 \pm 0,003	0,29 \pm 0,001
215	0,23 \pm 0,005	0,17 \pm 0,001	0,22 \pm 0,005	0,23 \pm 0,005
90	0,12 \pm 0,002	0,10 \pm 0,002	0,11 \pm 0,006	0,11 \pm 0,003

Media y desviación estándar de tres repeticiones. SR-M: Santa rosa - pulpa de mora; SR-T: Santa rosa - pulpa de taxo; YH-M: Yema de huevo - pulpa de mora; YH-T: Yema de huevo - pulpa de taxo.

1.21. Contenido de humedad y actividad de agua

Se evidenció diferencias significativas en el porcentaje de humedad ($p \leq 0,05$), presentando valores superiores en papillas elaboradas con pulpa de taxo (Tabla 10). La influencia de la pulpa de taxo puede deberse a la humedad que presenta esta fruta en estado fresco (89%) (**León Mejía & Riveros Cones, 2014**), superior a la que presenta la mora (84%) (**Vergara et al., 2016**). Además, en el caso de las papillas elaboradas con pulpa de mora, la cantidad elevada de sólidos solubles e insolubles (9 °Brix; 0,30 g/100 g_{bh} respectivamente) (**Stajčić et al., 2012; Villacrez et al., 2014**) frente al taxo (8,6 °Brix; 0,90 g/100 g_{bh} respectivamente) (**León Mejía & Riveros Cones, 2014**), favorecen la eliminación de agua libre y permite alcanzar valores bajos de humedad en la deshidratación.

Según **Nestlé (2017)**, para asegurar la estabilidad en este tipo de productos se requiere una humedad de 3 % - 10 %, límite que todas las muestras cumplen. Así mismo, la a_w idónea para suplementos alimenticios para infantes se encuentra en un rango de 0,35-0,6 (**Badui, 2006**), parámetro cumplido en todos los tratamientos.

Tabla 10. Porcentaje de humedad (% H) y actividad de agua (a_w) de papillas

Tratamientos	SR-M	SR-T	YH-M	YH-T
Humedad (%)*	7,505 \pm 0,006 ^a	9,575 \pm 0,007 ^b	8,598 \pm 0,006 ^{ab}	9,705 \pm 0,008 ^b
a_w **	0,391 \pm 0,001	0,553 \pm 0,001	0,508 \pm 0,001	0,572 \pm 0,001

* Media y desviación estándar tres réplicas con tres repeticiones**Una repetición. SR-M: Santa Rosa - pulpa mora; SR-T: Santa Rosa - pulpa taxo; YH-M: Yema de huevo - pulpa mora; YH-T: Yema de huevo - pulpa taxo.

1.22. Humedad en equilibrio

Tal y como reporta **Badui (2006) & Barreiro** y **Sandoval (2006)**, las papillas absorbieron humedad asintóticamente hasta equilibrarse con la atmósfera (Tabla 11).

Tabla 11. Fracción en peso de la humedad en equilibrio de papillas analizadas

a_w	w_e			
	SR-M	SR-T	YH-M	YH-T
0,11	0,084±0,002	0,109±0,003	0,096±0,002	0,110±0,004
0,23	0,087±0,002	0,114±0,008	0,100±0,003	0,114±0,007
0,43	0,094±0,004	0,122±0,008	0,104±0,005	0,121±0,008
0,58	0,101±0,005	0,128±0,009	0,110±0,009	0,126±0,012
0,69	0,110±0,003	0,138±0,010	0,120±0,013	0,135±0,001
0,75	0,120±0,006	0,148±0,010	0,128±0,006	0,145±0,131
0,81	0,131±0,010	0,162±0,008	0,138±0,015	0,155±0,011

Medias de tres réplicas y tres repeticiones.

1.23. Isotermas de sorción

En las Figuras 1, 2, 3 y 4, se muestra la relación existente entre a_w y w_e , para las cuatro formulaciones de papilla. La tendencia muestra isotermas cóncavas con relación al eje de abscisas, con un punto de inflexión en el rango intermedio (**Bello, 2000**). De acuerdo a la tendencia se pueden clasificar como isotermas del tipo II, debido a la formación de curvas sigmoideas características de alimentos secos con alta capacidad de disolución en un medio acuoso (**Brunauer et al., 1938**).

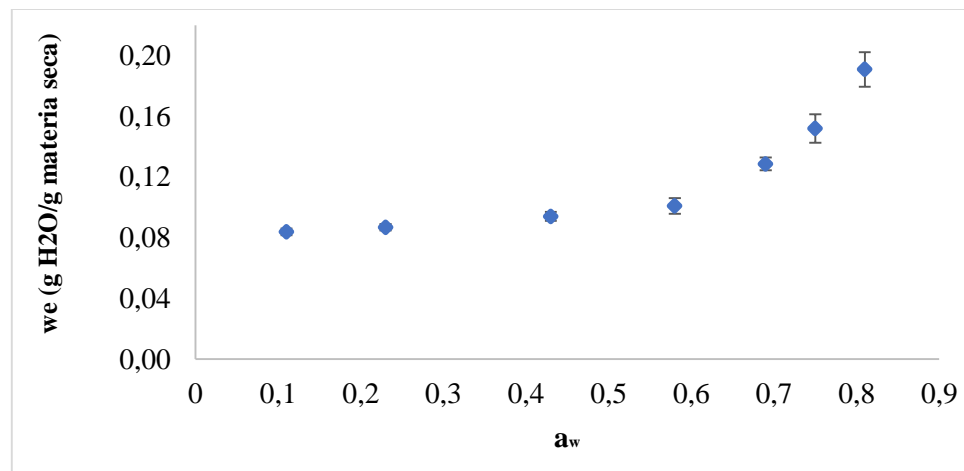


Figura 1. Isoterma de adsorción experimental para la muestra SR-M
(Promedio de tres réplicas y tres repeticiones)

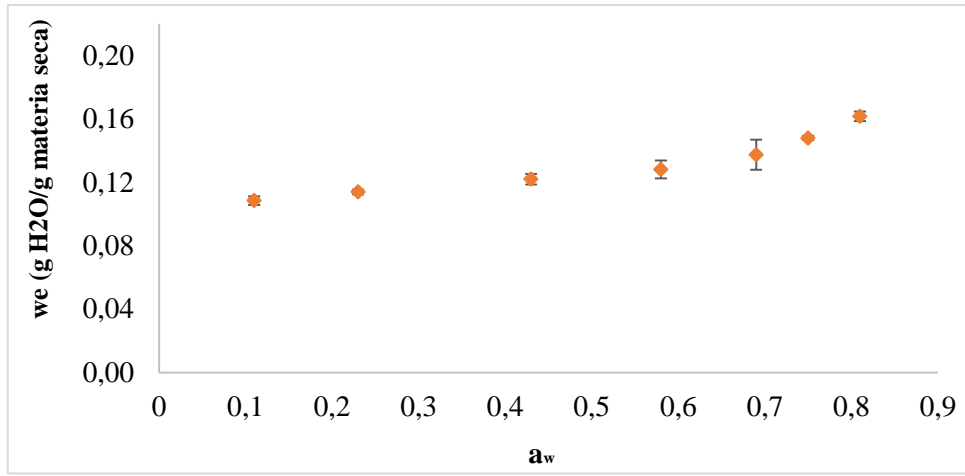


Figura 2. Isoterma de adsorción experimental para la muestra SR-T
(Promedio de tres réplicas y tres repeticiones)

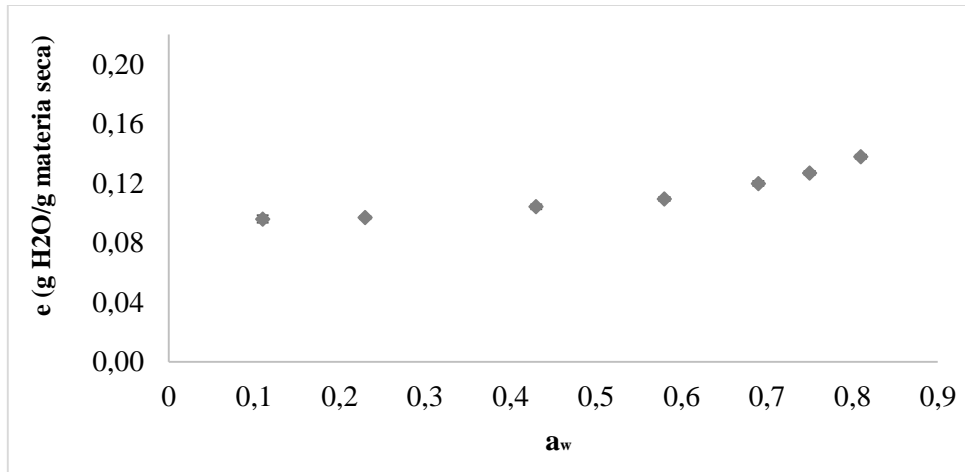


Figura 3. Isoterma de adsorción experimental para la muestra YH-M
(Promedio de tres réplicas y tres repeticiones)

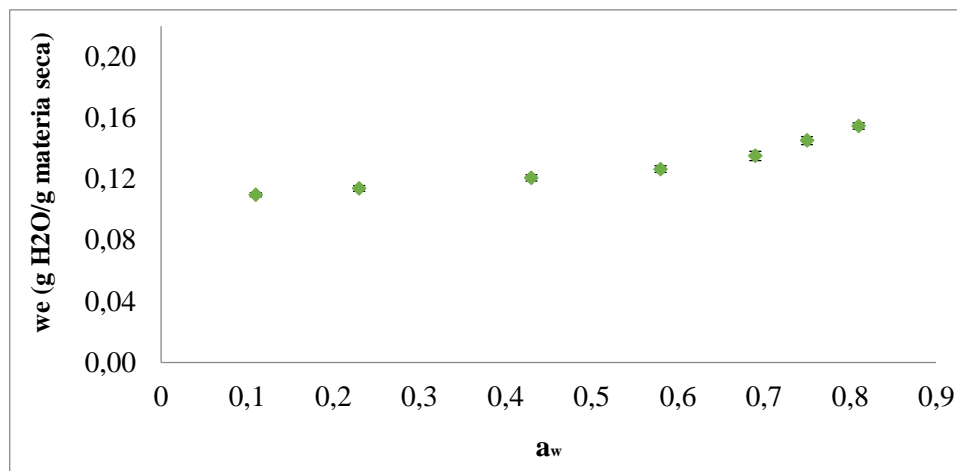


Figura 4. Isoterma de adsorción experimental para la muestra YH-T
(Promedio de tres réplicas y tres repeticiones)

La Figura 5 presenta una comparación entre las isotermas de las formulaciones. Las cuatro curvas presentan tendencia higroscópica hasta $a_w < 0,3$ y sigmoidea hasta $a_w < 0,6$.

El área total de la isoterma se divide en tres zonas, cada zona tiene relación directa con el efecto de sorción, condensación capilar y comportamiento de los solutos. La zona I posee fuerzas intermoleculares covalentes de Van der Waals, lo que permite que las moléculas de agua se ligen a sus puntos más activos. En esta zona, las moléculas de hidratos de carbono de la papilla se saturan por una monocapa de agua (**Badui, 2006**).

La zona II se presenta a una a_w entre 0,2 y 0,6; en este intervalo se encuentra el remanente de agua en un producto deshidratado debido a que es difícil de eliminar por su retención en las estructuras micro capilares. La entalpía de vaporización en esta zona es ligeramente superior a la del agua pura y a la del agua disponible como disolvente para solutos de bajo peso molecular (**Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005**). Finalmente, la zona III se observa a $a_w > 0,6$ y es considerada como agua libre. Las fuerzas intermoleculares en esta zona son no covalentes, y se relaciona con las estructuras macro capilares (Figura 5).

Los tratamientos elaborados con mora (SR-M y YH-M), presentan valores menores de w_e , esto puede deberse al contenido superior de sólidos solubles propios de la mora

(6°Brix) frente a los del taxo (4,5°Brix), debido a que estos componentes normalmente dificultan el intercambio osmótico entre el producto y el medio (INEN, 2337:2008).

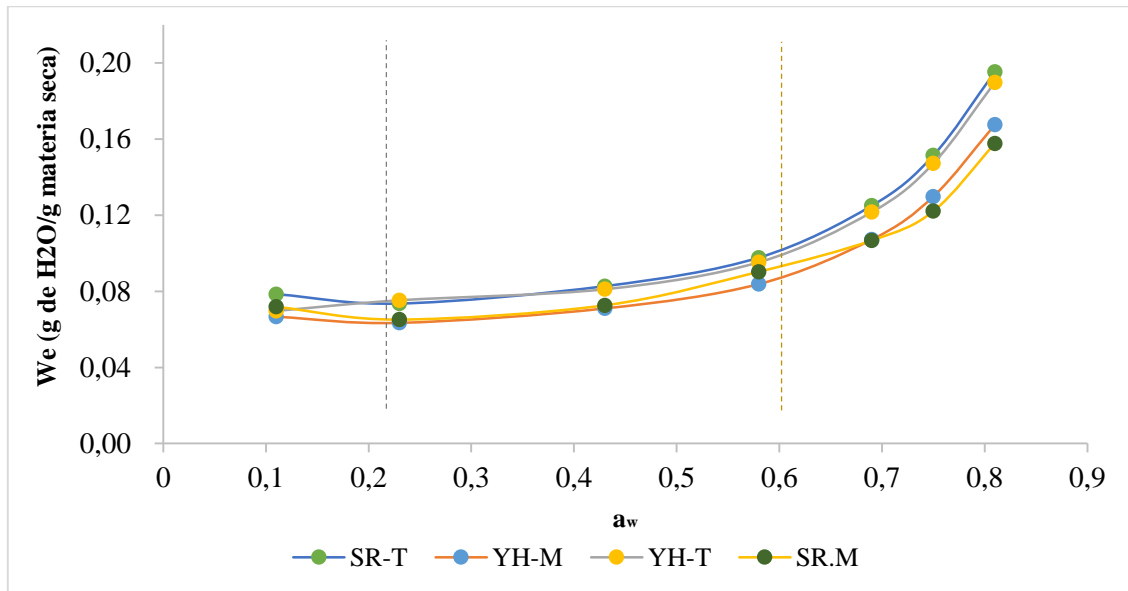


Figura 5. Comparación de isotermas de sorción de cuatro muestras de papilla.

1.24. Modelado de las isotermas de adsorción

Los datos experimentales obtenidos, se ajustaron a los modelos BET y GAB. El modelo BET, es de uso exclusivo para isotermas monocapa, se obtiene de un proceso físico de sorción y sólo puede ser aplicado para procesos con una a_w comprendida entre 0,4-0,6. Por otro lado, el modelo GAB, es usado para procesos mono y multicapa, sin un rango límite de a_w (Millán et al., 2001).

Las isotermas de sorción modeladas presentan similar forma sigmoidea, resultado de un proceso físico de adsorción que inicia en la monocapa y finaliza con la aparición de multicapas (Figuras: 6 a 9).

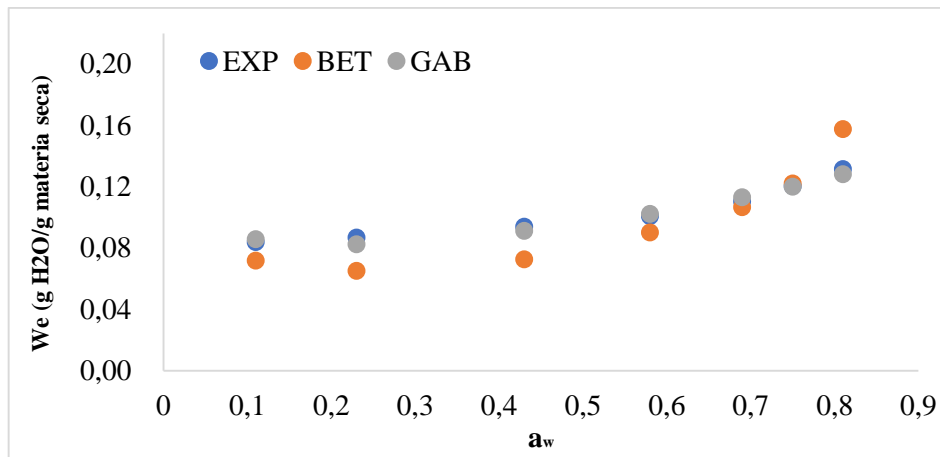


Figura 6. Modelado de isothermas de adsorción para la muestra SR-M, experimental y con los modelos BET y GAB.

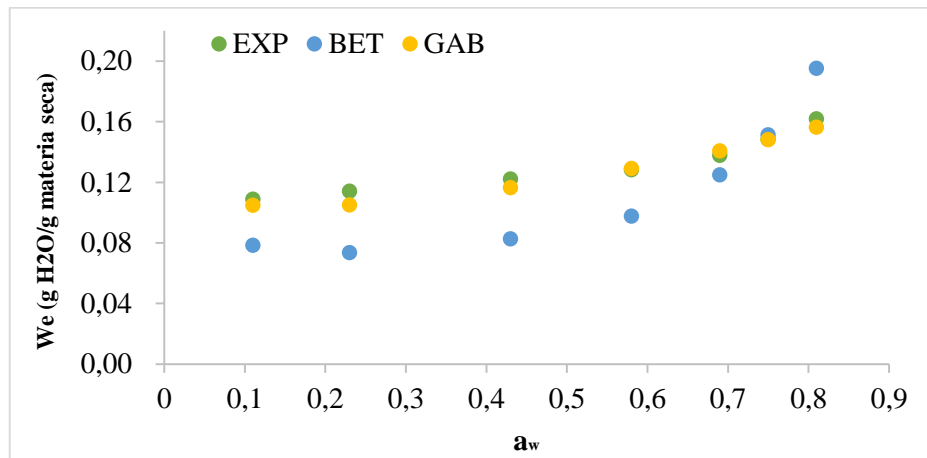


Figura 7. Modelado de isothermas de adsorción para la muestra SR-T, experimental y con los modelos BET y GAB

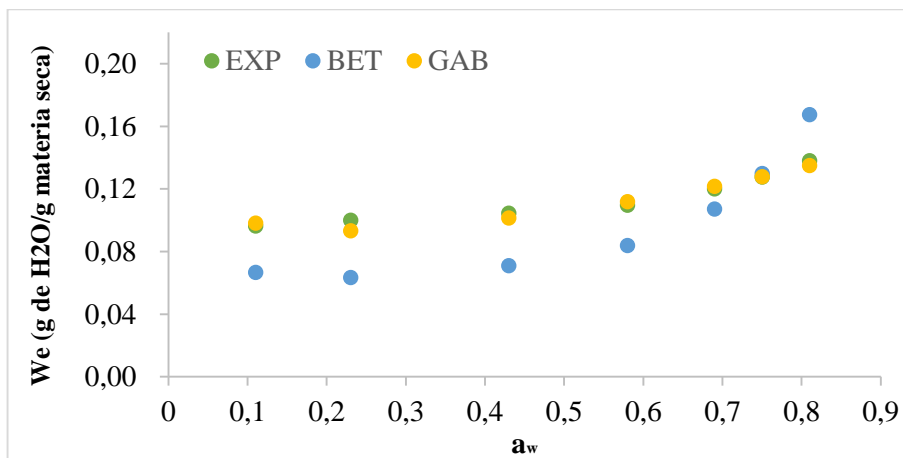


Figura 8. Modelado de isothermas de adsorción para la muestra YH-M, experimental y con los modelos BET y GAB

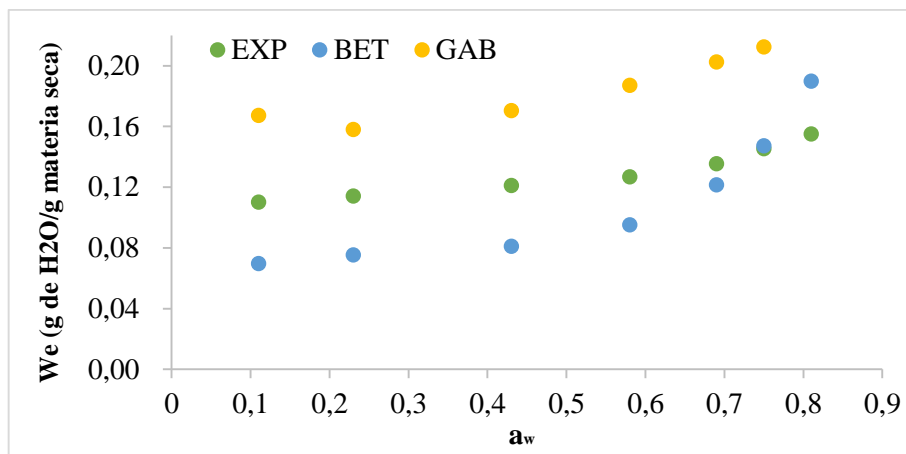


Figura 9. Modelado de isotermas de adsorción para la muestra YH-T, experimental y con los modelos BET y GAB

1.25. Parámetros de BET y GAB

En la Tabla 12 se presenta las constantes mediante los modelos de BET y GAB. De manera general, ambas ecuaciones se ajustan a los datos experimentales. Sin embargo, sus coeficientes de correlación difieren (BET: 0,8842-0,8911; GAB: 0,9913-0,9991).

El modelo BET compara la velocidad de condensación y evaporación, y considera únicamente la diferencia de energía existente en la monocapa por lo que es aplicable hasta a_w de 0,55 (**Andrade et al., 2011**). La constante de calor por sorción (C) presenta una diferencia estadística ($p > 0.05$) entre los tipos de papa nativa utilizados, presentando valores superiores al trabajar con la variedad Santa rosa (Tabla 12).

Valores de C inferiores a 1 indican ausencia del proceso de adsorción, indicando que las moléculas del adsorbato poseen mayor afinidad entre sí, frente a la afinidad que poseen con la superficie. Por otro lado, las isotermas de tipo “S” presentan valores de C superiores a 2, que demuestra el efecto de adsorción multicapa como resultado de la formación de una capa monomolecular (**Brunauer et al., 1940**). Además, indica que el agua presente en la capa monomolecular se encuentra agrupada en la superficie seca y da como resultado una presión de vapor reducida.

Por otra parte, el ajuste GAB se aplica para procesos multicapa y es empleado para establecer el tiempo de vida de anaquel evaluando la instauración de la humedad segura

del alimento, siendo aplicable hasta a_w de 0,95 (Viades, 2011). El valor w_o hace referencia al punto máximo en el cual la isoterma presenta mayor estabilidad y normalmente se encuentra en un rango de a_w de 0,2-0,3 (Labuza, 1984). Esta constante muestra diferencia estadística ($p>0.05$) entre los tipos de frutas utilizadas, presentando valores superiores al trabajar con taxo (Tabla 12). El valor de la constante de calor por sorción en las multicapas (K) presenta una diferencia estadística entre cada tratamiento ($p>0,05$), sin tendencia de asociación con las variables.

En base al coeficiente de correlación y el porcentaje de error, se establece que el modelo GAB se ajusta mejor en la generación de isotermas de sorción para el alimento en estudio. Se reportan resultados similares en: berenjenas deshidratadas mediante aire caliente, microondas y liofilizadas (Acurio et al., 2013), harina de maíz (Vega et al., 2006; García et al., 2007) y cereales producidos en Nigeria con maíz y sorgo (López et al., 2011).

Tabla 12. Constante BET y GAB, coeficiente de correlación y porcentaje de error

Modelo	Parámetros	Tratamientos			
		SR-T	YH-M	YH-T	SR-M
BET	w_o	0,0354±0,04 ^{ab}	0,0304±0,03 ^{ab}	0,0344±0,03 ^{ab}	0,0287±0,03 ^{ab}
	C	5,3267±0,26 ^a	5,2778±0,30 ^{ab}	5,1870±0,14 ^{ab}	5,5752±0,001 ^a
	R^2	0,8844	0,8911	0,8842	0,8911
	%E	4,8682	3,8862	4,6826	3,1984
GAB	w_o	0,0821±0,01 ^b	0,0708±0,01 ^a	0,0852±0,01 ^b	0,0614±0,01 ^a
	C	65,4561±1,22 ^b	54,0878±3,98 ^a	81,7123±3,07 ^a	80,4563±1,11 ^a
	K	0,5234±0,06 ^c	0,8581±0,01 ^a	0,7868±0,08 ^b	0,7471±0,07 ^b
	R^2	0,9971	0,9988	0,9913	0,9991
	%E	2,29	3,29	3,53	1,83

Letras diferentes en filas son significativamente diferentes mediante prueba comparativa Tukey ($p>0,05$).

1.26. Contenido crítico de agua y humedad óptima de almacenamiento

El contenido crítico de agua es el valor de humedad en el que se asegura que un producto no presentará contaminación por microorganismos durante el tiempo de almacenamiento; para establecer este parámetro es importante que la a_w no sea superior a 0,7 (Freire & Sandoval, 2011). El contenido crítico de agua (X_c) a $20^\circ\text{C}\pm 1$, determinados mediante la ecuación de Heiss & Eichner (1971) citado por Andrade et al., (2011), para la formulación SR-M es 0,1093 g agua/g materia seca; para SR-T es 0,1294 g

agua/g materia seca; para YH-M es 0,1117 g agua/g materia seca; y para YH-T es 0,1270 g agua/g materia seca. Mientras que, la humedad óptima de almacenamiento establece el punto máximo de estabilidad con relación a cualquier proceso químico y enzimático que pueda ocurrir en el alimento (Labuza et al., 2001). Estos valores están en un rango de 0,0623-0,0714 g agua/g materia seca, a una a_w de 0,2 para las cuatro papillas estudiadas (Tabla 13, Figura 10).

Tabla 13. Parámetros de isotermas de sorción experimentales para estimación de la vida útil

Parámetros*	SR-M	SR-T	YH-M	YH-T
X_e (g agua/g materia seca)	0,158	0,198	0,169	0,190
X_i (g agua/g materia seca)	0,075	0,096	0,086	0,097
X_c (g agua/g materia seca)	0,109	0,129	0,117	0,127
S	0,246	0,284	0,236	0,264

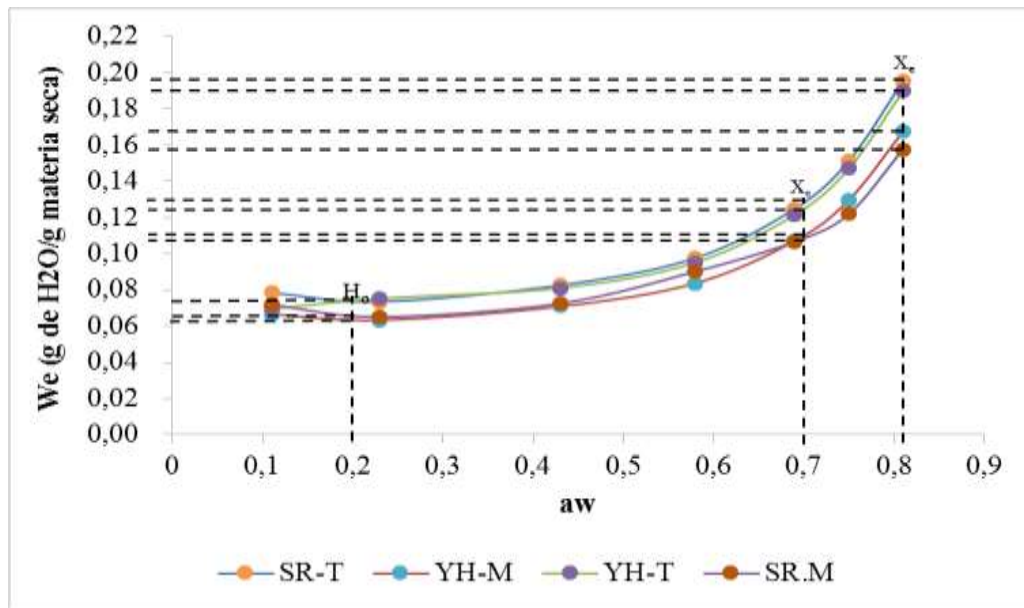


Figura 10. Contenido de humedad límite en función del parámetro a_w segura.

1.27. Tiempo de vida útil

El tiempo de vida útil determinado mediante la Ecuación 7, se reporta en la Tabla 14. Las papillas saborizadas con pulpa de mora presentan valores más altos de vida útil, esto puede deberse a la mayor cantidad de sólidos solubles presentes, lo que reduce el

espacio intersticial, provocando que exista mayor cantidad de aire y menor higroscopicidad.

Mientras que las muestras saborizadas con taxo presentan valores inferiores, esto se correlaciona con la humedad inicial de las muestras (88 % aprox.), misma que es superior a las papillas saborizadas con mora. Esta cantidad de agua provoca un proceso de deshidratación más lento que las muestras, generando que en la papilla deshidratada exista mayor contenido de agua ligada, la misma que tiende a suscitar el ambiente idóneo para el desarrollo de microorganismos.

Tabla 14. Estimación del tiempo de vida útil para los cuatro tratamientos, a diferente contenido de humedad inicial.

Contenido de humedad inicial (% b.s.)	Tiempo de vida útil (días)			
	<i>SR-M</i>	<i>SR-T</i>	<i>YH-M</i>	<i>YH-T</i>
<i>Experimental</i>	407	360	380	352
8	314	273	306	288
10	216	190	210	200
12	95	77	95	88

1.28. Verificación de las hipótesis

En función de los resultados obtenidos, se acepta la hipótesis nula (H_0). Es decir, la variedad de papa (Santa rosa y Yema de huevo) y la pulpa de fruta (mora y taxo), empleadas en la formulación de las cuatro muestras de papilla, no influyen en las condiciones óptimas para el almacenamiento del producto; siendo los factores intrínsecos del alimento (a_w y contenido de humedad), las condiciones medio ambientales y de almacenamiento las que afectan directamente el tiempo de vida útil.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Las cuatro papillas son un alimento granulado y pulverulento con un tamaño de partícula entre 215 - 337,5 μm , pudiendo considerarse de fácil palatabilidad debido a que no requieren un proceso previo de masticación, definiéndolas como un alimento de continuación idóneo para los lactantes. Las muestras saborizadas con pulpa de taxo presentan menor tamaño de partícula.
- Las isotermas de sorción son sigmoidea de tipo II, presentando una forma asintótica a medida que la a_w se acerca a la unidad y no presentan diferencias entre las formulaciones. Las formulaciones saborizadas con pulpa de mora presentan menor nivel de higroscopicidad efecto debido principalmente a la cantidad de sólidos solubles de la fruta.
- La formación de isotermas de tipo II, establece una adsorción física de multicapa, por lo que los datos experimentales se ajustan mejor al modelo GAB, mismo que permite describir el sistema y establecer la estabilidad de los productos.
- El tiempo de vida útil teórico para las cuatro muestras es de aproximadamente 1 año, presentando mayor estabilidad las muestras saborizadas con mora. Este efecto se relaciona con la humedad, a_w y contenido de sólidos solubles de las muestras. Sin embargo, se evidencia efecto de factores externos que en conjunto con las propiedades del producto afectarán las propiedades físicas, químicas, enzimáticas o microbiológicas.

5.2. Recomendaciones

- Establecer las propiedades de las materias primas a ser empleadas en la formulación base de un producto, con la finalidad de determinar las características del equipo y del proceso de deshidratación.
- Con la finalidad de generar isotermas de sorción con un mayor R y menor % E, a más de ser empleado el modelo BET y GAB, se recomienda el uso de: modelo Langmuir; modelo BET y GAB restringidos, y modelo t.s.s.
- El producto final a ser obtenido debe cumplir con las propiedades reológicas establecidas en las normativas de cada país (Ecuador INEN) o las de uso global (Codex Alimentarius), con la finalidad de garantizar que el alimento es apto y de fácil aprovechamiento de las propiedades nutritivas y físicas por parte del consumidor.

Referencias bibliográficas

Asamblea Constituyente de la República del Ecuador. Constitución Nacional del Ecuador.

Acurio, L., Igual, M., & Camacho, M. d. M. (2013). *Efecto de la deshidratación en las propiedades ópticas y mecánicas de diferentes variedades de berenjena; Estudio de las condiciones de almacenamiento*. (Tesis de maestría), Valencia-España. Recuperado de: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/1271/1/T-SENECYT-00483.pdf>

Alvarado, J., & Aguilera, J. (2001). *Métodos para medir propiedades físicas en la industrias de alimentos*. Zaragoza-España: Acribia S. A.

Álvarez, M. V., Serna, S. I., Villada, M. E., & López, B. E. (2012). Papilla de arroz instantánea para niños de 12 a 36 meses fortificada con nutrientes: Una alternativa para la alimentación infantil. *Engineering and Technology*, 1(2), 40-73.

Andrade, R., Lemus, R., & Pérez, C. (2011). Models of sorption isotherms for food uses and limitations. *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 18(3), 325-334.

Andritz. (2014). Baby/infant food processing lines. In A. Separation (Ed.). Austria.

AOAC, (1990). *Association of Official Analytical Chemist* K. Helrich (Ed.) (pp. 771). Recuperado de <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>

Arteaga, M. R., Morán, A., Morgan, J. M., & Ramírez, M. A. G. (2003). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de papilla deshidratada de manzana adicionada con calcio*. Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa-México. Recuperado de: <http://148.206.53.84/tesiuami/UAMI12826.pdf>

Badui, S. (2006). *Química de los Alimentos* E. Quintanar (Ed.) (pp. 736). Recuperado de <https://deymerg.files.wordpress.com/2013/07/quimica-de-los-alimentos1.pdf>

- Barreiro, J., & Sandoval, A. (2006). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas* (pp. 343). Recuperado de [https://books.google.com.ec/books?id=r7y3XuFAB8UC&pg=PR2&lpg=PR2&dq=Barreiro+%26+Sandoval+\(2006\),&source=bl&ots=VPOIuwXnA&sig=LRcSV-iTisS_akwo8F2joczRcWM&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjS7Yue0IbZAhVC7VMKHS8uDKoQ6AEILzAB#v=onepage&q=Barreiro%20%26%20Sandoval%20\(2006\)%2C&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=r7y3XuFAB8UC&pg=PR2&lpg=PR2&dq=Barreiro+%26+Sandoval+(2006),&source=bl&ots=VPOIuwXnA&sig=LRcSV-iTisS_akwo8F2joczRcWM&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjS7Yue0IbZAhVC7VMKHS8uDKoQ6AEILzAB#v=onepage&q=Barreiro%20%26%20Sandoval%20(2006)%2C&f=false)
- Bedolla, S., Dueñas, C., Esquivel, I., Favela, T., Guerrero, R., Mendoza, E., . Trujillo, M. (2004). *Introducción a la tecnología de alimentos* Noriega (Ed.) *Academia del Área de Plantas Piloto de Alimentos* (pp. 147). Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=V2IqmVapJWkC&pg=PA3&lpg=PA3&dq=Introducci%C3%B3n+a+la+Tecnolog%C3%ADa+de+los+Alimentos+por+Bedolla+gratis&source=bl&ots=Spzk8QwFWi&sig=-DsjNTND1klsPKIlls4-uaKt-zc&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjSkubFtobZAhXOu1MKHWrzDnIQ6AEIKjAB#v=onepage&q=Introducci%C3%B3n%20a%20la%20Tecnolog%C3%ADa%20de%20los%20Alimentos%20por%20Bedolla%20gratis&f=false>
- Bello, J. (2000). *Ciencia Bromatológica Principios generales de los alimentos* Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=94BiLLKBJ6UC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Brunauer, S., Emmett, P., & Tellerr, E. (1938). Adsorptio of gases in multimolecular layers. *Journal of the America Chemical Society*, 60(2), 309-319. doi: 10.1021/ja01269a023
- Cabral, N. F. (2016). *Practicas maternas de implementacion en diez pasos para la alimentación saludable en el primer año de vida* Universidad Federal de Pernambuco Recife-Brasil.
- Directrices sobre preparados alimenticios complementarios para lactantes de más edad y niños pequeños (CAC/GL 8-1991) (Rev. 2013).

- Castillo, C., Balboa, P., Torrejón, C., Bascuñán, C., & Uauy, R. (2013). Alimentación normal del niño menor a 2 años. *Revista Chilena Pediatría*, 84(5), 565-572.
- CODEX STAN 074-1981. (2006). Norma para alimentos elaborados a base de cereales para lactantes y niños pequeños (CODEX STAN 074-1981). In C. Alimentarius (Ed.), (1 ed., pp. 10).
- Documento de debate sobre una norma sobre alimentos listos para el consumo (CX/NFSDU14/36/2) (2014).
- FAO. (2005). FAO necesidades nutricionales.pdf. from <http://eprints.uanl.mx/1659/>
- Freire, A. F., & Sandoval, E. G. (2011). *Diseño de una planta elaboradora de dulces espumosos con sabor a maracuyá (Passiflora edulis), taxo (Passiflora tripartita var. Mollissima) y granadilla (Passiflora lugularis Juss) en el cantón Cayambe.* (Agroindustrial y de Alimentos), Universidad de las Americas UDLA, Quito-Ecuador. Retrieved from <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/2162> (28)
- García, S. V., Schemalko, M. E., & Tanzariello, A. (2007). Isotherma de adsorción y cinética de secado de ciertas hortalizas y aromáticas cultivadas den misiones. *RIA*, 36(1), 115-129.
- Hernández, G., Dagach, U., & Serra, D. (2006). Bases para una alimentación complementaria adecuada de los lactantes y los niños de corta edad. *Anales de Pediatría*, 65(5), 481-495. doi: 10.1157/13094263
- Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de los Alimentos* Recuperado de <https://es.slideshare.net/IngJoseSamuelFlorian/operaciones-unitarias-en-la-ingenieria-de-alimentos-aibarz-g-barbosacanvas-mejor>
- Harina de Trigo. Requisitos (NTE INEN 616:2015) (616:2015).
- Jugos, pulpas, concentrados, néctares, bebidas de fruta y vegetales (NTE INEN 2 337:2008) (2337:2008).
- Preparados de continuación para la alimentación de lactantes (NTE INEN 2516:2010) (2516:2010).

- INIAP. (2015). *Las Papas Nativas Ecuatorianas Rescatando Nuestra Biodiversidad*. Quito.
- INIAP, Papa-Andina, & Fontagro. (2006). *La magia de la papa nativa* Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Proyecto Regional entre Ecuador Perú y Bolivia Papa Andina & Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria Fontagro (Eds.), *Recetario Gastronómico* (pp. 71). Recuperado de <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/PAPA%20-%20LA%20MAGIA%20DE%20LA%20PAPA%20NATIVA.PDF>
- Labuza, T., Shimoni, E., & Duyvesteyn, W. (2001). Determination of the end of Shelf-life for milk using Weibull Hazard Method. *LWT-Food Science and Technology*, 34(3), 143-148. doi: 10.1006/fstl.2000.0736
- León Mejía, D. C., & Riveros Cones, J. D. (2014). Extracción y caracterización química de las pectinas de las cáscaras del maracuyá amarillo (*Passiflora edulis* Var *Flavicarpa degener*) granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) y tumbo serrano (*Passiflora mollissima* HBK Bailey).
- López, S. L., López, E. J., Ballinas, E. J., & Vela, G. (2011). Condiciones óptimas de secado, evaluación sensorial y vida de anaquel de un alimento infantil a base de lactosuero, harina de mamey y mango y cacahuete. *Química Viva*, 11(2).
- Maupoey, P. F., Andrés, A. M., Barat, J. M., & Albors, A. M. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente* (1 ed.). España: Universidad Politécnica de Valencia.
- McLaughlin, C. P., & Magee, T. R. A. (1998). The determination of sorption isotherm and the isosteric heats of sorption for potatoes. *Journal of Food Engineering*, 35(3), 267-280. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00025-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00025-9)
- Medina, M., Tirado, G., Mejía, I., Camarillo, I., & Cruz-Vázquez, C. (2006). Digestibilidad in situ de dietas con harina de nopal deshidratado conteniendo un preparado de enzimas fibrolíticas exógenas. *Pesq. agropec. bras.*, 41(7), 1173-1177.

- Millán, F. R., Roa, V., & Tápia, M. S. (2001). Modelado matemático de isothermas de adsorción de humedad en alimentos usando redes neuronales artificiales. *ResearchGate*, 26(5), 190-194.
- Miranda, M., Cruz, M., Vizcarra-Mendoza, M., & Anaya-Sosa, I. (2014). *Determinación de las Isothermas de Sorción y las Propiedades Termodinámicas de Harina de Maíz Nixtamalizada*. (3). Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v13n1/v13n1a13.pdf> (1)
- Nestlé. (2017). Nutrición avanzada para barriguitas felices from <https://www.nestlebebe.es/productos-infantiles/papillas-de-cereales/nestumN>
- OMS. (2015). Estrategia mundial para la alimentación del lactante y del niño pequeño. *Organización Mundial de la Salud*.
- OMS. (2017). Micronutrientes múltiples en polvo para el enriquecimiento doméstico de los alimentos consumidos por niños de 6 a 23 meses. from http://www.who.int/elena/titles/micronutrientpowder_infants/es/
- Poveda, F., & Granados, G. (2016). *Evaluación de la estabilidad de B-carotenos en una papilla de harinade camote biofortificado con dos tiempos y dos temperaturas de cocción*. Zamorano, Honduras. Retrieved from <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5766/1/AGI-2016-T021.pdf>
- Prieto, F., Gordillo, A. J., Prieto, J., Gómez, C., & Román, A. (2006). Evaluación de las isothermas de sorción en cereales para el desayuno *Superficies y Vacío*, 19(1), 12-19.
- Rosado, J., Rivera, J., López, G., Solano, L., Rodríguez, G., Casanueva, E., . . . Maulen, I. (1998). Desarrollo y evaluación de suplementos alimenticios para el Programa de Educación, Salud y Alimentación *Sistema de Información Científica Redalyc.org*, 41(3), 153-162.
- Serrano, N., Becerril, M., Millán, A., Osorio, L., & Torres, D. (2005). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de papilla deshidratada de manzana adicionada con calcio*. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, México.

- Spiess, W. & Wolf, W. (1987). *Critical evaluation of methods to determine moisture sorption isotherms*. En Louis, B., Benchot, L. (eds). *Water Activity: theory and applications to foods*. New York. Marcel Dekker Inc., 215-233
- Stajčić, S. M., Tepić, A. N., Đilas, S. M., Šumić, Z. M., Čanadanović-Brunet, J. M., Četković, G. S., Tumbas, V. T. (2012). Chemical composition and antioxidant activity of berry fruits. *Acta Periodica Technologica*(43), 93-105.
- Vázquez, M. (2012). Puré de verduras para el bebe: cinco pasos para las primeras recetas. *Erosky Consumer*.
- Vega, A., Lara, E., & Lemus, R. (2006). Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays* L.). *Food Science and Technology (Campinas)*, 26(4), 821-827.
- Vergara, M. F., Vargas, J., & Acuña, J. F. (2016). Physicochemical characteristics of blackberry (*Rubus glaucus* Benth.) fruits from four production zones of Cundinamarca, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 34, 336-345.
- Viades, J. (2011). Adsorción de agua en alimentos. Isoterma de adsorción de Guggenheim, Anderson y De Boer (GAB). *Revista de la UNAM*, 1.
- Villacrez, J. L., Carriazo, J. G., & Osorio, C. (2014). Microencapsulation of Andes berry (*Rubus glaucus* Benth.) aqueous extract by spray drying. *Food and bioprocess technology*, 7(5), 1445-1456.

ANEXOS



Figura 11. Secador convectivo marca Gander MN



Figura 12. Papilla deshidratada.



Figura 13. Molino automático y papilla molida



Figura 14. Papilla deshidratada en polvo en la cámara con a_w determinada.



Figura 15. Cámara herméticamente cerrada.



Figura 16. Equipo para análisis granulométrico.



Figura 17. Análisis granulométrico de la papilla elaborada con la variedad Santa rosa y con pulpa de taxo.



Figura 18. Análisis granulométrico de la papilla elaborada con la variedad Santa rosa y con pulpa de mora.