



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 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*).

Trabajo de Titulación 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: Alejandra Rosario Agama Naranjo

Tutora: Ing. Mg. Dolores del Rocío Robalino Martínez

Ambato - Ecuador

Enero 2018

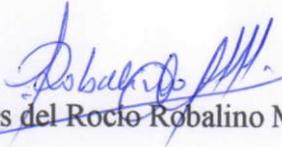
APROBACIÓN DE LA TUTORA

Ing. Mg. Dolores del Rocío 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.

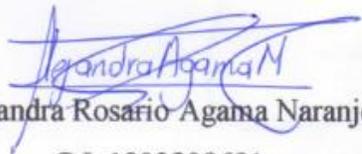
Ambato, 20 de noviembre del 2017.



Ing. Mg. Dolores del Rocío Robalino Martínez
C.I. 1801769488
TUTORA

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Alejandra Rosario Agama Naranjo, 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.

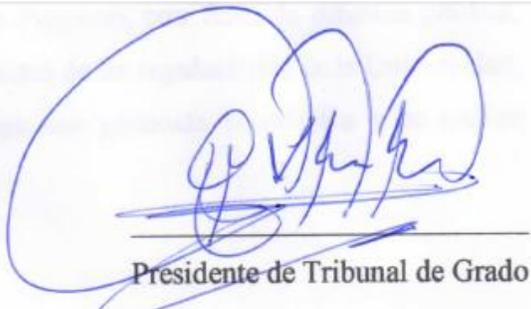


Alejandra Rosario Agama Naranjo
C.I. 1803209681
AUTORA

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



M.Sc. Araceli Alexandra Pilamala Rosales.
C.I.1804155297



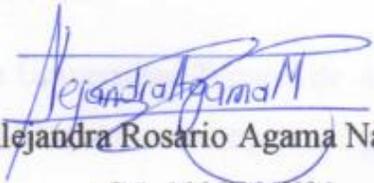
Ph.D. Milton Rubén Ramos Moya.
C.I. 1801119635

Ambato, 13 de diciembre del 2017

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.



Alejandra Rosario Agama Naranjo.
C.I. 1803209681
AUTORA

AGRADECIMIENTO

A veces las palabras son escasas para expresar gratitud a todo cuanto contribuye a la realización de una meta.

Deseo plasmar en estas líneas primeramente gratitud a mi Padre Celestial por darme la vida y por su guía en todas las decisiones de mi vida, por moldear mi vida como un alfarero moldea la arcilla.

A mis padres por su sacrificio, abnegación y cariño, por todo este tiempo de paciencia y confianza, por entregar todo a cambio de nada.

A mi esposo por su ayuda, amor y apoyo desde el mismo momento en que nos conocimos, por ser mi compañero de vida, el padre perfecto para mis hijos y por el cariño que hace de mi mundo el lugar perfecto para vivir.

Mi eterno agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos por el conocimiento impartido, por ser la cuna del saber en mis años de estudio.

A los docentes de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, especialmente al Ing. Juan de Dios Alvarado y a la Ing. María Rodríguez por ser el ejemplo perfecto de maestros, de profesionales y sobre todo por ser un ejemplo de vida para mí.

Expreso mi eterno agradecimiento a la Ing. Dolores Robalino por ser un apoyo constante como tutora, por su amabilidad y confianza, por su ayuda incondicional, por ser una de las mejores maestras que he tenido a lo largo de mi vida escolar.

Un conocido proverbio chino dice: cuando bebas, recuerda la fuente y tu Lilita eres la fuente de la realización de esta meta, gracias, mil gracias amiga por tu ayuda, no puedo expresar con palabras la gratitud que siento, sin embargo, creo firmemente que todo lo que se da se recibe, por eso te deseo lo mejor y espero que en los libros de la ciencia se escriba tu nombre.

Finalmente a todas las personas que de cualquier forma contribuyeron en el cumplimiento de este sueño.

DEDICATORIA

Alcanzar una meta es hermoso, más aún cuando la vida te regala la oportunidad de vivir con personas que se convierten en la razón de la vida misma.

A mis padres, a mi esposo y a mis hijos.

A ti Danielita por ser la luz de mis ojos, mi niña adorada.

A ti Benjamín, el dueño de mi corazón.

Que este trabajo se constituya en un legado de sacrificio, constancia y compromiso, por ustedes mis amores. Recuerden que nuestra labor en esta vida no es el ir por delante de los demás, sino el ir por delante de nosotros mismos. El batir nuestro propio récord, el vivir más rectamente de lo que vivimos en el pasado, el soportar nuestras pruebas de forma más hermosa de lo que jamás soñamos, el dar como nunca antes hemos dado, el hacer nuestro trabajo con más ahínco y con mejores resultados que nunca, ése es el verdadero objetivo **(Thomas. S. Monson)**.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PAGINAS 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 FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	xviii

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

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

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos.....	4
2.2. Hipótesis.....	6
2.2.1. Hipótesis nula (H_0).....	6

2.2.2. Hipótesis alternativa (H_a).....	6
2.3. Señalamiento de variables de la hipótesis.....	7
2.3.1. Variables independientes.....	7
2.3.2. Variables dependientes.....	7
CAPÍTULO III	
MATERIAL Y MÉTODOS	
3.1. Formulación.....	8
3.2. Proceso de elaboración.....	8
3.3. Tamaño de la muestra	9
3.4. Granulometría.....	9
3.5. Contenido de humedad	10
3.6. Actividad de agua	10
3.7. Obtención de isothermas de adsorción.....	11
3.8. Cálculo de la humedad de equilibrio	11
3.9. Modelado de las isothermas de adsorción	12
3.10. Diseño del tiempo de vida útil teórico.....	13
3.11. Diseño experimental.....	15
3.11.1. Factores o niveles en estudio para la determinación de las condiciones de almacenamiento de la papilla.....	14
3.11.2. Tratamientos.....	14
3.11.3. Muestras.....	14
3.12. Análisis estadístico.....	15
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. Tamaño de la muestra	16
4.2. Granulometría.....	16
4.3. Contenido de humedad y actividad de agua	17
4.4. Humedad en equilibrio.....	19
4.5. Isothermas de adsorción.....	19
4.6. Modelado de las isothermas de adsorción	24
4.7. Parámetros de BET y GAB.....	27

4.8. Humedad óptima de almacenamiento y contenido crítico de humedad	29
4.8.1. Tiempo de vida útil	30
4.9. Verificación de la Hipótesis	31
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. Conclusiones.....	32
5.2. Recomendaciones.....	33
MATERIALES DE REFERENCIA	
Referencias Bibliográficas.....	34
ANEXOS	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Técnica de cuarteo de laboratorio para análisis granulométrico de alimentos en polvo.....	10
Figura 2. Isotherma de adsorción experimental de la formulación SRM.....	20
Figura 3. Isotherma de adsorción experimental de la formulación SRT.....	21
Figura 4. Isotherma de adsorción experimental de la formulación YHM.....	21
Figura 5. Isotherma de adsorción experimental de la formulación YHT.....	22
Figura 6. Comparación de las isothermas obtenidas experimentalmente de las cuatro formulaciones de papilla estudiada.....	24
Figura 7. Modelado de las isothermas de adsorción de SRM con los modelos de B.E.T., G.A.B. y experimental.....	25
Figura 8. Modelado de las isothermas de sorción de SRT con los modelos de B.E.T., G.A.B. y experimental.....	26
Figura 9. Modelado de las isothermas de sorción de YHM con los modelos de B.E.T., G.A.B. y experimental.....	26
Figura 10. Modelado de las isothermas de sorción de YHT con los modelos de B.E.T., G.A.B. y experimental.....	26
Figura 11. Determinación del contenido de humedad límite en función de la a_w segura.....	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química, mineral y vitamina C de dos variedades de papa nativa.....	5
Tabla 2. Formulación para la elaboración de papilla para niños de 6 a 36 meses...	8
Tabla 3. Dosificación de vitaminas para 100 g de producto seco.....	8
Tabla 4. Abertura de malla y tamaño promedio de los tamices utilizados en la caracterización granulométrica de las papillas.....	10
Tabla 5. Sales utilizadas como factor higroscópico.....	11
Tabla 6. Ecuaciones a utilizar para el modelado de las isotermas de adsorción.....	12
Tabla 7. Valores constantes usados para la estimación de la vida útil.....	13
Tabla 8. Factores de estudio.....	14
Tabla 9. Tratamientos de estudio.....	14
Tabla 10. Correlación de las muestras para la formulación de papillas.....	14
Tabla 11. Porcentaje de muestra retenida en los tamices utilizados en el análisis granulométrico de las papillas.....	17
Tabla 12. Fracción en peso de muestra retenida en los tamices utilizados en el análisis granulométrico de las papillas.....	17
Tabla 13. Porcentaje de Humedad y actividad de agua de las muestras de papilla utilizadas para el estudio de isotermas.....	18
Tabla 14. Fracción en peso de la humedad en equilibrio de las muestras de papilla en las cámaras de estudio.....	19
Tabla 15. Constantes obtenidas por el modelo de BET y GAB para las cuatro formulaciones de papilla a base de papa nativa y fruta.....	28
Tabla 16. Parámetros obtenidos de las isotermas de sorción experimentales para la estimación de la vida útil de papilla de bebe usando la ecuación de Heiss & Eichner	30
Tabla 17. Estimación del tiempo de vida útil de papilla de bebe a diferente contenido de humedad inicial.....	31

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Tamaño de la muestra	9
Ecuación 2. Humedad de equilibrio.....	11
Ecuación 3. Brunauer, Emmett y Teller (BET).....	12
Ecuación 4. Brunauer, Emmett y Teller (BET) linealizada	12
Ecuación 5. Van den Berg & Bruin (GAB).....	12
Ecuación 6. Van den Berg & Bruin (GAB) linealizada	12
Ecuación 7. Error medio relativo.....	12
Ecuación 8. Modelo de Heiss & Eichner	13

ÍNDICE DE ANEXOS

A. FOTOGRAFÍAS DE LA INVESTIGACIÓN

Figura A1. Esquema del proceso a nivel industrial.....	43
Figura A2. Esquema del molino de martillo.....	44
Figura A3. Secado de papilla de taxo en el secador de tambor semi-industrial.....	44
Figura A4. Equipo AQUALAB usado para la determinación de a_w	45
Figura A5. Cámara hermética para cada ambiente de almacenamiento.....	45
Figura A6. Papilla deshidratada en polvo en la cámara con a_w determinada.....	46
Figura A7. Cámara herméticamente cerrada en tiempo 0.....	46
Figura A8. Pesaje de las muestras en una balanza analítica.....	46

RESUMEN

La influencia de las condiciones adversas del medio ambiente son múltiples y en el caso de papillas para bebés debe ser minimizada al máximo. En el presente trabajo se correlacionó la actividad de agua y el contenido de humedad a temperatura constante de $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$, utilizando el método gravimétrico de soluciones saturadas de sal para obtener isotermas de adsorción de cuatro formulaciones de papilla en las que se varió la variedad de papa (*Solanum tuberosum ssp.*) Santa Rosa y Yema de Huevo y pulpa de mora (*Rubus glaucus*) y taxo (*Passiflora tripartita*). Los datos experimentales se modelaron utilizando las ecuaciones de BET y GAB obteniendo isotermas de forma sigmoidea tipo II. Los valores de humedad de monocapa (w_0) encontrados están en el rango de 0,042 a 0,048 $\text{g}_{\text{agua}}/\text{g}_{\text{m.s.}}$, la constante relacionada con el calor de sorción en la monocapa (C) está en el rango de 15,041 a 34,249, el calor de sorción de las multicapas (K) se encuentra en el rango 0,93 a 1,02. Los valores críticos de humedad de almacenamiento fueron de 0,13 ($\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{materia seca}}$) para las formulaciones SRM y YHM, 0,14 para YHT y de 0,15 ($\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{materia seca}}$) para SRT, mientras que la humedad óptima de almacenamiento está en el rango de 0,040 a 0,042 ($\text{g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{materia seca}}$) que corresponde a a_w de 0,2 para las cuatro formulaciones. El tiempo de vida útil teórico a condiciones determinadas fue superior a 365 días para todos los tratamientos. Además, se determinó la humedad de la muestra, humedad en equilibrio, actividad de agua y granulometría.

Palabras clave: conservación de alimentos, alimentación infantil, papillas, papas nativas ecuatorianas, isotermas de adsorción.

ABSTRACT

The influence of adverse environmental conditions are multiple and in the case of baby foods which are dehydrated composite foods should be minimized to the maximum. In the present work, water activity and moisture content at a constant temperature of $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ were correlated using the gravimetric method of saturated salt solutions to obtain an adsorption isotherm for the four formulations in which the variety of potato (*Solanum tuberosum* ssp.) Santa Rosa and Yema de Huevo and Andes berry pulp (*Rubus glaucus*) and softleaf (*Passiflora tripartite*) were varied. The experimental data were modeled using the BET and GAB equations obtaining sigmoid isotherms, type II for all treatments. The moisture values in the monolayer (w_0) are in the range of 0,042 to 0,048 $\text{g}_{\text{water}} / \text{g}_{\text{ms}}$. The value of the heat-related constant of sorption in the monolayer (C) is in the range of 15,041 to 34,249. The value of the heat-related constant of the multi-layer sorption (K) is in the range of 0,93 to 1,02. The critical storage moisture values were 0,13 ($\text{g}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{g}_{\text{dry matter}}$) for the SRM and YHM formulations, 0,14 ($\text{g}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{g}_{\text{dry matter}}$) for YHT and 0,15 ($\text{g}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{g}_{\text{dry matter}}$)SRT at a temperature of $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$, while the optimum storage humidity is in the range of 0.040 to 0.042 ($\text{g}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{g}_{\text{dry matter}}$) corresponding to a_w of 0,2 for the four formulations. The theoretical shelf life at determined conditions was higher than 365 days for all treatments, being superior for SRT and YHT formulations. In addition, sample moisture, equilibrium moisture, water activity and granulometry were determined.

Keywords: food preservation, infant feeding, porridge, native potatoes Ecuadorian , adsorption isotherms.

INTRODUCCIÓN

La nutrición juega un rol fundamental en el desarrollo del ser humano desde el momento mismo de la concepción. Los estudios realizados en el ciclo de vida confirman que existen déficits o excesos de nutrientes que influyen negativamente en el desarrollo óptimo del ser (**Martorell et al., 1994; Owen, 2006**). Las malas prácticas tanto en la lactancia materna como en la alimentación complementaria son uno de los problemas que afecta a la población (**Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2013**).

Combatir la desnutrición infantil es una de las principales acciones del Gobierno Nacional, especialmente aquella desnutrición que afecta a niños y niñas menores de 5 años (**Ministerio de Educación de Ecuador, 2013**). La **Organización Mundial de la Salud (2003)**, recomienda la introducción de la alimentación complementaria a partir de los 6 meses con la finalidad de asegurar que el niño reciba una alimentación adecuada y garantizar el beneficio máximo a nivel nutricional y de salud en la infancia (**Howie, 1990; Lázaro, 2001; Owen, 2005**). Esta fase es de gran vulnerabilidad porque los niños se encuentran en un mayor riesgo de desnutrición e infección cuando los alimentos complementarios ofrecidos son de baja calidad nutricional y son administrados antes o después de lo recomendado, en cantidades muy pequeñas o poco frecuentes (**OMS, 2017**). Es por esta razón que se hace necesario proponer una adecuada introducción y aporte de alimentos complementarios junto con la leche materna, que contribuya a formar un patrón de alimentación saludable en los niños menores de 3 años.

Según los gustos y preferencias de la población infantil las papillas constituyen un alimento ideal para niños de corta edad (**Álvarez, Sern & Villada, 2012**). La papilla deshidratada es un alimento de reconstitución instantánea cuya digestibilidad es más elevada que el alimento crudo (**Alvarado, 2004**); sin embargo, el desarrollo de la formulación es crítica porque el alimento para infantes debe suplir la cantidad de energía que necesita el niño de corta edad, en este sentido la papa nativa, los cereales precocidos y la pulpa de fruta ofrecen una alternativa interesante en nutrientes (**Monteros, Yumisaca, Andrade-Piedra & Reinoso, 2010; INIAP, 2014**).

La disminución de la humedad de los alimentos es uno de los métodos más antiguos utilizados para su conservación, al reducir el contenido de agua hasta un nivel muy bajo se elimina la posibilidad de su deterioro biológico y se reducen apreciablemente las velocidades de los mecanismos de deterioro; además del efecto conservante, mediante la deshidratación se reducen el peso y el volumen del alimento, aumentando la eficacia de los procesos de transporte y almacenaje (**Heldman & Sing, 1998**). Una vez deshidratado el alimento, su buena conservación pasa por un almacenamiento al abrigo de la humedad, del oxígeno del aire y de la luz, que afecta a los pigmentos y cataliza las reacciones (**Casp & Abril, 2003; Peng, Chen, Wu & Jiang, 2007; Szulc & Lenart, 2012**).

En la estabilidad de los alimentos la actividad de agua y el contenido de humedad son parámetros importantes, ya que al estar expuestos a la humedad relativa del medio puede ganar o perder humedad hasta llegar al equilibrio, este movimiento de agua es identificado con el término de sorción, y si el proceso es conducido a temperatura constante se establece la isoterma de sorción de humedad (**Bell & Labuza, 2000; Ronkart et al., 2006**) y gráficamente corresponden a la humedad en equilibrio en función de la actividad de agua a una temperatura determinada.

El conocimiento de los datos de sorción es importante por muchos aspectos relacionados con la tecnología de alimentos, como predicción de la estabilidad microbiológica, enzimática y química (**Chun et al., 2015**), selección de los materiales de empaque (**Ikhu – Omoregbe & Chen, 2005; Zhang et al., 1996**), diseño de procesos de secado y concentración (**Soteris et al., 2013**), así como la elección de las condiciones adecuadas de almacenamiento (**Chuzel & Zakhia, 1991; Szulc & Lenart, 2012**).

Las isotermas de sorción de agua son herramientas termodinámicas importantes para predecir las interacciones entre el agua y los componentes de los alimentos (**Badui, 2013; Labuza, 1984; Myara, Taylor & AL-Bulushi, 1996**), y es específica para cada alimento (**Mossel, Moreno & Struijk, 2003**). En el campo de la ingeniería en alimentos diferentes modelos han sido usados para describir la sorción de agua (**Furmaniak et al., 2009**), estos modelos son necesarios para predecir el contenido de humedad a una actividad de agua dada y para evaluar las funciones termodinámicas del agua en los alimentos. Los modelos más comunes son los de BET y GAB (**AQUALAB, 2012**), estos modelos describen la forma en que el agua está

asociada en la matriz del alimento, por diferentes mecanismos en diferentes regiones de actividad de agua (**Labuza, 1975**)

El modelo de BET (Brunauer, Emmett y Teller) constituye el modelo básico de la fisisorción (**Martinez et al., 2011**), mientras que el modelo de GAB (de Guggenheim – Anderson-DeBoer) es uno de los más utilizados para el ajuste de datos de actividad de agua. Es un modelo cinético que se basa en el estudio de una multicapa y de una película condensada (**Heldman & Sing, 1998; Peng et al., 2007**), este modelo es considerado el más versátil dentro de la literatura y fue adoptado por el grupo European Food Researches COST 90 (**Bizot, 1983**).

En tal sentido el estudio de las isotermas de sorción proporciona información importante sobre la humedad de equilibrio de las papillas de bebé y los diferentes aspectos relacionados con las isotermas de sorción de humedad que favorecen la estabilidad del producto, así como su comportamiento en condiciones de almacenamiento.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1. 1. Tema

Estudio de las condiciones óptimas de almacenamiento de 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*).

1.2. Justificación

Desde que se creó la vida en el planeta hasta la actualidad, la adecuada alimentación de los niños de corta edad ha sido un tema principal y de mucho interés tanto para las familias como para los científicos y los gobernantes, por razones nutricionales y energéticas básicamente. De aquí que, en países donde hay pobreza es indispensable que existan programas de alimentación para evitar deficiencias nutricionales en la población (**Álvarez, Serna & Villada, 2012; Vargas & Salas, 2012**).

La alimentación es uno de los principales determinantes del estado de salud del ser humano. Es fundamental una alimentación adecuada a lo largo de toda la vida, pero durante la infancia adquiere particular importancia, pues las carencias y los desequilibrios nutricionales en esta etapa pueden tener consecuencias negativas no solo sobre la salud del propio niño, sino que pueden condicionar su salud cuando sea adulto (**Dalmau et al., 2015; Rossin-Slater, 2015; Smithers et al., 2012**).

Según la **OMS (2003)** más de la mitad de las muertes de niños es causada por malnutrición, enfermedad provocada por la depleción de nutrientes, misma que se asocia con el incremento de la morbi-mortalidad. La desnutrición en Ecuador es mayor en los dos primeros años de vida (**Chavez, 2007**). Entre las principales causas de la malnutrición están: la dificultad de acceder a alimentos fuentes de micronutrientes por su alto costo, y el nivel de escolaridad por parte de los adultos encargados del cuidado de este grupo poblacional (**Álvarez, Serna, Villada & López, 2012; OMS, 2015**). Por lo tanto entidades gubernamentales e industrias de alimentos han diseñado estrategias para combatir dicho problema.

Las papillas para bebé tienen un lugar especial entre los productos alimenticios, principalmente debido al contenido nutricional y los métodos de preparación (**Nasirpour, Scher & Desobry, 2006**). Sin embargo, el suplemento debe cumplir con una serie de propiedades fisicoquímicas que permitan la facilidad de su uso, su estabilidad y durabilidad por un periodo suficiente desde que se produce hasta que se consume (**Rosado et al., 1999**). Muchos parámetros afectan la calidad nutricional y las propiedades físico químicas de los alimentos infantiles; sin embargo, la humedad relativa, la temperatura de almacenamiento y el oxígeno son los parámetros más importantes (**Nasirpour et al., 2006**). Un contenido relativamente bajo de agua y la higroscopicidad son importantes características de los alimentos en polvo, ya que los productos con estructura porosa, productos muy fragmentados, y todas las sustancias secas son higroscópicos en entornos de humedad relativa baja y media, lo que causa rigidez y apelmazamiento del producto. Aparte de su influencia en las propiedades físicas, el contenido de agua de los alimentos en polvo desempeña un papel importante en el mantenimiento de la estabilidad de estos productos. Las consecuencias directas de los cambios en el contenido de humedad incluyen problemas en la compra y venta, así como dificultades en transporte, embalaje y almacenamiento, por lo que es un factor de importancia económica (**Nasirpour et al., 2006; Szulc & Lenart, 2012; Trejo, 2010; Troygot, Saguy, & Wallach, 2011**).

La sensibilidad a la humedad de los productos alimenticios secos, así como su higroscopicidad se puede determinar por medio de la cinética de sorción (**Szulc & Lenart, 2012**). Cada producto alimenticio se caracteriza por su contenido crítico de humedad. Si el contenido de humedad disminuye por debajo de este valor, hay una pérdida de masa de producto, endurecimiento y un aumento en la susceptibilidad del producto a la oxidación, por encima de este valor límite puede ocurrir cambios en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas, lo que a su vez tendrá una influencia directa en la calidad y seguridad de los productos (**Kim, Song & Yam, 1991; Yazdanpanah & Langrish, 2011**).

Bajo este contexto es necesario estudiar las condiciones óptimas de almacenamiento mediante la comprensión de las isotermas de sorción de la papilla para garantizar su estabilidad desde la producción hasta su consumo.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Determinar las condiciones óptimas de almacenamiento de 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*).

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar granulométricamente la papilla en polvo que se utilizará para el estudio de las isothermas de sorción.
- Construir isothermas de adsorción de agua de papilla para niños utilizando seis soluciones salinas saturadas como factores higroscópicos.
- Correlacionar los datos experimentales con dos modelos de ecuaciones referenciales de GAB (Guggenheim -Anderson - de Boer) y BET (Brunauer – Emmet -Teller).
- Establecer la humedad óptima de almacenamiento y el contenido crítico de humedad utilizando los parámetros obtenidos de los modelos de GAB y BET.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos

Una papilla es un alimento con un alto contenido calórico, con macro y micronutrientes que suele ser fuente de alimentación de niños de corta edad (6 meses – 3 años). Las papillas en polvo instantáneas son formulaciones de mezclas, por lo que suelen considerarse polvos de composición múltiple (**Ostrowska et al., 2014**), las cuales al ser diluidas en agua hervida se rehidratan instantáneamente (**Vargas, 2001**). Antes de considerar los ingredientes y la composición de este tipo de alimentos, se deben definir una serie de características obligatorias, como: deben aportar los nutrimentos que son deficientes en la población de consumo y las cantidades que se recomiendan para una dieta adecuada; los ingredientes deben ser de fácil adquisición y de bajo costo; el proceso debe ser lo más sencillo y de menor costo posible; el sabor debe ser agradable; la presentación final debe ser práctica para facilitar su distribución y consumo y, finalmente el empaque debe permitir la conservación adecuada del producto por un lapso razonable (**Rosado et al., 1999**).

Por otra parte, la formulación es un aspecto fundamental en este tipo de alimentos, por este motivo la utilización de papas nativas (variedades Yema de huevo y Santa rosa) constituye el eje fundamental de la formulación, debido a que son la fuente energética y otorgan al producto características organolépticas de sabor y textura únicos por: la calidad y cantidad de almidones que poseen, el elevado contenido de carotenoides, flavonoides y antocianinas, el alto contenido de potasio, hierro y zinc, que las hacen únicas en el mundo (Tabla 1) (**INIAP, 2015a; INIAP, 2015b; Monteros et al., 2010; Monteros, Cuesta, Jiménez & López, 2005**). Estudios sobre la caracterización nutricional y funcional señalan que los antioxidantes presentes en estas variedades tienen efectos altamente positivos para la salud, pues combaten los radicales libres que ocasionan enfermedades degenerativas como cáncer, presión alta y colesterol. En Ecuador, INIAP ha colectado alrededor de 350 cultivares de papa nativa en todo el país (**Monteros et al., 2010**); sin embargo, su uso a escala industrial es reducido, por lo que la investigación pretende crear una oportunidad de mercado para estos cultivos, además de contribuir a la conservación de la biodiversidad (**INIAP, 2015c**).

Por otro lado, la incorporación de jugo de taxo (*Passiflora tripartita*) y mora (*Rubus glaucus*) frutas propias de la zona, aporta una coloración natural intensa al producto a más del sabor y nutrientes, ya que poseen un alto contenido de componentes bioactivos (INIAP, 2014).

Tabla 1. Composición química, mineral y vitamina C de dos variedades de papa nativa

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
Yema de huevo	3,1	0,3	6,4	86,2	1765	4,6	1,3	15,3
Santa rosa	4,2	0,5	10,6	80,2	1930	10,7	1,3	14,8

Fuente: Quilca, 2008 citado por **Monteros et al., 2010**

Si bien la formulación es el eje fundamental del alimento, tiene semejante importancia las condiciones de almacenamiento. En este aspecto, el estudio de los procesos de adsorción en el campo de los alimentos sirve para diversos propósitos, por ejemplo: aporta información valiosa sobre la vida de anaquel (mediante la determinación del contenido de humedad que garantiza la estabilidad del producto), constituye una parte esencial del control del proceso de secado (proporcionando información útil para el diseño de equipos) y para el estudio de la cinética del proceso (Ostrowska-Ligeza et al., 2014); además, son importantes herramientas termodinámicas para predecir las interacciones entre los componentes, ya que describen la relación entre el contenido de humedad y la actividad de agua (a_w) en el equilibrio a temperatura y presión constante (Bell & Labuza, 2000; Labuza, 1982; Ostrowska-Ligeza et al., 2014).

Las propiedades físicas y químicas del agua determinan en buena medida las propias características de cada alimento. Por ejemplo, conocer la actividad acuosa es de gran utilidad en alimentos, ya que se relaciona con aspectos como la ganancia o pérdida de humedad, el crecimiento de microorganismos, cinética de reacciones deteriorativas de los nutrientes, cambios en sabor, aroma y textura, funciones fisiológicas, estabilidad y conservación en general (Alvarado & Aguilera, 2001). Por otra parte, la sorción de vapor de agua que ocurre en la superficie de un alimento puede ser física o química, y el agua absorbida puede estar en una o más capas. En este sentido, las isotermas de sorción permiten la interpretación de los efectos físicos que tienen lugar en las superficies de los productos con los que las sustancias gaseosas están en contacto (Medeiros et al., 2006)

Una revisión hecha por **Brunauer et al. (1940)**, llevó a establecer cinco tipos de isothermas. Los tipos II y III son los más frecuentes en alimentos no porosos. El tamaño de partícula, la variedad, la composición, las condiciones de procesado, etc., son aspectos relacionados con el propio material que pueden afectar las isothermas de sorción (**Martínez et al., 2011**).

Más de 200 ecuaciones de isothermas han sido propuestas para materiales biológicos. Brunauer, Emmett y Teller (BET), basados en el modelo cinético de Lagmuir, desarrollaron una ecuación útil para un gran número de alimentos con baja a_w (0,05 – 0,45). Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB), desarrollaron un modelo semiempírico con tres parámetros para la adsorción de materiales considerando la presencia de multicapas; este modelo se ajusta adecuadamente en el intervalo completo de a_w para muchos alimentos (**Alvarado & Aguilera, 2001; Martínez et al., 2011**)

Estudios actuales demuestran la utilidad de las isothermas para predecir las condiciones óptimas de almacenamiento. **Ostrowska et al. (2014)**, estudiaron la influencia de las condiciones adversas del medio en fórmulas para bebés. **Szulc & Lenart (2012)**, analizaron las características de sorción de alimentos para bebés en forma de polvo y aglomerados. Por otro lado **Prieto et al. (2012)**, aplicó el modelo de GAB para evaluar isothermas de adsorción en tres variedades de cereales para desayuno y correlacionó con otros modelos matemáticos. Varios autores reportan la utilidad de la obtención de isothermas y el ajuste a diferentes modelos matemáticos de alimentos en polvo (**Vega et al., 2006; Soteras et al., 2013**) y deshidratados (**Acurio et al., 2013; Casa, 2013; García, Schmalko & Tanzariello, 2007**).

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis nula (H₀)

La variedad de papa y la pulpa de fruta, utilizadas en la formulación de la papilla, no influyen en las condiciones óptimas de almacenamiento del producto.

2.2.2 Hipótesis alternativa (H_a)

La variedad de papa y la pulpa de fruta, utilizadas en la formulación de la papilla, influyen en las condiciones óptimas de almacenamiento del producto.

2.3. Señalamiento de variables de la hipótesis

2.3.1. Variable independiente

- Variedad de papa (*Solanum tuberosum ssp.*) Yema de huevo.
Santa rosa.
- Pulpa de fruta. Mora (*Rubus glaucus*).
Taxo (*Passiflora tripartita*).

2.3.2. Variable dependiente

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

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Formulación

La formulación se planteó según las normas **CODEX STAN 074 – 1981, Rev. 1 – 2006** y **CODEX STAN 073-1981** (Tabla 2 y 3).

Tabla 2. Formulación para la elaboración de papilla para niños de 6 a 36 meses

Materia prima	Cantidad (g)	Porcentaje (%)
Papa Santa rosa / Yema de huevo	300	38,61
Harina de arroz	100	12,87
Harina de maíz	50	6,44
Pulpa de mora/taxo	300	38,61
Stevia líquida	2	0,26
Yema de huevo	25	3,22
Total	777	100,00

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

Tabla 3. Dosificación de vitaminas para 100 g de producto seco

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

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

3.2 Proceso de elaboración

3.2.1 Precocción

Los ingredientes de la formulación (Tabla 2) se sometieron a cocción para conseguir un óptimo grado de pre – gelatinización (**Andritz, 2015**), luego se licuaron por separado utilizando una licuadora industrial y se mezclaron agitando vigorosamente para conseguir una mezcla homogénea.

3.2.2 Deshidratación

La mezcla se colocó en un deshidratador de tambor, este método de secado indirecto y en continuo, permite cortos periodos de exposición al calor, evaporándose todo el líquido durante un único giro de tambor. Como resultado, el riesgo de daños en el producto queda prácticamente eliminado, a la vez que se mantienen las propiedades como sabor, olor, textura, etc. (Andritz, 2015). El requisito fundamental para una buena alimentación estribó en la obtención de un lecho de espesor y profundidad uniforme, ya que las capas demasiado finas sufren sobrecalentamiento y las demasiado gruesas no se secan completamente.

3.2.3 Molienda

El producto sale del secador en forma de película, e inmediatamente pasó a un molino para reducir el tamaño de partícula (Andritz, 2015), y se almacenó en frascos de 250 g.

3.3 Tamaño de la muestra

Se tomó una muestra representativa (tamaño “n”), calculada a partir de la ecuación (1), de tres frascos del mismo lote y fecha de fabricación. Por técnica de cuarteo se tomaron las fracciones de tamaños de muestras requeridos para los ensayos (Prieto et al., 2012).

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

Donde: **n** es el tamaño de la muestra a tomar (g); **N** es el tamaño de la población (g); **p** y **q** son 0,5 (factores de probabilidad de muestra representativa); **Z** es 1,960 (valor estadístico para un 90% de nivel de confiabilidad), y **e** es 0,30 (nivel de error de estimación).

3.4 Granulometría

Se utilizó el método de tamizado, por ser el más eficiente, con un set de cuatro tamices (número de aberturas por pulgada lineal: 20, 40, 60 y 80) (Tabla 4). La muestra se colocó en la parte superior de los tamices apilado. El sistema se sometió a agitación y se determinó el porcentaje de muestra retenida en cada tamiz (Alvarado & Aguilera, 2001). El tamaño de partícula se calculó como el promedio de la abertura entre dos mallas consecutivas.

Tabla 4. Abertura de malla y tamaño promedio de los tamices utilizados en la caracterización granulométrica de las papillas.

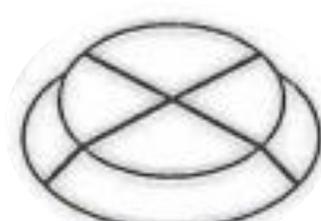
Tamiz	20	40	60	80
<i>Abertura de malla (μm)</i>	850	425	250	180
<i>Tamaño promedio (μm)</i>	637,5	337,5	215	90

Fuente: Alvarado & Aguilera, (2001).

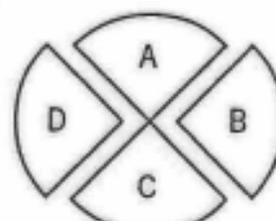
La muestra se obtuvo por técnica de cuarteo de laboratorio, para ello se vertió la muestra sobre un trozo de plástico haciendo un cono, se aplanó la parte superior del cono, con la ayuda de una espátula se dividió la muestra en cuatro partes separándolas bien entre sí, se recogió las dos porciones situadas en cuadrantes opuestos (A+C; D+B) para obtener dos fracciones de muestra inicial.



Mezclar y formar un cono con la muestra



Alisar el cono y separarlo en cuatro partes iguales



Seleccionar dos montones A+C; B+D

Figura 1. Técnica de cuarteo de laboratorio para análisis granulométrico de alimentos en polvo (Romero, 2012).

3.5. Contenido de humedad

La determinación de humedad de las muestras en tiempo cero de almacenamiento se realizó por el método de la balanza infrarroja de acuerdo a la metodología descrita por la AOAC (1990).

3.6. Actividad de agua

La actividad de agua de las muestras se determinó en el tiempo cero de almacenamiento, mediante un hidrómetro eléctrico Aqualab 4 TE Dew Point Water Activity Meter, el equipo fue calibrado previamente utilizando agua destilada.

3.7. Obtención de isotermas de adsorción

Se empleó el método gravimétrico estático propuesto por **Spiess & Wolf (1987)** y **Wolf et al. (1985)**. Recipientes con 2 g de muestra se colocaron en depósitos herméticos con humedad relativa controlada (entre 11 y 80% mediante el uso de sales sobresaturadas – Tabla 5) a 20°C \pm 3°C. Las sales actuaron como factores higroscópicos, cediendo o retirando humedad al ambiente hasta alcanzar el estado de equilibrio másico (humedad relativa constante) (**Acurio et al., 2013; Gonzáles et al., 2014**). Las muestras se pesaron periódicamente en una balanza analítica de precisión 0,0001g (OAHUS, USA) a partir de las 24 horas hasta llegar a peso constante ($\Delta P = \pm 0,0005$ g), condición que corresponde al equilibrio de la muestra (**Prieto et al., 2012; Spiess & Wolf, 1983**). En las cámaras con sales con actividad de agua superior a 0,7 se añadió unas gotas de ácido propiónico para evitar el crecimiento fúngico.

Tabla 5. Sales utilizadas como factor higroscópico.

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: Labuza et al., 1985, citado por Alvarado & Aguilera, 2001.

Las soluciones salinas utilizadas fueron de grado reactivo y el método de preparación fue el mismo que se adoptó en el COST 90 (**Spiess & Wolf, 1987**).

3.8. Cálculo de la humedad de equilibrio

La humedad de equilibrio $w_e = (g_{H_2O}/g_{materia\ seca})$ se calculó por diferencia de peso mediante la ecuación (2).

$$w_{e(b.s)} = \frac{P_0 * w_0 + \Delta P}{P_0 * (1 - w_0)} \quad (2)$$

Donde: w_e es humedad en equilibrio ($g_{H_2O}/g_{materia\ seca}$), P_0 es peso inicial de la muestra, w_0 es humedad inicial de la muestra y ΔP es la variación de peso (equilibrio y peso inicial).

3.9. Modelado de las isotermas de adsorción

Los datos experimentales se ajustaron a dos modelos empleados para caracterizar el fenómeno de sorción de agua en alimentos (Tabla 6) (**Chirife & Iglesias, 1978**).

Tabla 6. Ecuaciones a utilizar para el modelado de las isotermas de adsorción.

Modelo	Ecuación	N° Ec.
Brunauer, Emmett y Teller (BET)	$w_e = \frac{w_0 \times C \times a_w}{(1 - a_w) \times (1 + (C - 1) \times a_w)}$	(3)
	$\frac{a_w}{(1 - a_w) \times w_e} = \frac{1}{w_0 \times C} + \frac{C - 1}{w_0 \times C} \times a_w$	(4)
	Donde: w_e =humedad de equilibrio ($g_{\text{agua}}/g_{\text{sólidos secos}}$), w_0 =humedad en la monocapa ($g_{\text{agua}}/g_{\text{sólidos secos}}$), C =constante relacionada con el calor de sorción	
	<hr/>	
Van den Berg & Bruin (GAB)	$w_e = \frac{w_0 \times C \times K \times a_w}{(1 - (K \times a_w)) \times (1 + (C - 1) \times (K \times a_w))}$	(5)
	$\frac{a_w}{w_e} = \frac{1}{w_0 \times C \times K} + \frac{C - 2}{w_0 \times C} \times a_w + \frac{K \times (1 - C)}{w_0 \times C} \times a_w^2$	(6)
	Donde: w_e =humedad de equilibrio ($g_{\text{agua}}/g_{\text{sólidos secos}}$), w_0 =humedad en la monocapa($g_{\text{agua}}/g_{\text{sólidos secos}}$), C =constante relacionada con el calor de sorción en la monocapa, K = constante relacionada con el calor de sorción en las multicapas	

La calidad de ajuste de los modelos propuestos se evaluó por medio del coeficiente de correlación lineal (r^2), el que debe ser superior a 0,85 para conseguir un buen modelado de los datos experimentales y por el porcentaje de error medio relativo (%E), parámetro estadístico ampliamente utilizado en isotermas de alimentos (**Vega, Lara & Lemus, 2006**).

$$(\%)E = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|X_{ei} - X_{ci}|}{X_{ei}} \quad (7)$$

Donde: X_{ei} es el contenido de humedad experimental ($g_{\text{agua}}/g_{\text{m.s.}}$); X_{ci} es el contenido de humedad calculada a partir de cada modelo ($g_{\text{agua}}/g_{\text{m.s.}}$), y n es el número de observaciones.

3.10 Determinación del tiempo de vida útil teórico

El establecimiento de la isoterma de sorción de un alimento envasado puede ayudar en la estimación de la vida útil para una condición de almacenamiento dada. El modelo de Heiss & Eichner (1971) (Ecu. 8), se puede utilizar para estimar el potencial de tiempo de almacenamiento basado en una a_w crítica, para un sistema particular en condiciones de almacenamiento dado (**Ikhu-Omoregbe & Chen, 2005**).

$$t_s = \frac{\ln[(X_e - X_i)/(X_e - X_c)]}{K_s(A/W_s)(P_o/S)} \quad (8)$$

Donde: K_s es la permeabilidad del envase al vapor de humedad ($kg_{H_2O}/m^2 \cdot Pa \cdot día$); t_s es la vida útil potencial del producto (tiempo en días para que el producto envasado se estropee debido al deterioro microbiano y bioquímico con pérdida de la calidad sensorial); A es la superficie del envase (m^2); w_s es el peso del producto (materia seca, kg); P_o es la presión de vapor a temperatura de almacenamiento; S es la pendiente de la isoterma de los productos entre la humedad crítica y la humedad de equilibrio (el rango lineal), X_e es el contenido de humedad en equilibrio ($kg_{agua}/kg_{base\ seca}$); X_c es el contenido de humedad de almacenamiento seguro ($kg_{agua}/kg_{base\ seca}$); X_i es el contenido de humedad inicial del material cuando fue envasado ($kg_{agua}/kg_{base\ seca}$).

Los valores para el estudio se detallan en la Tabla 7

Tabla 7. Valores constantes usados para la estimación de la vida útil de papilla de bebe usando la ecuación de **Heiss & Eichner, (1971)** citado por **Ikhu-Omoregbe & Chen, (2005)**.

Temperatura ^a	20	°C
HR ^b	80	%
w_s ^c	0,350	Kg
A ^d	0,064	m ²
K_s ^d	1,33×10 ⁻⁶	(kg _{H₂O} /m ² × Pa × día)
P₀ ^e	2336,6	Pa
a_w ^f	0,7	

^a condiciones de estudio; ^b INAMHI, 2017; ^c Nestlé, 2017; ^d Chuzel, 1991; ^e Alvarado, 2013; ^f Barreiro & Sandoval, 2006.

3.11. Diseño experimental

3.11.1. Factores o niveles en estudio para la determinación de las condiciones de almacenamiento de la papilla.

Tabla 8. Factores de estudio.

Factores	Niveles
A. Variedad de papa	a ₀ Yema de huevo a ₁ Santa rosa
B. Jugo de Fruta	b ₀ Mora b ₁ Taxo

3.11.2. Tratamientos

Tabla 9. Tratamientos de estudio

VARIABLE INDEPENDIENTE		VARIABLE DEPENDIENTE		
<i>Factores</i>		<i>Respuestas experimentales</i>		
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>
<i>Variedad de papa</i>	<i>Jugo de fruta</i>			
a ₀	b ₀		Granulometría	
a ₀	b ₁		Parámetros de BET y GAB	
a ₁	b ₀		Humedad en equilibrio	
a ₁	b ₁		Contenido de humedad límite	

Se llevó a cabo tres réplicas (n=3) con tres repeticiones, por lo que se estudiaron 36 respuestas experimentales para cada ambiente de humedad relativa (7 sales saturadas).

3.11.3. Muestras

El resultado de la correlación entre muestras para el desarrollo de las formulaciones se muestra en la Tabla 10:

Tabla 10. Correlación de las muestras para la formulación de papillas.

Muestras	Codificación	Correlación
1	SRM	Papa Santa rosa, pulpa de mora
2	SRT	Papa Santa rosa, pulpa de taxo
3	YHM	Papa Yema de huevo, pulpa de mora
4	YHT	Papa Yema de huevo, pulpa de taxo

3.12. Análisis estadístico

La información se tabuló y analizó mediante la utilización de Excel y el paquete estadístico IfoStat estudiantil versión 2015. Los datos se reportaron como la media de las réplicas con su respectiva desviación estándar. La comparación entre tratamientos se efectuó utilizando el análisis de varianza Anova, y en caso de existir diferencia significativa entre tratamientos se empleó el test de mínimas diferencias significativas (Tukey) con un nivel de confianza del 95%. Además por no conocer la desviación poblacional y trabajar con muestras pequeñas menores que 30 la distribución t de student fue utilizada para comparar parejas de tratamientos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra (n) fue de 10 frascos de papillas de 250 g de cada formulación, con un tamaño de población (N) de 89 frascos de papilla por cada formulación en estudio.

4.2. Granulometría

El objetivo del análisis granulométrico fue la evaluación de la distribución de tamaños de las partículas. Esta característica potencialmente afecta al desarrollo de numerosas operaciones unitarias (Alvarado & Aguilera, 2001; Stanley – Wood, 1983). Las muestras no presentaron uniformidad entre sus partículas. Los resultados de la prueba t para el porcentaje retenido mostró diferencia significativa entre los tratamientos de la misma variedad de papa ($p \leq 0,05$) (Tabla 11). La mayor cantidad de polvo fue retenida en el tamiz 40 lo que significa que el tamaño de partícula predominante en las papillas es de 337,5 μm para las cuatro formulaciones, seguido del tamiz 60 que corresponde a un tamaño promedio de 215 μm . Por ende, según la norma CODEX STAN 73 – 1981, el alimento corresponde a la clasificación de granulado, es decir que el alimento contiene partículas pequeñas, de tamaño bastante uniforme, que no requiere ni incita a la masticación antes de la deglución (Tabla 12). El tamaño de partícula presentó un agregado asimétrico, con superficie desigual por lo que corresponde a un producto de tipo poroso (Triñares, 2010).

Según la clasificación descrita por Romero (2012), para la descripción de polvos, las papillas corresponden al tipo de polvo grueso – moderadamente fino porque el porcentaje de muestra retenida es mayor en los tamices de tamaño de 337,5 y 215 μm . Este tamaño es óptimo porque un tamaño inferior a 63 μm aumenta significativamente la superficie específica de las partículas, aumentando por tanto la adhesión entre ellas y formando aglomerados de partículas que dificultarían otras propiedades tales como la capacidad de flujo o la disolución de la papilla en la reconstitución.

Según la clasificación descrita por **Tscheuschner (2001)**, la formulación de papilla corresponde a un sistema disperso complejo formado especialmente por macromoléculas de proteína, pequeñas burbujas de aire, macromoléculas de almidón; esta información en la tecnología de los alimentos reviste especial importancia para entender los procesos de formación y modificación de estructuras.

Tabla 11. Porcentaje de muestra retenida en los tamices utilizados en el análisis granulométrico de las papillas.

Tratamiento	Tamiz				Plato
	20	40	60	80	
<i>SRM</i>	0,05 ^a	49,89 ^a	39,84 ^a	4,96 ^a	5,26 ^a
<i>SRT</i>	0,06 ^a	47,93 ^b	36,74 ^b	6,96 ^b	8,31 ^b
<i>YHM</i>	0,08 ^a	50,18 ^a	41,35 ^a	3,96 ^a	4,43 ^a
<i>YHT</i>	0,05 ^a	45,32 ^b	34,56 ^b	9,96 ^b	10,11 ^b

Medias de los porcentajes de polvo retenido en cada tamiz. Medias con letra diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

Tabla 12. Fracción en peso de muestra retenida en los tamices utilizados en el análisis granulométrico de las papillas.

Tamaño promedio (μm)	Fracción en peso			
	<i>SRM</i>	<i>SRT</i>	<i>YHM</i>	<i>YHT</i>
637,5	0,0005	0,0006	0,0008	0,0005
337,5	0,4989	0,4793	0,5018	0,4532
215,0	0,3984	0,3674	0,4135	0,3456
90,0	0,0496	0,0696	0,0396	0,0996

Medias de la fracción en peso de polvo retenido en cada tamiz

4.3. Contenido de humedad y actividad de agua

En las cuatro formulaciones de papilla deshidratada se determinó la proporción de agua en forma cuantitativa, es decir la proporción de agua contenida en el producto (%H); y cualitativa, es decir, el agua disponible en el producto (a_w), este valor es un dato esencial en el campo agroalimentario, porque condiciona la intensidad de las reacciones enzimáticas, químicas y el desarrollo microbiano (**Dauvillier, 2000**). En la Tabla 13 se observa los valores promedio del % de humedad y a_w para las formulaciones estudiadas.

El análisis estadístico muestra que la humedad de las cuatro formulaciones de papilla no son estadísticamente diferentes ($p>0,05$), mientras que los valores de a_w son estadísticamente diferentes al mismo nivel de confianza. Los valores de humedad del producto están por debajo del contenido de “agua de alarma” que **Jay (2002)** reportó para leche en polvo (8%) y harina de trigo (13 al 15%), e indica que valores inferiores o iguales a estos porcentajes garantizan la estabilidad de almacén de los alimentos desecados, por lo que las papillas al tener valores inferiores al 7% tendrán estabilidad durante el almacenamiento. Este valor de humedad se encuentra dentro del rango de humedad de productos a base de cereales, con características similares al producto en estudio (**Mossel, Moreno & Struijk, 2003**).

El agua es posiblemente el factor individual que más influye en las propiedades físico químicas y vida útil de los alimentos, se ha demostrado que productos con el mismo contenido de agua se alteran de forma diferente. Por lo que se deduce que la cantidad de agua no es por si sola una herramienta útil, de este hecho surge el concepto de actividad de agua que es la fracción del contenido de humedad total que está libre, y que en consecuencia está disponible para el crecimiento de microorganismos (**Vega, 2005; Viades, 2014**), y para que se produzcan diversas reacciones químicas que afectan su estabilidad (**LabFerrer, 2001**).

La a_w obtenida luego del proceso de deshidratación está en el rango de 0,42 a 0,48 para las papillas elaboradas con la variedad de papa Santa rosa, y entre 0,50 a 0,52 para las papillas elaboradas con la variedad de papa Yema de huevo. Esto significa que en el caso de las papilla en cuya formulación se utilizó papa Santa rosa hay menos agua libre, indistintamente del tipo de fruta, lo cual lleva a la relación que los tratamientos SRM y SRT serán más susceptibles a la contaminación microbológica y a los cambios fisicoquímicos, sin embargo según **Jay (2002)**, a una a_w de 0,65 crecen muy pocos microorganismos y es muy improbable que los alimentos desecados se alteren durante un tiempo de incluso 2 años.

Tabla 13. Porcentaje de humedad y actividad de agua de las muestras de papilla utilizadas para el estudio de isotermas.

Tratamientos	SRM	SRT	YHM	YHT
Humedad (%) [*]	5,41±0,004 ^a	5,43±0,005 ^a	6,26±0,004 ^a	5,47±0,015 ^a
a_w ^{**}	0,4255±0,001 ^a	0,4856±0,001 ^b	0,5284±0,001 ^c	0,5000±0,001 ^d

Medias con letra común en la misma fila no son significativamente diferentes ($p>0,05$). * Promedio de tres réplicas con tres repeticiones para cada formulación. ** Promedio de tres réplicas con una repetición.

4.4. Humedad en equilibrio

Cuando se parte de un producto seco y se somete a atmósferas de humedad relativa elevadas, se observa una transferencia de masa del gas al sólido hasta llegar a un equilibrio, al repetir este experimento con diferentes humedades, se tienen de nuevo pares de valores que al graficarse crean la isoterma de adsorción (**Badui, 2013**). En la Tabla 14 se registra la fracción en peso de la humedad en equilibrio de las papillas en estudio en las condiciones de a_w reproducidas.

Los datos de la Tabla 14 se obtuvieron utilizando la ecuación 2, y representan los valores experimentales para la modelación de las isotermas de adsorción. Según estos valores el grado de higroscopicidad es similar para los cuatro tratamientos hasta una a_w de 0,6. A partir de este valor se nota diferencia en el grado de higroscopicidad siendo menor en los tratamientos elaborados con mora, lo que posiblemente se debe a la mayor cantidad de sólidos solubles que la mora presenta en su composición (**Barbosa – Cánovas & Vega, 2002**).

Tabla 14. Fracción en peso de la humedad en equilibrio de las muestras de papilla en las cámaras de estudio

a_w cámara	w_e^*			
	<i>SRM</i>	<i>SRT</i>	<i>YHM</i>	<i>YHT</i>
0,11	0,0352±0,003	0,0410±0,002	0,0349±0,004	0,0360±0,004
0,23	0,0421±0,001	0,0452±0,002	0,0440±0,001	0,0416±0,003
0,43	0,0619±0,006	0,0678±0,001	0,0737±0,006	0,0686±0,013
0,58	0,1048±0,004	0,1014±0,007	0,0997±0,005	0,0957±0,002
0,69	0,1286±0,004	0,1446±0,006	0,1276±0,005	0,1375±0,003
0,75	0,1519±0,003	0,1794±0,006	0,1605±0,004	0,1615±0,001
0,81	0,1909±0,012	0,2118±0,007	0,1857±0,011	0,2016±0,007

*Promedio de tres réplicas y tres repeticiones.

4.5. Isotermas de adsorción

La isoterma de adsorción representa la cinética con la que un alimento adsorbe humedad y se hidrata, esta refleja el comportamiento de los deshidratados almacenados en atmósferas húmedas (higroscopicidad) (**Badui, 2013**). La adsorción en sólidos se clasifica en adsorción física (fisisorción) y adsorción química (quimisorción). La línea divisoria entre las dos no siempre es clara.

En la adsorción física, las moléculas de gas se mantienen en la superficie del sólido mediante fuerzas intermoleculares relativamente débiles de Van der Waals. En la quimisorción ocurre una reacción química en la superficie del sólido, y el gas se mantiene en la superficie mediante enlaces químicos relativamente fuertes. En la quimisorción, una vez que una monocapa de gas absorbido cubre la superficie del sólido, no es posible que ocurran reacciones químicas adicionales entre el gas y el sólido. En la adsorción física, una vez que se forma la monocapa, las interacciones intermoleculares entre las moléculas absorbidas en la monocapa y las moléculas en la fase gaseosa provocan la formación de una segunda capa de gas absorbido. Aunque solo se adsorbe químicamente una capa, a veces ocurre la adsorción física de las capas superiores en la parte superior de una monocapa quimisorbida (Levine, 2014).

Las Figuras 2, 3, 4, y 5 constituyen la relación entre la a_w y el contenido de humedad en equilibrio para las formulaciones SRM, SRT, YHM y YHT. Se observa que según la clasificación de Brunnauer, Deming y Teller las isothermas corresponden al Tipo II, por la forma sigmoide que caracteriza a los productos solubles y secos. Las isothermas muestran una forma asintótica conforme la isoterma se acerca a la unidad (Viades, 2014; Heldman & Singh, 1998)

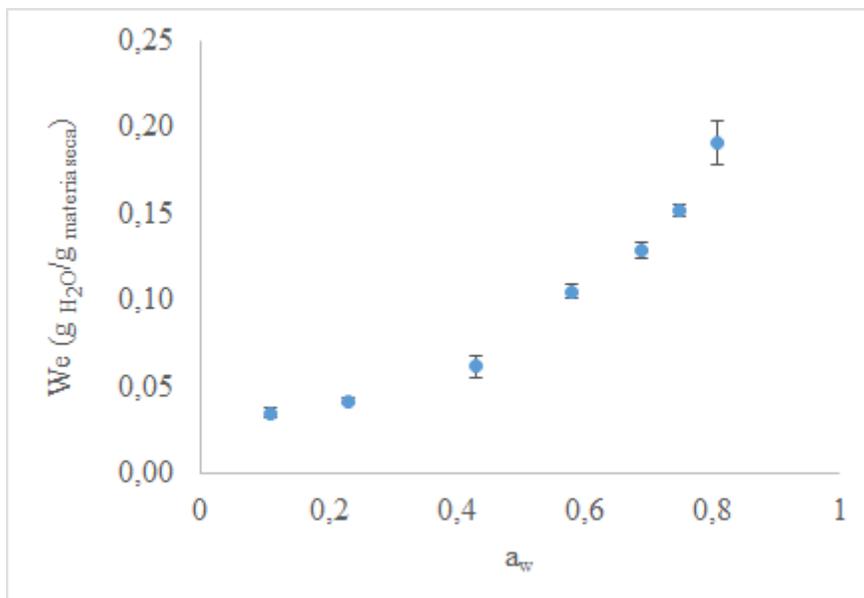


Figura 2. Isotherma de adsorción experimental de la formulación SRM

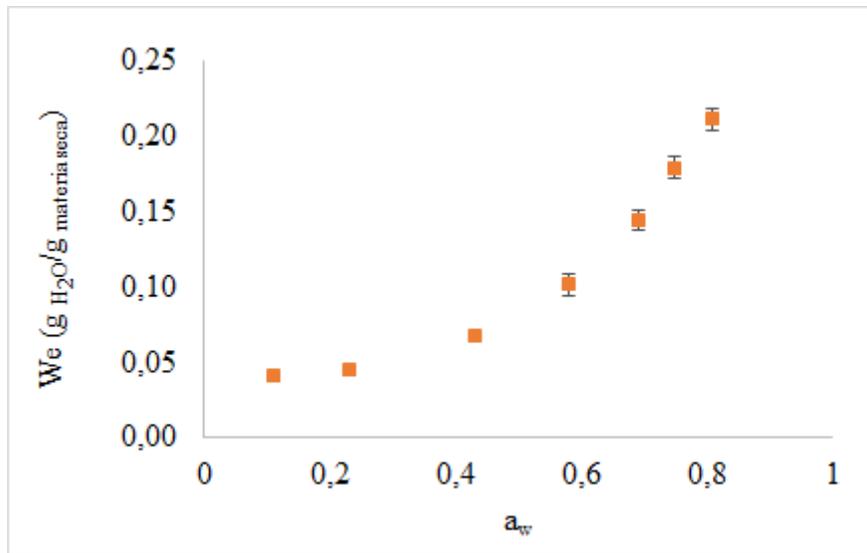


Figura 3. Isotherma de adsorción experimental de la formulación SRT

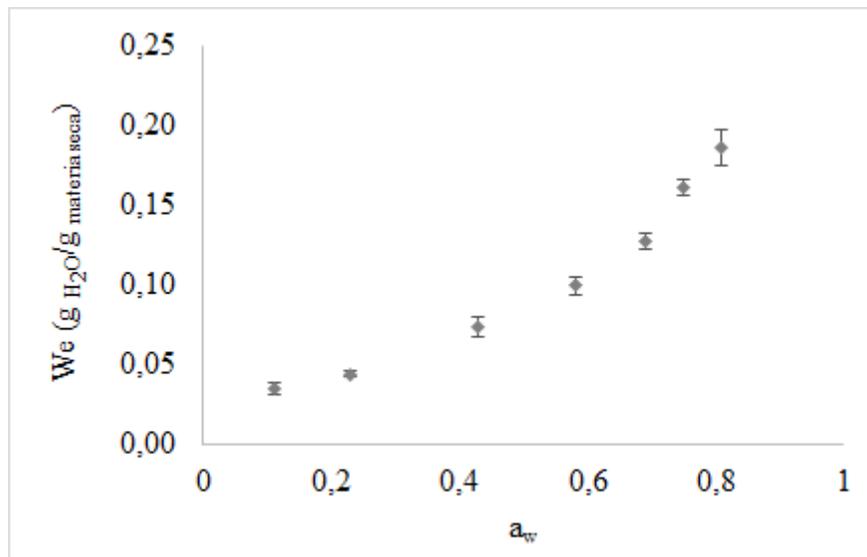


Figura 4. Isotherma de adsorción experimental de la formulación YHM

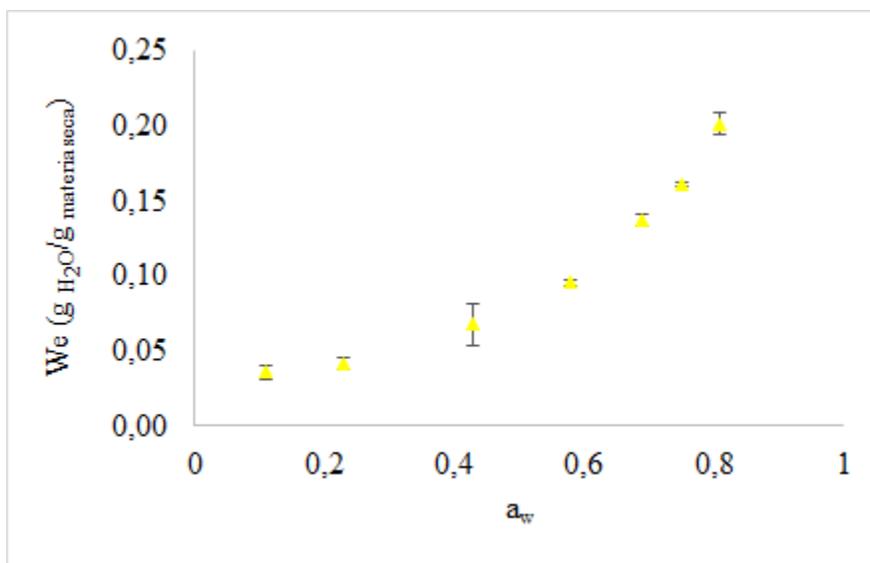


Figura 5. Isoterma de adsorción experimental de la formulación YHT

En la Figura 6 se comparan las isotermas obtenidas experimentalmente para las cuatro formulaciones en estudio y se determina que tienen la misma forma sigmoidea, con un comportamiento similar a valores de $a_w < 0,5$; mientras que a valores de a_w superiores la tendencia higroscópica varía.

Tradicionalmente la isoterma se divide, de forma más o menos arbitraria, en tres partes; dependiendo del efecto que prevalezca en la a_w puede deberse a la sorción pura, condensación capilar o al efecto de soluto. El agua que integra la zona III corresponde a un intervalo de $a_w > 0,6$ que se considera “libre”. En este sentido, tomando en cuenta el valor de actividad de agua de las papillas deshidratadas (Tabla 13) y las isotermas modelas (Figura 6), esta agua corresponde al agua absorbida del ambiente, que llena los macrocapilares del polvo y es la que se liga a sustancias de bajo peso molecular. Precisamente, es esta la única fracción de agua verdaderamente disponible para las reacciones químicas, enzimáticas, etc., y es la zona en la cual se identifican diferencias entre formulaciones, así las formulaciones SRM y YHM son las menos higroscópicas porque la w_e es inferior que en los tratamientos SRT y YHT, especialmente en el intervalo de a_w de 0,7 a 0,89.

Este comportamiento determinado por la pulpa de fruta posiblemente es debido a que la papilla en cuya formulación se utilizó taxo tiene un tamaño de partícula ligeramente inferior (Tabla 11), por lo que se produce un polvo más fino, con más poros y por lo tanto con más

tendencia a la higroscopicidad (**Barbosa – Cánovas & Vega, 2002**). Por otro lado la menor higroscopicidad de las formulaciones SRM y YHM constituye una característica positiva para el producto; sin embargo, a una a_w inferior a 0,6 el comportamiento es semejante para los cuatro tratamientos, y tomando en cuenta que la a_w de estos productos oscila entre 0,4 y 0,6 se determina que las cuatro formulaciones tienen un comportamiento similar. Sin embargo, a a_w de 0,7 existen diferencias en la higroscopicidad, lo cual sirve para posteriormente determinar el % de humedad límite (**Ibarz & Barbosa – Cánovas, 2005**).

La zona II, representa el intervalo de $0,2 < a_w < 0,6$ y es el agua más difícil de quitar. En la Figura 6 esta zona corresponde a la parte central de la curva. Tomando en cuenta los valores de a_w de las papillas (Tabla 13), esta agua se encuentra aún presente después de la deshidratación, es la fracción que junto con la monocapa corresponde al agua ligada dispuesta en diferentes capas más estructuradas y en microcapilares.

El agua que se encuentra bajo forma de capas polimoleculares, que recubren parcialmente la superficie del sustrato seco de la papilla, se encuentra ligada débilmente. En este punto la entalpía de vaporización es ligeramente superior a la del agua pura, y el agua está disponible como disolvente para solutos de bajo peso molecular y para algunas reacciones bioquímicas. En la Figura 6 se observa que existen pequeñas diferencias en los valores de w_e , entre las cuatro formulaciones, debido a que este tipo de agua de constitución puede entenderse como un estado de transición continuo entre el agua ligada y el agua libre.

Por último el agua de la zona I, que se encuentra en el intervalo de $0 < a_w < 0,2$, equivale a la capa monomolecular y es más difícil de eliminar en procesos comerciales de secado; tal es el caso de las papillas en estudio cuya actividad de agua luego del proceso de deshidratación oscila en el rango de a_w de 0,4 a 0,6. En algunos casos se puede reducir parcialmente en la deshidratación, pero esto no es recomendable ya que, además de que se requiere mucha energía y se daña el alimento, su presencia ejerce un efecto protector, sobre todo contra las reacciones de oxidación de lípidos, porque actúa como barrera de oxígeno.

En la zona I actúan fuerzas de Van der Waals muy intensas y las moléculas de agua presentes están muy ligadas a los puntos activos, como los grupos polares de las moléculas o como los puentes de hidrógeno. Las moléculas orgánicas particularmente las macromoléculas polares,

como por ejemplo las proteínas de la papa, del arroz y maíz, estarán más o menos saturadas por una capa monomolecular de agua estrechamente ligada, por lo tanto las moléculas están orientadas, el agua se encuentra entonces en estado rígido, el contenido en humedad representa teóricamente la adsorción de la primera capa de moléculas de agua (**Badui, 2013; Levine, 2014**). En la Figura 6 se observa prácticamente la superposición de los puntos de las cuatro papillas por lo que las diferencias son prácticamente insignificantes.

La transición de valores de a_w entre 0,2 y 0,4 a 0,6 y 0,7 se da como resultado en los cambios de magnitud que van de los efectos físicos a los químicos, como el establecimiento de multicapas y el llenado de los poros pequeños en el polvo de papilla en la región de valores bajos de a_w , seguido por el llenado de los grandes poros y la disolución de solutos en la región de altas a_w (**Chen & Lai, 2008**).

Comportamiento similar se observó en estudios en mezclas de alimentos en polvo (**Szulc & Lenart, 2012**) y fórmulas en polvo para bebé (**Ostrowska – Ligeza et al., 2014**).

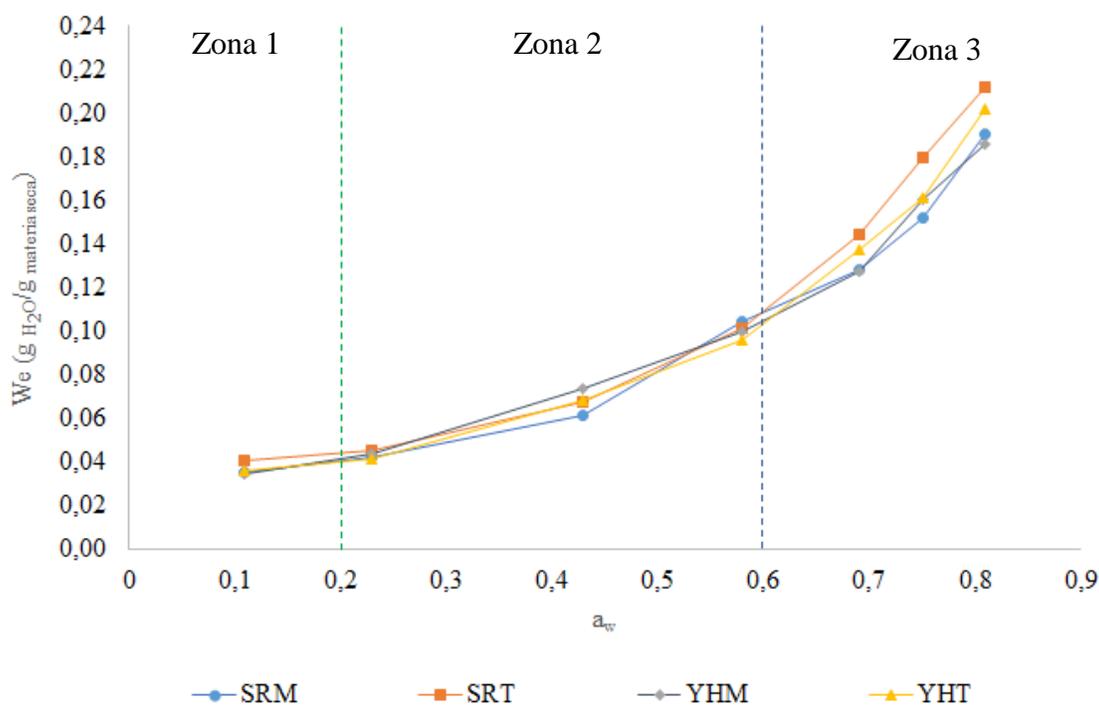


Figura 6. Comparación de las isotermas obtenidas experimentalmente de las cuatro formulaciones de papilla estudiada.

4.6. Modelado de las isotermas de adsorción

Los datos experimentales se ajustaron a dos modelos empleados ampliamente para caracterizar el fenómeno de sorción de agua en alimentos (**Chirife e Iglesias, 1978**) mediante las ecuaciones reportadas en la Tabla 6. En las Figuras 7, 8, 9 y 10 se muestran las isotermas de adsorción experimental y ajustada a los modelos de BET y GAB.

El modelo de BET se obtiene a partir de una descripción física del proceso de sorción, por este motivo los parámetros que se obtienen tienen un sentido físico. Este modelo presenta un intervalo limitado de aplicabilidad del orden de 0,4 a 0,6, por lo que cuando los fenómenos de disolución soluto – solvente empiezan a ser importantes el modelo deja de ser aplicable. Por otro lado, el modelo de GAB se aplica en todo el intervalo de a_w (**Martínez et al., 2011**).

Las isotermas modeladas muestran un comportamiento de tipo II de forma sigmoidea o tipo S que es indicativo de una adsorción física en multicapas igual a las isotermas obtenidas experimentalmente. La utilidad de los modelos de ajuste se muestra a través de la predicción de nuevos valores al conocer las constantes obtenidas (**Timmermann et al., 2001**).

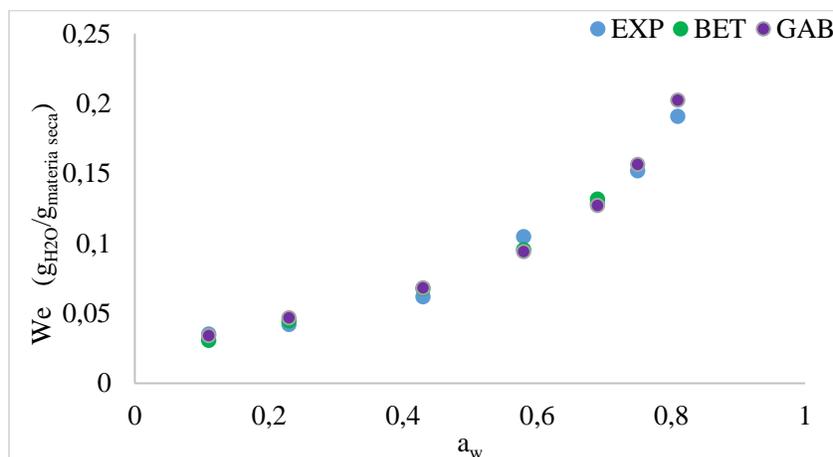


Figura 7. Modelado de isotermas de adsorción de SRM con ecuaciones BET, GAB y experimental.

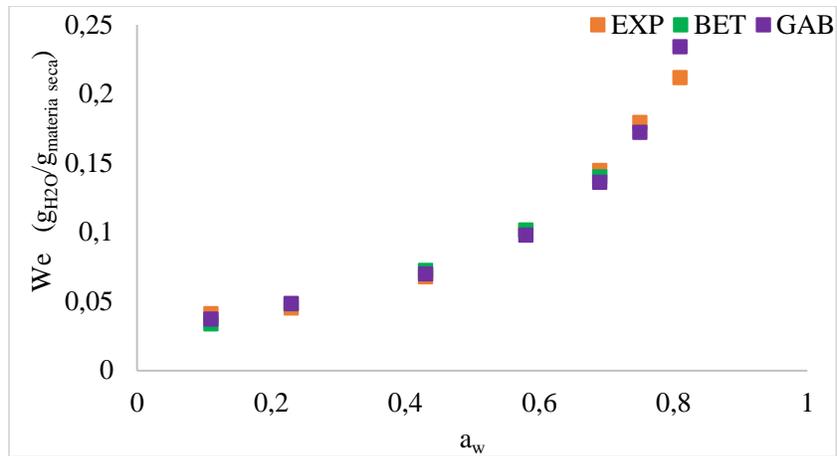


Figura 8. Modelado de isothermas de adsorción de SRT con ecuaciones BET, GAB y experimental.

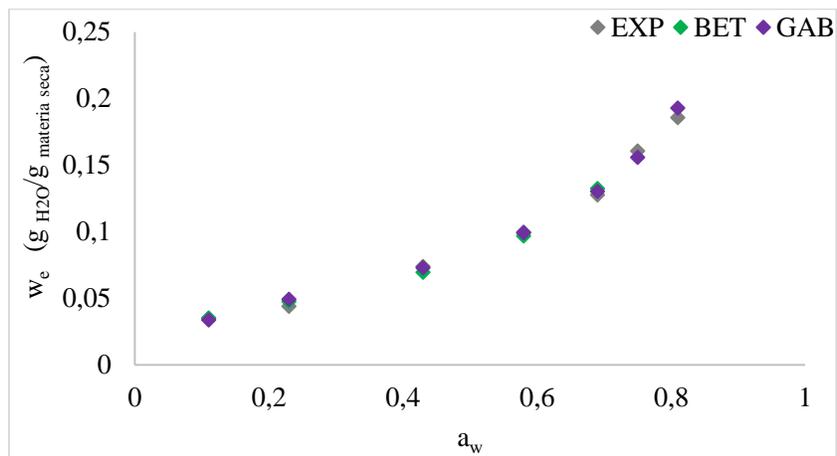


Figura 9. Modelado de isothermas de adsorción de YHM con ecuaciones BET, GAB y experimental.

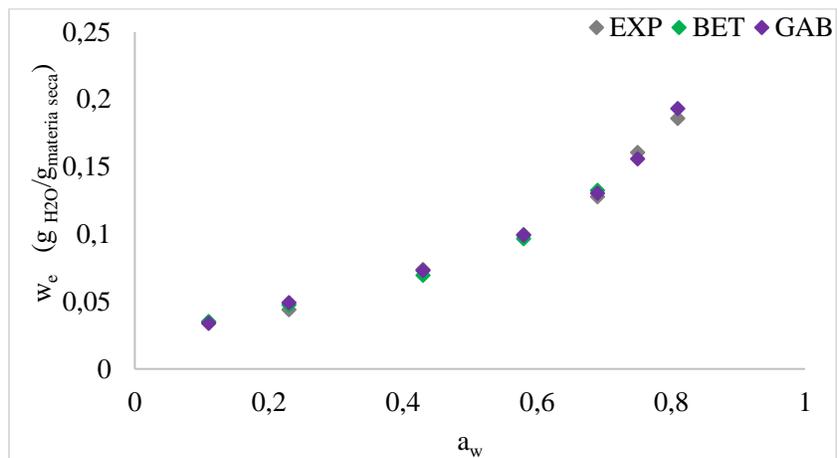


Figura 10. Modelado de isothermas de adsorción de YHT con ecuaciones BET, GAB y experimental.

4.7. Parámetros de BET y GAB

Los valores obtenidos para la humedad de monocapa (w_0) con la ecuación de BET (0,042 – 0,045 $g_{\text{agua}}/g_{\text{m.s.}}$) son estadísticamente diferentes ($p>0,05$) a los obtenidos con la ecuación de GAB (0,041 – 0,048 $g_{\text{agua}}/g_{\text{m.s.}}$), siendo la formulación YHM la que presenta el valor más alto (Tabla 15). Estos valores se obtuvieron con un ajuste de BET en el rango de a_w de 0,11 a 0,69 y para GAB en un rango más amplio (0,11 a 0,81), puesto que este modelo se ajusta hasta un máximo de actividad de agua de 0,9 (**Heldman & Sing, 1998**). El valor de monocapa corresponde al punto de la isoterma de máxima estabilidad en el rango de actividad de agua de 0,2 a 0,3 (**Labuza, 1984**), y representa el momento en que los puntos de adsorción de humedad primaria están saturados por moléculas de agua, y constituye el contenido mínimo de humedad que cubre los sitios hidrófilos en la superficie del alimento. Por debajo de esta humedad las reacciones de deterioro son mínimas, exceptuando las que involucran grasas saturadas (**Brunauer et al., 1940; Viades, 2014**). Valores similares se reportaron en estudios realizados en alimentos deshidratados (**Alvarado, 2011; Gálvez, 2006**).

La constante C obtenida mediante BET difiere estadísticamente ($p>0,05$) entre la variedad de papa. C presenta valores de 15 a 16,7 para la variedad Santa rosa y de 20,1 a 23,4 para la variedad Yema de huevo, los valores más altos presenta la formulación SRT. Para GAB el rango es superior para las formulaciones de variedad Santa rosa (21,9 a 34,2) frente a la variedad Yema de huevo (14,8 a 21,3) (Tabla 15). Valores similares se obtuvieron en estudios en harina de maíz (**Gálvez, 2006**) y berenjenas deshidratadas (**Acurio et al., 2013**).

Teniendo en cuenta el parámetro C del modelo de BET, se identifica que las isotermas son de tipo II ($C > 2$) según la clasificación de **Brunauer et al. (1940)**, lo cual muestra una adsorción multimolecular de cuerpos sin poros o con microporos, y la formación de una capa monomolecular saturada, con posterior condensación en los microporos (**Levine, 2014; Tscheuschner, 2001**).

La ecuación de GAB explica la adsorción multimolecular. Como consecuencia de la similitud entre las fuerzas responsables de la adsorción física y las fuerzas de licuefacción (fuerzas de van der Waals). La adsorción en las superficies tanto planas como convexas, no se limita a una monocapa sino que continúa hasta que la superficie queda cubierta con una capa

multimolecular de líquido (Ibarz & Barbosa – Cánovas, 2005; Viades, 2014). El agua de la capa monomolecular de las partículas de papilla está unida a la superficie seca, su fugacidad es baja y en consecuencia su presión de vapor es reducida. Si se sigue añadiendo líquido, se constituirán capas superiores sobre la monomolecular, en este contexto el agua de las capas más internas se considera como “ligada”, mientras que la de las más externas como “libre” (Badui, 2013). El valor de K (Tabla 15) obtenido del modelado de GAB es el calor de sorción de la multicapa y se encuentra en el rango 0,93 a 1,02, y es estadísticamente diferente en cada formulación ($p > 0,05$), siendo la formulación SRT la que presenta el valor más alto. Estos valores se encuentran dentro del intervalo que presentan la mayoría de productos alimenticios (Rahman, 1995) y son similares a estudios realizados en quinua (Alvarado, 2011).

Tabla 15. Constantes obtenidas por el modelo de B.E.T. y G.A.B. para las cuatro formulaciones de papilla a base de papa nativa y fruta.

Modelo	Parámetros	TRATAMIENTOS			
		SRM	SRT	YHM	YHT
BET	W_0	0,042±0,001 ^{ab}	0,045±0,002 ^{ab}	0,042±0,018 ^{ab}	0,043±0,001 ^{ab}
	C	15,041±0,486 ^a	16,717±0,612 ^a	23,491±0,769 ^{ab}	20,120±0,180 ^a
	R^2	0,954	0,953	0,948	0,950
	%E	5,195	4,439	3,988	4,664
GAB	W_0	0,042 ±0,007 ^a	0,041±0,002 ^a	0,048±0,005 ^b	0,041±0,007 ^a
	C	21,945 ±1,369 ^a	34,250±1,330 ^b	14,806±0,563 ^a	21,384±0,658 ^a
	K	0,982±0,047 ^b	1,022±0,013 ^c	0,934±0,027 ^a	0,998±0,055 ^{bc}
	R^2	0,980	0,970	0,987	0,976
	%E	3,395	3,298	2,268	3,385

W_0 = Valor de monocapa, C y K = constante para el modelo, %E= error medio relativo. R^2 = coeficiente de correlación. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$) en el mismo parámetro.

En la Tabla 15 se muestra el coeficiente de correlación (r^2) y el error medio relativo (%E). Los modelos se ajustan con un r^2 de 0,94 para el modelo de BET, y con un r^2 de 0,97 para el modelo de GAB; esto indica que el modelo de GAB tiene una mejor calidad de ajuste a los

valores experimentales (Boquet, Chirife e Iglesias, 1978). Por otro lado el porcentaje de error medio relativo (%E) es inferior al 6% para los dos modelos en las cuatro formulaciones de trabajo; esto indica que los modelos describen las isotermas de sorción de agua satisfactoriamente (Bizot, 1983). Valores similares se reportaron en estudios realizados en leche en polvo (Soteras et al., 2013), cereales de desayuno (Prieto et al., 2012), y harina de yuca (Ayala, 2011).

4.8. Humedad óptima de almacenamiento y contenido crítico de humedad

El contenido crítico de agua es el valor más elevado en el cuál no habrá contaminación microbiana durante el tiempo de almacenamiento, los productos deshidratados no deben superar valores de a_w de 0,7 (Barreiro & Sandoval 2006; Mossel et al., 2003). Teniendo en cuenta la estabilidad microbiológica del producto, esto supondría valores críticos de humedad de almacenamiento de 0,13 ($g_{H_2O}/g_{materia\ seca}$) para las formulaciones SRM y YHM, 0,14 para YHT y de 0,15 ($g_{H_2O}/g_{materia\ seca}$) para SRT para una temperatura de $20^{\circ}C \pm 1$ (Figura 11). Mientras que la humedad óptima de almacenamiento está en el rango de 0,040 a 0,042 ($g_{H_2O}/g_{materia\ seca}$) que corresponde a una actividad de agua de 0,2 para las cuatro formulaciones, y se correlaciona con el valor de humedad de monocapa (Figura 11, Tabla 15). La humedad óptima de almacenamiento representa el punto de mayor estabilidad relativa con respecto a la oxidación de lípidos, reacciones de Maillard y deterioro enzimático (Martínez, 2011; Labuza, 1982).

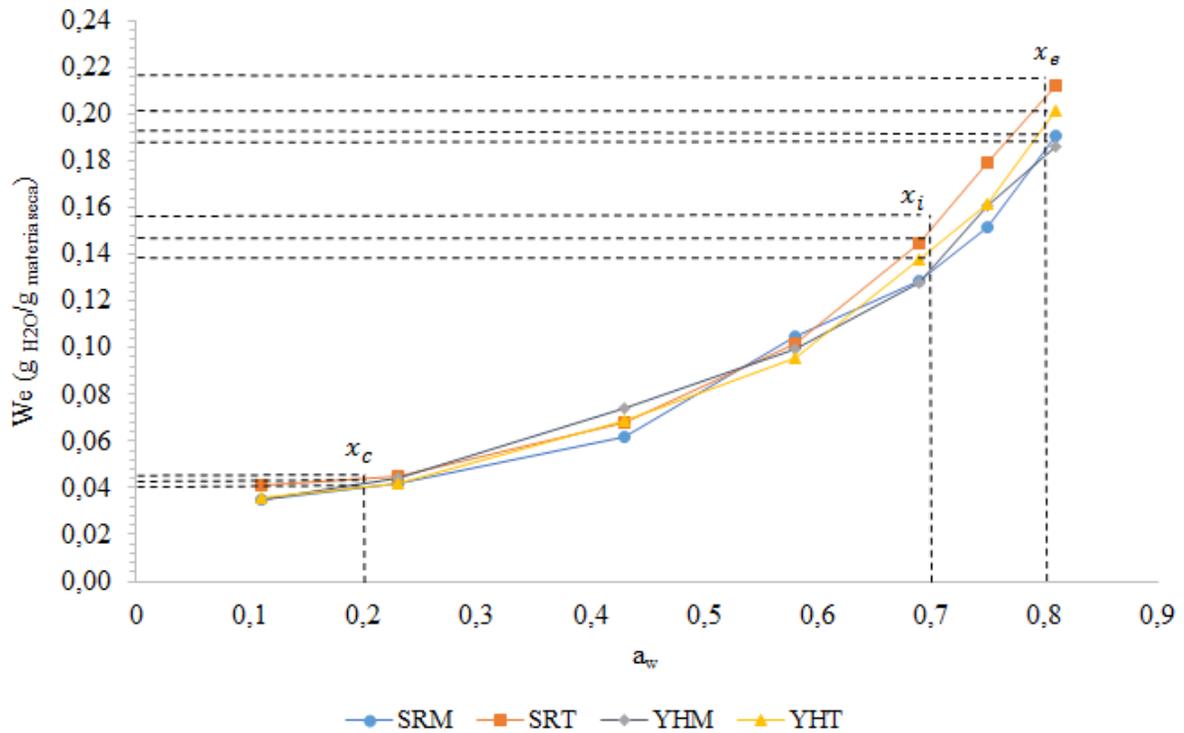


Figura 11. Determinación del contenido de humedad límite en función de la a_w segura.

4.8.1. Tiempo de vida útil

En la Tabla 16 se reportan los valores usados para el cálculo del tiempo de vida útil teórico usando la Ecuación 8.

Tabla 16. Parámetros obtenidos de las isothermas de sorción experimentales para la estimación de la vida útil de papilla de bebe usando la ecuación de **Heiss & Eichner, (1971)** citado por **Ikh-Omoregbe & Chen, (2005)**.

Parámetros*	SRM	SRT	YHM	YHT
$X_e (g_{H_2O}/g_{materia\ seca})$	0,1820	0,2030	0,1800	0,1920
$X_i (g_{H_2O}/g_{materia\ seca})$	0,0541	0,0543	0,0626	0,0547
$X_c (g_{H_2O}/g_{materia\ seca})$	0,1320	0,1500	0,1320	0,1410
S	0,2458	0,2842	0,2362	0,2636

*Figura 11

Hay una serie de factores que afectan la vida útil de los alimentos deshidratados, los mismos que tienen diferente influencia. **Labuza (1982)**, estudió los efectos del contenido de agua en la estabilidad de alimentos secos (ecuación 8).

En la Tabla 17 se reporta los valores del tiempo de vida útil y se evidencia que el contenido de humedad inicial de las papillas afecta el tiempo de vida útil dramáticamente. Así a valores de humedad de entre 0,54 y 0,63 ($g_{H_2O}/g_{materia\ seca}$), que corresponden a la humedad experimental, el tiempo de vida útil es superior a un año para todos los tratamientos a las condiciones de almacenamiento dadas (Tabla 7). Se observan valores mayores en los tratamientos SRT y YHT, esta tendencia marcada por la fruta se relaciona con la menor cantidad de azúcares que el taxo presenta, por lo que capta menos agua del ambiente lo que hace que el polvo deshidratado sea más estable y menos higroscópico (**Chen, 2007**). Finalmente se observa claramente que a mayor contenido de humedad inicial el tiempo de vida útil se acorta, debido a que se facilita el crecimiento microbiano (**Jay, 2002**) principal limitante del tiempo de vida útil. Valores similares se reportaron para harina de maíz (**Ikhu-Omoregbe & Chen, 2005**).

Tabla 17. Estimación del tiempo de vida útil de papilla de bebe a diferente contenido de humedad inicial.

Contenido de humedad inicial (% b.s.)	Tiempo de vida útil (días)			
	<i>SRM</i>	<i>SRT</i>	<i>YHM</i>	<i>YHT</i>
<i>Experimental*</i>	406	516	372	459
8	308	421	305	365
10	214	332	212	274
12	93	224	93	160

4.9. Verificación de la hipótesis

Luego de analizar y discutir los resultados, se acepta la hipótesis nula la cual plantea que la variedad de papa y la pulpa de fruta utilizadas en la formulación de la papilla no influyen en las condiciones óptimas de almacenamiento del producto, por lo que pueden ser tratadas de la misma forma de todos los procesos de empaque y almacenamiento.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El tamaño de partícula predominante en las cuatro formulaciones de papilla deshidratadas para bebé es de 337,5 μm , seguido del tamaño de 215 μm ; siendo las partículas de las papillas a base de taxo ligeramente más finas que las papillas a base de pulpa de mora indistintamente de la variedad de papa. Por estas características este producto corresponde a la clasificación de alimento granulado que contiene partículas pequeñas, de tamaño bastante uniforme que no requiere ni incita a la masticación antes de la deglución.
- Las isotermas de sorción para papillas deshidratadas a base de papa nativa y pulpa de mora y taxo presentan una forma sigmoidea que caracteriza a los productos solubles y secos, tomando una forma asintótica conforme se acerca a la unidad. El comportamiento de las isotermas de las cuatro formulaciones es similar a valores de $a_w < 0,5$, mientras que a valores de a_w superiores la tendencia higroscópica varía, siendo las formulaciones Santa rosa Mora y Yema de huevo Mora las menos higroscópicas debido a que la w_e es inferior que en los tratamientos Santa rosa Taxo y Yema de huevo Taxo, especialmente en el intervalo de a_w de 0,7 a 0,89.
- Las isotermas modeladas muestran un comportamiento de tipo II de forma sigmoidea o tipo S que es indicativo de una adsorción física en multicapas igual a las isotermas obtenidas experimentalmente. Tanto el modelo de BET como de GAB presentaron un buen ajuste a los datos experimentales; sin embargo, el modelo de GAB es el más apropiado para la formulación de papilla debido a que es eficiente en todo el rango de actividad de agua lo que se evidenció en el valor del coeficiente de correlación superior a 0,98 con un error medio relativo inferior a 0,4.
- Teniendo en cuenta la estabilidad microbiológica de las papillas, los valores críticos de humedad de almacenamiento son de 0,13 ($g_{H_2O}/g_{materia\ seca}$) para las

formulaciones Santa rosa Mora y Yema de huevo Mora, 0,14 para Yema de huevo Taxo y de 0,15 ($g_{H_2O}/g_{materia\ seca}$) para Santa rosa Taxo a una temperatura de $20^{\circ}C \pm 1$. Mientras que la humedad óptima de almacenamiento está en el rango de 0,040 a 0,042 ($g_{H_2O}/g_{materia\ seca}$) que corresponde a una actividad de agua de 0,2 para las cuatro formulaciones y mismo que representa el valor de la humedad de monocapa. El tiempo de vida útil teórica para las cuatro formulaciones es superior a 365 días, con valores siendo relativamente altos para las papillas Santa rosa Taxo y Yema de huevo Taxo, lo que revela la influencia de la fruta utilizada en la formulación indistintamente de la variedad de papa.

5.2. Recomendaciones

- Realizar un estudio detallado para determinar la temperatura y velocidad óptimas de funcionamiento del secador de tambor utilizado, para que el equipo sea funcional para alimentos con diferente humedad y viscosidad.
- Realizar un estudio de tiempo de vida útil del producto para relacionar con los valores obtenidos teóricamente.
- Estudiar las propiedades reológicas de las cuatro formulaciones de papilla para completar los estudios de caracterización del alimento.

8. BIBLIOGRAFÍA

- A.O.A.C. (1990). *Methods of Analysis of Analytical Chemistry*. Ed. For Hortwiz. Washington, DC. USA.
- Acurio, L., Igual, M. & Camacho, M. (2013). Efecto de la deshidratación en las propiedades ópticas y mecánicas de diferentes variedades de berenjena. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Alvarado, J. & Aguilera, J. (2001). *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*. España, Zaragoza: Acribia S.A.
- Alvarado, J. (2011). Isotermas, humedades de monocapa y calores de sorción de agua en granos de quinua. Presentación. *Congreso Mundial de la Quinua*. Universidad Técnica del Norte. Recuperado de <http://balcon.magap.gob.ec>
- Alvarado, J. (2013). *Principios de Ingeniería aplicado a los alimentos*. Segunda edición. Ambato – Ecuador.
- Alvarado, M. (2004). Formulación, elaboración y prueba de aceptabilidad de papillas para niños de 6 a 36 meses en base a trigo, arroz, quinua y kiwicha. (Trabajo de grado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.
- Álvarez, M., Serna, S. & Villada, M. (2012). Papilla de arroz instantánea para niños de 12 a 36 meses fortificada con micronutrientes: Una alternativa para la alimentación infantil. (Trabajo de Grado). Corporación Universitaria Lasallista, Caldas -Antioquia.
- Álvarez, M., Serna, S., Villada, M. & López, V. (2012). Papilla de arroz instantánea para niños de 12 a 36 meses fortificada con micronutrientes: Una alternativa para la alimentación infantil. *Journal of Engineering and Technology*, 1(2), 40-73.
- Andritz. (2015). Comida para bebés. Recuperado de http://www.andritzgouda.com/es/index.php/proceslijn/Baby_food_Infant_food
- Aqualab, (2012). *Fundamentals of Moisture Sorption Isotherms*. Application Note. Recuperado de <http://www.aqualab.com/education/fundamentals-of-moisture-sorption-isotherms-an-13947/>
- Ayala, A. (2011). Estimación de las isotermas de adsorción y del calor isotérico en harina de yuca. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 9 (1), 88-96.
- Badui, S. (2013). *Química de los alimentos*. Quinta edición. México: PEARSON.
- Barbosa – Cánovas, G. & Vega, H. (2002). *Deshidratación de Alimentos*. España, Zaragoza: Acribia S.A.
- Barreiro, J. & Sandoval, A. (2006). *Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*. Editorial Equinoccio.

- Bell, L. & Labuza, T. (2000). Moisture sorption: Partial aspects of isotherms measurement and use. 2ed., St. Paul, Minnesota.
- Bizot, H. (1983). Using the GAB model to construct sorption isotherms. In R. Jowitt et al. (Eds), *Physical properties of foods*, 43 -54. New York: Applied science.
- Boquet, R., Chirife, J. & Iglesias, H. (1978). Equations of fitting water sorption isotherms of foods. II. Evaluation of various two parameters models. *J.Fd. Technology*, 13, 329-327.
- Brunauer, S., Deming, L., Deming, W. & Teller, E. (1940). On a theory on the Vann Der Waal adsorption of gases. *J. Am. Chem. Soc.*, 62, 1723-1732.
- Casa, F. (2013). Influencia de la deshidratación en la calidad de diferentes variedades de pimiento. Estudio de las condiciones de almacenamiento. (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Casp, A. & Abril, J. (2003). *Procesos de Conservación de Alimentos*. 2 ed. España. Ediciones. Ediciones Mundi Prensa.
- Chávez, A. (2007). Insuficiencia nutricional en el Ecuador: Causas, consecuencias y soluciones. Banco Internacional de Reconstrucción y desarrollo. Washington D.C. Recuperado de https://issuu.com/ecuador.nutrinet.org/docs/bm_2007_insuficiencianutricional/ecuador_07.
- Chen, C. & Lai, L. (2008). Mechanical and water vapor barrier properties of tapioca starch/decolorized hsian-tso leaf gum films in the presence of plasticizer. *Food Hydrocolloids*. 22: 1584 - 1595.
- Chen, X.D. (2007). Conformability of the kinetics of cohesion/stickiness development in amorphous sugar particles to the classical Arrhenius law. *Journal of Food Engineering*, 79, 675-680.
- Chirife, J. & Iglesias, H. (1978). Equations for fitting water sorption isotherms of foods. Part 1- a review. *Journal of Food Technology*, 13, 159-174.
- Chun, J., Jo, J., Shim, Jum., Min, S. & Hong, G. (2015). Comparison of Moisture Sorption Isotherms and Quality Characteristics of Freeze – Dried and Boiled – Dried Abalone. *Int. J. Food Eng*, 11(4), 573 – 578. doi: 10.1515/IJFE-2015-0014.
- Chuzel, G. & Zakhia, N. (1991). Adsorption isotherms of gari for estimation of packaged shelf – life. *International Journal of Food Science and Technology*, 26, 583-593.
- CODEX STAN 073-1981. (2015). Norma del Codex para alimentos envasados para lactantes y niños.
- CODEX STAN 074 – 1981. (2006). Norma de Codex para alimentos elaborados a base de cereales para lactantes y niños pequeños.

- Dalmau, J., Peña-Quintana, L., Moráis, A., Martínez, V., Varea, V., Martínez, M.J. & Soler, B. (2015). Análisis cuantitativo de la ingesta de nutrientes en niños menores de 3 años. Estudio ALSALMA. *Anales de Pediatría (Barc)*, 82(4), 255-266. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.anpedi.2014.09.017>
- Dauvillier, P. (2000). Análisis Nutricional de los alimentos .España: Editorial ACRIBIA S.A.
- Escobar, J. (2010). Formulación de una propuesta de porciones de alimentos complementarios para niños lactantes de 12 a 18 meses de edad. (Trabajo de grado). Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.
- Furmaniak, S., Tersyk, A., Golembiewski, R., Gauden, P. & Czepirski, L. (2009). Searching the most optimal model of water sorption of foodstuffs in the whole range of relative humidity. *Food Res Int.*, 42, 1203- 1214.
- Gálvez, A, Aravena, E, & Mondaca, R. (2006). Isotherma de adsorción en harina de maíz (*Zea mays L.*) *Cienc. Tecnol. Aliment.*, 26(4), 821-827.
- García, S., Schmalko, M. & Tanzariello, A. (2007). Isothermas de adsorción y cinética de secado de ciertas hortalizas y aromáticas cultivadas en misiones. *RIA. Inta, Argentina*, 36(1),115-129.
- Gonzáles, A., Espinoza, A., Canizares, A. & Méndez, J. (2008). Obtención de un polvo de ají dulce (*Capsicum chinense*) producido mediante deshidratación por aire forzado. *Revista Científica UDO Agrícola*, 8 (1), 118-126.
- Gonzáles, M., Porras, L., Agudelo, A., Quintero, O. & Diosa, C. (2014). Determinación de isothermas de desorción en jamón de cerdo cocido almacenado entre 4°C y 12°C. *VITAE, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 21(2), 97 – 106.
- Heldman, D & Singh, P. (1998). Introducción a la Ingeniería de los Alimentos. España, Zaragoza: Editorial ACRIBIA S.A.
- Heldman, D. & Singh, R. (1998). Introducción a la Ingeniería de los alimentos. España, Zaragoza: Ed. Acribia. S.A.
- Howie, P., Forsyth, J., Ogston, S., Clark, A. & Florey, C. (1990). Protective effect of breast feeding against infection. *Br Med J*, 300, 11-16.
- Ibarz, A. & Barbosa – Cánovas, G. (2005). Operaciones Unitarias en la Ingeniería de los Alimentos.España. Ediciones Mundi – Prensa. España.
- Ikhu – Omoregbe, D. & Chen,X. (2005). Use of Sorption Isotherms for the Estimation of Shelf Life of two Zimbabwean Flours. *Dev. Chem. Eng. Mineral Process*, 13 (1/2), 79- 90.

- INIAP. (2014). Propiedades funcionales de frutales. Recuperado de <http://www.iniap.gob.ec/web/iniap-expuso-sobre-las-diversas-propiedades-funcionales-de-frutales/>
- INIAP. (2015a). Las papas nativas y su importancia en la salud y la alimentación. Recuperado de <http://www.iniap.gob.ec>
- INIAP. (2015b). Papas nativas salen al mercado. Recuperado de <http://www.iniap.gob.ec>
- INIAP. (2015c). Las papas nativas ecuatorianas, rescatando nuestra biodiversidad. Recuperado de: <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Las%20papas%20nativas%20Ecuadorianas.%20Rescatando%20nuestra%20Biodiversidad..pdf>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2017). Red de estaciones automáticas hidrometeorológicas. Recuperado de <http://186.42.174.236/InamhiEmas/>
- Jay, J. (2002). Microbiología Moderna de los Alimentos. 4 ed. España, Editorial Kluwer Academic/ Plenum Publishers.
- Kim, H., Song, Y. & Yam, K. (1991). Water sorption characteristics of dried red peppers. *International Journal of Food Science Technology*, 26, 339–343.
- LabFerrer. (2001). Actividad de agua e Isotermas. Recuperado de: <http://www.labferrer.com/actividad-agua-isotermas.html>
- Labuza, T. (1975). Interpretation of sorption data in relation to the state of constituent water. In R. Duckworth (Ed.), *Water relations in foods*. New York: Academic Press.
- Labuza, T. (1982). Shelf – Life Dating of Foods. Department of Food Science and Nutrition USA. University of Minnesota. Food & Nutrition Press, INC. Westport, Connecticut 06880.
- Labuza, T. (1984). Shelf Life Dating of Foods. Food & Nutrition Press, INC.
- Lázaro, A. & Martín, J. (2001). Alimentación del lactante sano. *Protocolos diagnósticos y terapéuticos en pediatría*, 1, 316 – 319.
- Levine, E. (2014). Principios de Fisicoquímica. Mc Graw Hill Education.
- Martínez, N., Andrés, A., Chiralt, A. & Fito, P. (2011). Termodinámica y Cinética de Sistemas Alimento Entorno. España, Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Martorell, R., Kettel, L. & Schroeder, G. (1994). Reversibility of stunting: epidemiological findings in children from developing countries. *European Journal of Clinical Nutrition*, 8, 123-126.

- Medeiros, M., Bartolomeu, A., De Moraes, R. & De Silva, S. (2006). Sorption isotherms of cocoa and cupuasu products. *Journal of Food Engineering*, 73,402-406. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.02.002>
- Ministerio de Educación de Ecuador. (2010). Sistema de monitoreo del crecimiento y nutrición de niños y niñas de educación inicial. Recuperado de https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/Manual_Nutricion.pdf
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador. (2013). Normas y protocolos de alimentación para niños y niñas menores de 2 años. Ecuador, Coordinación Nacional de Nutrición.
- Monteros, C., Cuesta, X., Jiménez, J. & López, G. (2005). Las papas nativas en el Ecuador, estudios cualitativos sobre oferta y demanda. 1 ed. Ecuador, Quito: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa Nacional de Raíces y Tubérculos-Papa/CIP.
- Monteros, C., Yumisaca, F., Andrade-Piedra, J. & Reinoso, I. (2010). Catálogo Cultivares de Papas Nativas Sierra Centro Norte del Ecuador. Etnobotánico, morfológico, agronómico y calidad. Ecuador, Quito: Publicación Miscelánea N° 179 2010.
- Mossel, D., Moreno, B. & Struijk, C. (2003). Microbiología de los Alimentos. 2ed. España, Zaragoza: Editorial Acribia S.A.
- Myara, R., Taylor, M. & AL-Bulushi, I. (1996). Moisture sorption isotherms of Omani data. *10 th international drying symposium. Krakow, Poland*, B, 989-996.
- Nasirpour, A., Scher, J. & Desobry, S. (2006). Baby Foods: Formulations and Interactions (A Review). *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46(8), 665-681. doi: 10.1080/10408390500511896
- Nestlé. (2017). Cereal NESTUM ® 8 Cereales. Recuperado de <https://www.comienzosano.nestle.ec/cereal-nestumr-8-cereales-0>
- OMS. (2003). Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas. *Informes Técnicos*. Recuperado de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/ac911s/ac911s00.pdf>
- OMS. (2015). Estrategia mundial para la alimentación del lactante y del niño pequeño. Recuperado de http://www.who.int/nutrition/topics/global_strategy_iycf/es/
- OMS. (2017). Alimentación complementaria. Recuperado de http://www.who.int/nutrition/topics/complementary_feeding/es/
- Ostrowska-Ligeza, E., Jakubczyk, E., Górska, A., Wirkoka, M. & Brys, J. (2014). The use of moisture sorption isotherms and glass transition temperature to assess the stability of powdered baby formulas. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 118,911–918. doi: 10.1007/s10973-014-3846-8

- Owen, C., Martin, R., Whincup, P., Davey, G. & Cook, D. (2005). Effect of Infant Feeding on the Risk of Obesity Across the Life Course: A Quantitative Review of Published Evidence. *Pediatrics*, 115 (5) 1367-1377.
- Owen, C., Martin, R., Whincup, P., Davey, G. & Cook, D. (2006). Does breastfeeding influence risk of type 2 diabetes in later life: A quantitative analysis of published evidence. *American Journal of Clinical Nutrition*, 84(5), 1043-1054.
- Peng, G., Chen, X., Wu, W. & Jiang, X. (2007). Modeling of water sorption isotherm for corn starch. *Journal of Food Engineering*, 70, 562–567.
- Prieto, J., Prieto, F., Román, A., Otazo, E. & Méndez, M. (2012). Correlación de modelos matemáticos de adsorción de humedad en cereales para desayuno. *Avances en Ciencia e Ingeniería*, 3(1), 137-150.
- Rahman, M. (1995). *Food Properties Handbook*. Washington, D.C. CRC Press LLC.
- Reh, C., Bhat, S. & Berrut, S. (2004). Determination of water content in powdered milk. *Food Chemistry*, 86, 457–464.
- Requena, J & Vanaclocha, A. (2003). *Procesos de Conservación de alimentos*. 2 ed. edición. España: A. Madrid Vicente Ediciones, Ediciones Mundi Prensa.
- Romero, M. (2012). *Estudios de Farmacotecnia y desarrollo de formas de dosificación de vegetales deshidratados para su aplicación en pediatría y personas de la tercera edad*. (Tesis de doctorado). Universidad de Granada, España.
- Ronkart, S., Blecker, C., Fournies, C., Van Herck, J., Wouters, J. & Paquot, M. (2006). Determination of physical changes of inulin related to sorption isotherms: An X-ray diffraction, modulated differential scanning calorimetry and environmental scanning electron microscopy study. *Carbohydrate polymers*, 63(2), 210-217.
- Rosado, J., Rivera, J., López, G., Solano, N., Rodríguez, G., Casanueva, E., García – Aranda, A., Toussaint, G. & Maulen, I. (1999). Desarrollo y evaluación de suplementos alimenticios para el Programa de Educación, Salud y Alimentación. *Salud Pública de México*, 41 (3), 153-162.
- Rossin-Slater, M. (2015). *Promoting Health in Early Childhood. The Future of Children* Published by: Princeton University Stable, 25(1), 35-63.
- Sinija, V.R. & Mishra, H.N. (2008). Moisture sorption isotherms and heat of sorption of instant soluble green tea powder and green tea granules. *Journal of Food Engineering*, 86, 494–500.
- Smithers, L.G., Golley, R.K., Mittinty, M.N., Brazionis, L., Northstone, K., Emmett, P. & Lynch, J.W. (2012). Dietary patterns at 6, 15 and 24 months of age are associated with IQ at 8 years of age. *European Journal of Epidemiology*, 27, 525–535. doi: 10.1007/s10654-012-9715-5

- Soteras, E., Gil, J., Yacanto, P., Muratona, S., Abaca, C. & Sustersic, M. (2013). Isotermas de adsorción y desorción de agua en leche en polvo: II. Leche entera. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 5 (1), 57 -66.
- Spiess, W. & Wolf, W. (1983). The results of the COST90 Project on water activity. En Jowitt, R., Escher, F., Hallström, B., Meffert, H., Spiess, W., Vos, G., (eds). *Physical Properties of Foods*. London and New York. Applied Science Publishers, 65-91.
- Spiess, W. & Wolf, W. (1987). Critical evaluation of methods to determine moisture sorption isotherms. En Louis, B., Bencho, L. (eds). *Water Activity: theory and applications to foods*. New York. Marcel Dekker Inc., 215-233.
- Stanley – Wood NG.(1983). Particle characterization by size, shape and surface for contacted particles. En Stanley – Wood NG. (ed): *Enlargement and compaction of particulate solids*. Butterworths. London.
- Szulc, K. & Lenart, A. (2012). Water vapour adsorption properties of agglomerated baby food powders. *Journal of Food Engineering*, 109, 135–141.
- Timmermann, E., Chirife, J. & Iglesias, H. (2001). Water sorption isotherms of food and foodstuffs: BET or GAB parameters? *Journal of Food Engineering*, 48 (1), 19-31.
- Trejo, J. (2010). Adsorción de agua en alimentos. Isoterma de adsorción de Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB). Seminario de Investigación: Fenómenos de Superficie, Postgrado en Ciencias Químicas, Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/11AwGABJV_14227.pdf
- Triñanes, P. (2010). Avances en aglomeración y compactación de partículas. Memoria del Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Santiago de Compostela.
- Troygot, O., Saguy, I.S. & Wallach, R. (2011). Modeling rehydration of porous food materials: I. Determination of characteristic curve from water sorption isotherms. *Journal of Food Engineering*, 105, 408–415.
- Tscheuschner. (2001). *Fundamentos de tecnología de los alimentos*. España, Zaragoza: Editorial Acribia, S.A.
- Vargas, F. & Salas, F. (2012). Caracterización reológica de papillas alimenticias para niños de corta edad. *Anales Científicos UNALM*, 1, 61.
- Vargas, F. (2001). Caracterización reológica de papillas alimenticias para niños de corta edad. *Anales Científicos UNALM*. XLVII, 2.
- Vega, A. & Lemus, R. (2005). Importancia de las Isotermas en los Alimentos. *Rev Industrializados*, 8 (35). 71-74.
- Vega, A., Lara, E. & Lemus, R. (2006). Isotermas de adsorción en harina de maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia y Tecnología de Alimentos, Campinas*, 26(4), 821-827.

- Viades, J. (2014.) Seminario de investigación: Fenómenos de superficie, Postgrado en ciencias Químicas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Wolf, W., Spiess, W. & Jung, G. (1985). Sorption isotherms and wather activity of food materials. Elsevier Sciences Publishing Co., New York.
- Yazdanpanah, N. & Langrish, T. (2011). Egg-shell like structure in dried milk powders. *Food Research International*, 44, 39–45.
- Zhang, X; Xie Liu; De-Xiang, Gu; Wei, Zhou, Renli Wang, Pen Liu. (1996). Desorption Isotherms of Some Vegetables. *Journal Science Food Agriculture*, 70 (3), 303 – 306

ANEXOS

A. FOTOGRAFÍAS DE LA INVESTIGACIÓN

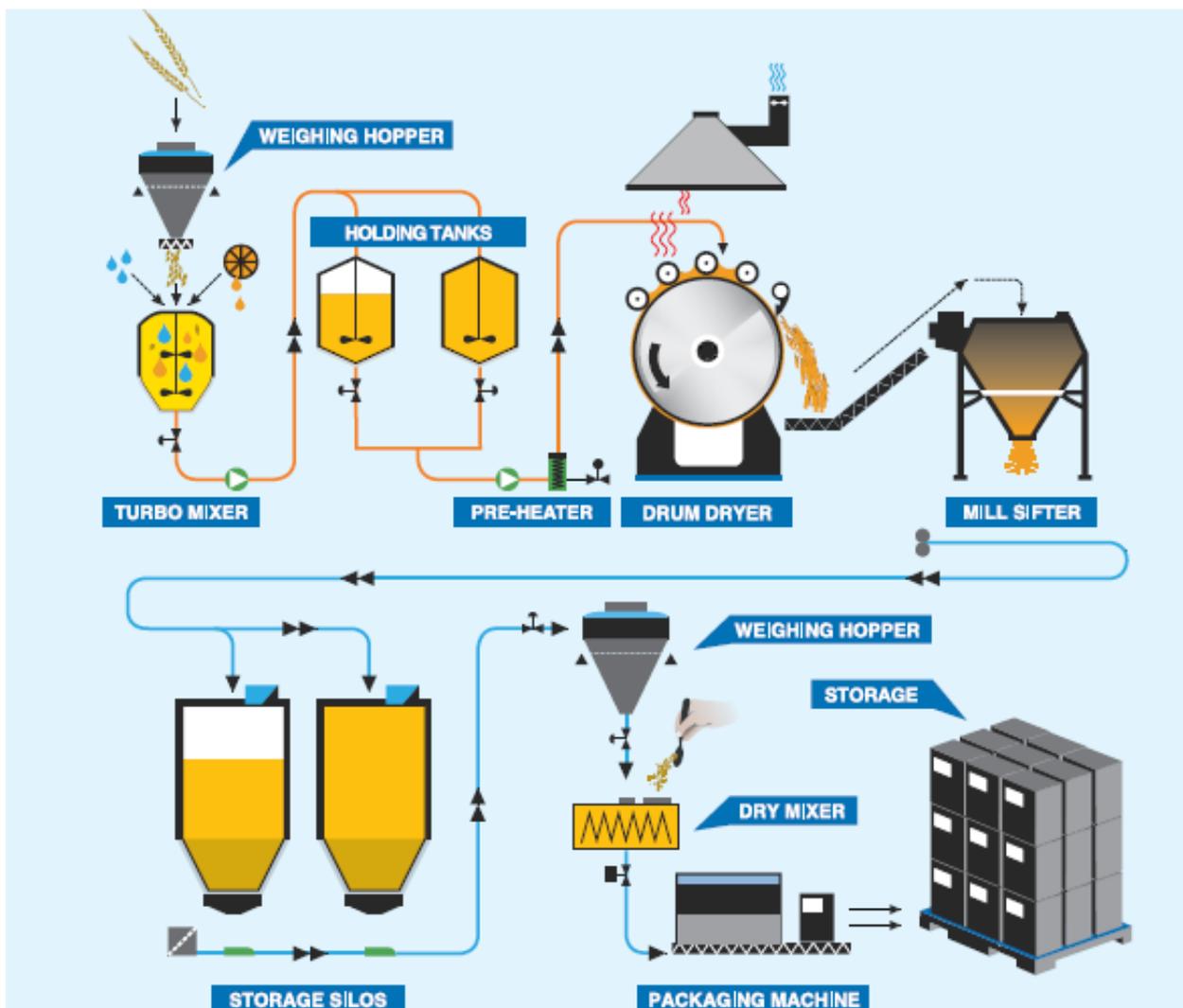


Figura A1. Esquema del proceso a nivel industrial

Fuente: Nasirpour et al. (2006).

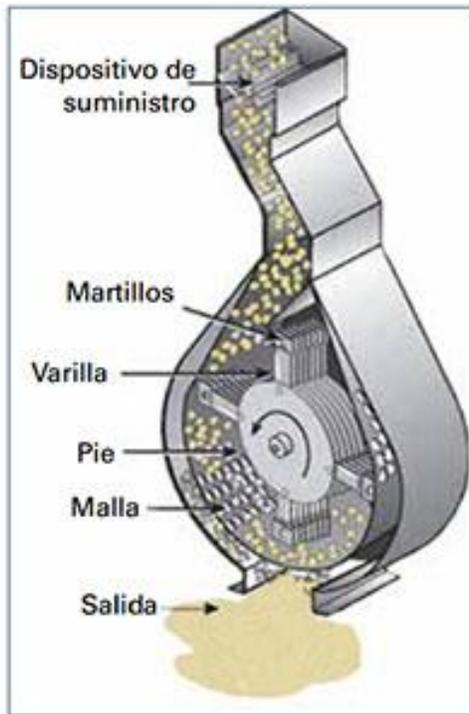


Figura A2. Esquema del molino de martillo

Fuente: Nasirpour et al. (2006).



Figura A3. Secado de papilla de taxo en el secador de tambor semi-industrial



Figura A4. Equipo AQUALAB usado para la determinación de a_w .



Figura A5. Cámara hermética para cada ambiente de almacenamiento.



Figura A6. Papilla deshidratada en polvo en la cámara con a_w determinada.



Figura A7. Cámara herméticamente cerrada en tiempo 0.



Figura A8. Pesaje de las muestras en una balanza analítica.