

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



TITULACIÓN POR EXÁMEN PROFESIONAL

Trabajo Monográfico:

**“REEMPLAZO DEL EMPAQUE PRIMARIO FLEXIBLE DE ALUMINIO A
METALIZADO PARA BEBIDA DESHIDRATADA Y ESTIMACIÓN DE TIEMPO
DE VIDA”**

Presentado por:

FRANCESCA MIGONE URIBE

Lima - Perú

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“REEMPLAZO DEL EMPAQUE PRIMARIO FLEXIBLE DE ALUMINIO A
METALIZADO PARA BEBIDA DESHIDRATADA Y ESTIMACIÓN DE TIEMPO
DE VIDA”**

Presentado por:

FRANCESCA MIGONE URIBE

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

**M. Sc. Walter Salas Valerio
PRESIDENTE**

**Mg. Sc. Fanny Ludeña Urquiza
MIEMBRO**

**Dra. Ana Aguilar Gálvez
MIEMBRO**

**Mg. Sc. Gabriela Chire Fajardo
TUTORA**

Lima – Perú

2017

DEDICATORIA

A mi familia, José Antonio, Diana y María José, porque son mi motor de todos los días,
y a mi buen amigo Efraín Rocha, por creer y sacar lo mejor de mí.

INDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. DESHIDRATACIÓN	3
2.2. BEBIDAS ELABORADAS CON CACAO	3
2.2.1. REQUISITOS MICROBIOLÓGICOS.....	4
2.3. HUMEDAD.....	4
2.4. ACTIVIDAD DE AGUA.....	5
2.5. ISOTERMA DE SORCIÓN.....	7
2.5.1. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA ACTIVIDAD DE AGUA E ISOTERMAS DE SORCIÓN.....	9
2.5.2. IMPORTANCIA DE LAS ISOTERMAS DE SORCIÓN	10
2.6. TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA	11
2.7. TIEMPO DE VIDA	12
2.7.1. PREDICCIÓN DEL TIEMPO DE VIDA	13
2.7.2. PRUEBAS ACELERADAS DE TIEMPO DE VIDA	13
2.7.3. CINÉTICA DE PÉRDIDA	13
2.7.4. FACTORES DE CALIDAD QUE IMPACTAN EL TIEMPO DE VIDA	16
2.8. MATERIALES DE EMPAQUE DE ALIMENTOS	17
2.8.1. EMPAQUES FLEXIBLES	17
2.8.2. EMPAQUE FLEXIBLE TRILAMINADO DE ALUMINIO.....	17
2.8.3. POLINAFTALATO DE ETILENO	17
2.8.4. ALUMINIO	18
2.8.5. POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PE-BD)	18
2.8.6. EMPAQUE FLEXIBLE METALIZADO	19
2.9. PERMEABILIDAD	19
2.9.1. PERMEABILIDAD EN EMPAQUES.....	19
III. DESARROLLO DEL TEMA	21
3.1. MATERIALES Y EQUIPOS.....	21
3.2. METODOLOGÍA.....	21

3.3. CARACTERIZACIÓN DE LA BEBIDA DESHIDRATADA	22
3.4. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD INICIAL Y ACTIVIDAD DE AGUA INICIAL DEL PRODUCTO	26
3.5. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD CRÍTICA Y ACTIVIDAD DE AGUA CRÍTICA	26
3.6. DETERMINACIÓN DE DIMENSIONES DEL EMPAQUE Y SUPERFICIE DE INTERCAMBIO	29
3.7. DETERMINACIÓN DE PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA	29
3.8. ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL	32
3.9. SELECCIÓN DE MATERIAL DE EMPAQUE METALIZADO	34
3.10. ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ECONÓMICO.....	35
IV. CONCLUSIONES	36
V. RECOMENDACIONES.....	37
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
VII. ANEXOS	41

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano	4
Cuadro 2: Factores de calidad que controlan la vida útil de algunos alimentos	16
Cuadro 3: Transmisión de gases, transmisión de vapor de agua y adsorción de agua de diferentes materiales	20
Cuadro 4: Composición química proximal de la bebida achocolatada.....	23
Cuadro 5: Resultado de análisis microbiológico de la bebida deshidratada según los requisitos establecidos por DIGESA, Categoría IV.3	24
Cuadro 6: Resultados de la evaluación sensorial de la bebida deshidratada (n=5*)...25	25
Cuadro 7: Resultados de humedad inicial y actividad de agua inicial.....	26
Cuadro 8: Resultados del contenido de humedad crítico y actividad de agua crítica de la bebida deshidratada achocolatada	27
Cuadro 9: Resultados de la evaluación sensorial en condiciones de humedad y actividad de agua crítica (n=5*)	28
Cuadro 10: Dimensiones del empaque y superficie permeable del empaque	29
Cuadro 11: Temperatura promedio (°C) y Humedad Relativa promedio (%) de diferentes departamentos del Perú	30
Cuadro 12: Permeabilidad al vapor de agua de los empaques.....	31
Cuadro 13: Permeabilidad en condiciones ambientales en Lima e Iquitos	31
Cuadro 14: Resultado de valores de pendiente y constante entre humedad y actividad de agua.....	32
Cuadro 15: Resultados de parámetros para el cálculo del tiempo de vida útil.....	32
Cuadro 16: Tiempo de vida esperado para las estructuras en Lima e Iquitos	32
Cuadro 17: Costos y ahorros para las estructuras propuestas.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Velocidad relativa de diferentes reacciones de deterioro en alimentos en función de la actividad de agua	7
Figura 2: Isotermas de sorción de distintos alimentos y sustancias biológicas	8
Figura 3: Curvas típicas de isotermas de adsorción y desorción de los alimentos	9
Figura 4: Isotermas de desorción de humedad de diferentes patatas a diferentes temperaturas	10
Figura 5: Diagrama de estado – Apelmazamiento.....	12
Figura 6: Linealización de la isoterma de sorción entre el estado inicial y el estado crítico de un producto deshidratado con una humedad relativa de 70%.	15
Figura 7: Aspecto de bebida con calificación dentro en polvo y en preparación.....	25
Figura 8: Apelmazamiento de la bebida deshidratada en condiciones de humedad crítica.....	27
Figura 9: Bebida deshidratada en reconstitución en agua caliente a 80 °C a condiciones normales y a condiciones de humedad crítica.....	28
Figura 10: Línea de tiempo de la bebida deshidratada en el tiempo desde que es fabricado hasta que es consumido	34

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: ESPECIFICACIÓN DE EMPAQUE DE ALUMINIO	41
ANEXO 2: ESPECIFICACIÓN DE EMPAQUE METALIZADO	44
ANEXO 3: CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE VIDA EN QUITOS (T=30 °C Y HR=80%) EN EMPAQUE DE ALUMINIO).....	47

RESUMEN

Se realizó una propuesta de reemplazo del material de empaque trilaminado de aluminio de una bebida deshidratada por un empaque trilaminado metalizado. Se trabajó con tres materiales de empaque metalizados con diferente permeabilidad al vapor de agua y se determinaron las condiciones iniciales y críticas de humedad y actividad de agua de la bebida deshidratada mediante pruebas fisicoquímicas y sensoriales. Por otro lado, se calculó la ecuación que se obtiene de la linealización de la isoterma de adsorción y con los resultados del cálculo, se estimó el tiempo de vida útil en condiciones ambientales para Lima e Iquitos. El resultado de esta estimación concluyó que para Lima los empaques metalizados con permeabilidad al vapor de agua de $0.60 \text{ g/m}^2\cdot\text{día}$, $0.30 \text{ g/m}^2\cdot\text{día}$ y $0.17 \text{ g/m}^2\cdot\text{día}$, alcanzan un tiempo de vida de 9.6 meses, 19.3 meses y 34.0 meses respectivamente y para Iquitos, los mismos alcanzan un tiempo de vida de 4.8 meses, 9.5 meses y 16.8 meses respectivamente. Finalmente, se recomendó la selección del empaque metalizado que tiene una permeabilidad al vapor de agua de $0.30 \text{ g/m}^2 \text{ día}$ el cual se estima es apto para conservar al producto de los factores de degradación en Lima e Iquitos, logrando así un potencial de ahorro de dos millones quinientos mil nuevos soles.

Palabras clave: bebida en polvo, almacenamiento, envase, permeabilidad, vida en anaquel, material flexible metalizado.

ABSTRACT

The purpose of this study was to present a proposal to replace an aluminum laminate packaging material of a dehydrated beverage with a metallized laminate packaging. Three metallized packaging materials with different water vapor permeability were tested; also, initial and critical conditions of moisture and water activity were determined by physicochemical and sensory tests. In addition, the equation obtained from the linearization of the adsorption isotherm was calculated and with this, an estimation of shelf life of the product in the environmental conditions of Lima and Iquitos was obtained. The result of this estimation concluded that for Lima the metallized packaging with water vapor permeability of 0.60 g/m²day, 0.30 g/m²day and 0.17 g/m²/ day, reached a shelf life of 9.6 months, 19.3 months and 34.0 months respectively and for Iquitos, they reach a life of 4.8 months, 9.5 months and 16.8 months respectively. Finally, the recommended metallized packaging was with a water permeability of 0.3g/m² day, which is enough barrier to keep the product of the degradation factors in both, Lima and Iquitos, achieving a saving potential of 2.5 million soles.

Keywords: powdered beverage, storage, packaging, permeability, shelf life, flexible metalized material, chocolate dehydrated beverage.

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, más del 60 por ciento de la venta de las compañías de las grandes empresas de consumo masivo se da en el mercado tradicional como las bodegas y mercados, en estos puntos de venta el consumidor es de bajos niveles de desembolso y por lo tanto, las presentaciones en “*sachets*” y “*sticks*” de tipo “*single serve*” son las más comunes.

En el Perú el uso de materiales flexibles de aluminio para bebidas deshidratadas está muy difundido y su reemplazo por metalizado representa un potencial de ahorro para las empresas; sin embargo, debido a la diversidad climática del Perú, un cambio de empaque primario se debe realizar cuidadosamente considerando las diversas condiciones a las que está expuesto durante su distribución y venta.

La estructura de un trilaminado de aluminio es la barrera que ofrece mejor protección funcional en los empaques flexibles y se utiliza para proteger productos sensibles a la humedad y al oxígeno y así garantizar un mayor tiempo de vida en el mercado.

Sin embargo, considerando que esta estructura es costosa y que tiene impactos ambientales negativos, la industria ha ido desarrollando diferentes estructuras para reemplazarlos, entre estas estructuras se encuentra la estructura metalizada como una opción más económica.

Cada tipo de estructura de laminado ofrece diferentes beneficios a los productos y un cambio de la misma por una estructura metalizada logrará entregar beneficios económicos para la industria pero a su vez impactará en una posible reducción del tiempo de vida, de ahí la importancia de conocer las características del producto, del material y de la cadena de suministro y así explorar la oportunidad para su desarrollo y aplicación.

Adicionalmente, en la industria alimentaria la velocidad a la que se necesita innovar es bastante acelerada y muchas veces no es posible esperar a realizar un tiempo de vida útil a tiempo real y validar una opción de empaque nueva sin gastar tiempo y recursos. Es por ello que hoy existen diversas metodologías que tratan de predecir el tiempo de vida de un producto y que ayudan al especialista a seleccionar una opción adecuada de barrera antes de invertir recursos y poder así acortar los tiempos de lanzamiento.

Objetivos Principales:

- Proponer el reemplazo de una estructura de un empaque primario de trilaminado de aluminio por una estructura trilaminada metalizada en una bebida deshidratada.
- Estimar el impacto del tiempo de vida considerando las condiciones climáticas de Lima e Iquitos.

Objetivos secundarios:

- Determinar las características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de la bebida deshidratada.
- Determinar la humedad inicial y la humedad crítica de la bebida deshidratada.
- Determinar la actividad de agua inicial y la actividad de agua crítica de la bebida deshidratada.
- Calcular la ecuación lineal entre las condiciones iniciales y críticas y determinar la humedad de equilibrio.
- Determinar el potencial de ahorro económico por el reemplazo de aluminio por metalizado.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. DESHIDRATACIÓN

La deshidratación es una de las operaciones mayoritarias en el procesamiento de alimentos. Existen muchas técnicas de deshidratación, entre ellas las comúnmente utilizadas aplican aire caliente, congelación y secado por atomización. Hay muchos atributos de calidad de los productos que están relacionados al estado físico de los ingredientes de un producto deshidratado. Los componentes menores tales como los sabores y aromas, vitaminas, enzimas y microorganismos son encapsulados en los ingredientes mayores de la matriz del producto seco. Cualquier cambio en el estado físico del producto tiene la posibilidad de afectar las características fisicoquímicas de los ingredientes menores así como los mayoritarios (Bhandari y Howes 1999).

Fennema (1993), cita que la deshidratación trata de la reducción del contenido de agua del alimento, bajando así el nivel de actividad de agua y quedando detenidas la mayoría de las reacciones de deterioro. Además menciona que los métodos de secado buscan también reducir el peso y volumen, trata de facilitar el transporte y almacenamiento, así también como dar comodidad de empleo.

2.2. BEBIDAS ELABORADAS CON CACAO

El chocolate para beber ha reemplazado en cierto grado al cacao en polvo para la preparación de bebidas. En general, el chocolate para beber es más fácil de preparar que el cacao, y con él se pueden preparar bebidas frías, o se puede servir y distribuir sin adición de lecitina. En su presentación más simple, el chocolate para beber contiene alrededor de 70 por ciento sacarosa o de otros azúcares autorizados, y de un 30 por ciento de cacao en polvo (Varnam y Sutherland 1994).

Varnam y Sutherland (1994) también indican que al chocolate para beber se le puede incorporar leche en polvo para conseguir un producto completo y realmente instantáneo.

Normalmente no se recomienda el uso de leche en polvo entera debido a las alteraciones oxidativas que limitan la vida útil del producto.

2.2.1. REQUISITOS MICROBIOLÓGICOS

MINSA (2008), en la RM N° 591-2008 establece los criterios microbiológicos para esta bebida los cuales se pueden apreciar en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano

IV.3 Mezclas en seco de uso instantáneo (refrescos, gelatinas, cremas, otros).						
AGENTE MICROBIANO	CATEGORÍA	CLASE	n	c	LÍMITE POR g	
					M	M
Coliformes	5	3	5	2	10	10 ²
Staphylococcus aureus	8	3	5	1	10	10 ²
Bacillus cereus (*)	7	3	5	2	10 ²	10 ²
Salmonella sp. (**)	10	2	5	0	Ausencia/25g	--
Mohos	3	3	5	1	10	10 ²
(*) Sólo para productos que contengan cereales						
(**) Sólo para productos que contengan leche, cacao y/o huevo.						

FUENTE: MINSA (2008).

2.3. HUMEDAD

La humedad, o también conocida como contenido de agua es la cantidad de agua que está contenida en el producto, se calcula en base seca como la cantidad de agua en el producto entre la cantidad de sólidos del producto por cien (Wyser y Lanctuit 2015).

El contenido de agua de un alimento se refiere, en general a toda el agua de manera global.

Sin embargo, en los tejidos animal y vegetal, el agua no está uniformemente distribuida por muchas razones, por ejemplo, debido a los complejos hidratados que se producen con proteínas, a los hidratos de carbono y otros, a las diversas estructuras internas propias de cada tejido, a los micro capilares que se forman, a su incompatibilidad con los lípidos que no permiten su presencia (Aquino y Sánchez 2015).

El término contenido de agua no informa por si solo de la naturaleza de esta agua, ya que el agua puede ser libre o ligada. Aunque no hay una definición exacta para estas dos fracciones se puede decir que el agua ligada es aquella porción que está fuertemente unida al alimento por medio de puentes de hidrógeno y no congela a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, por lo que también se llama agua no congelable, mientras que el agua libre o agua congelable, es el agua que tiene movilidad y está disponible para participar en las reacciones de deterioro de los alimentos. El contenido de agua de los alimentos es uno de los factores individuales que más influye en su alterabilidad, aunque alimentos con el mismo contenido de agua pueden sufrir un proceso de alteración diferente y tener distintas vidas en el anaquel, ya que su estabilidad está en función de la actividad de agua (Badui 1995).

2.4. ACTIVIDAD DE AGUA

La actividad de agua en alimentos es un parámetro fisicoquímico relacionado con la interacción de moléculas de agua y componentes no acuosos presentes –disponibilidad de agua– (Badui, citado por Condezo 2002).

Labuza (1985), define la actividad de agua como:

$$A_w = \frac{f}{f_0} = \frac{p}{p_0}$$

Donde:

A_w = actividad de agua

f y p = Fugacidad y presión de vapor de agua en el alimento, respectivamente.

f_0 y p_0 = Fugacidad y presión de vapor del agua pura, respectivamente.

Según Fennema (2008), a bajas presiones, la diferencia entre f/f_0 y p/p_0 es menor a 1 por ciento, por la que la definición de la actividad de agua en términos de p/p_0 es claramente justificable. Esta igualdad se basa en condiciones ideales (soluto ideal en solución diluida) y de equilibrio termodinámico. Además menciona que p/p_0 es también llamada presión de vapor relativa (RVP) y está relacionada con el porcentaje de humedad relativa de equilibrio (ERH) del ambiente del producto de la siguiente manera:

$$RVP = \frac{p}{p_0} = \%ERH/100$$

Cabe resaltar que la RVP es una propiedad intrínseca de la materia y la ERH de la atmósfera en equilibrio con la muestra y que solamente es una igualdad si se establece un equilibrio entre el producto y su ambiente o entorno. También se le conoce como la fuerza con la que está ligada el agua al producto, por tanto es un indicador de la disponibilidad de agua para las reacciones de deterioro.

Según Torres, citado por Condezo (2002), las reacciones de deterioro que controlan la estabilidad de un alimento pueden ser de naturaleza:

- Microbiológica, que induce a cambios químicos y organolépticos.
- Química, como la oxidación que generan modificaciones organolépticas y pérdida de nutrientes.
- Bioquímica: que incluyen reacciones enzimáticas que modifican el color y el valor nutritivo.

El producto se degrada a diferentes actividades de agua, según el diagrama de Badui (1995), el cual relaciona la velocidad de reacción con la actividad de agua del mismo. (Figura 1).

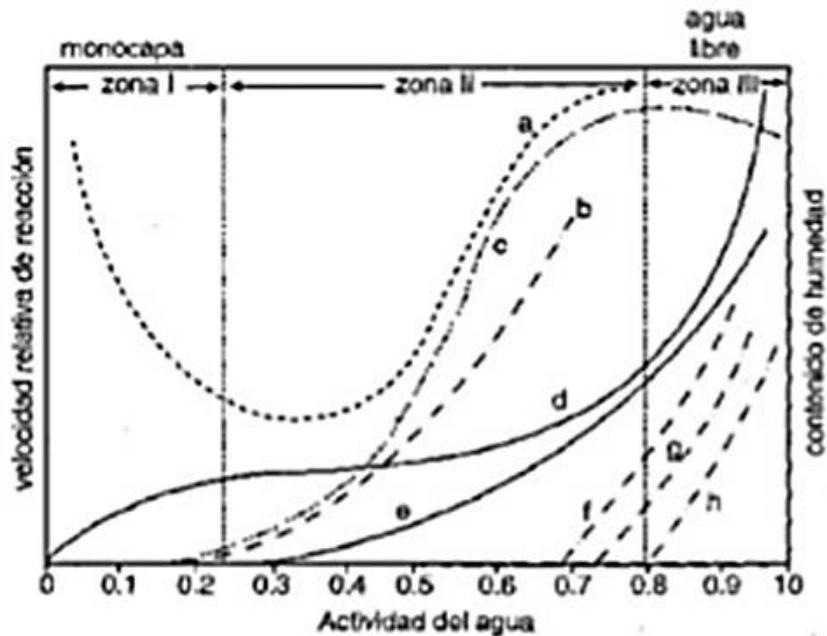


Figura 1: Velocidad relativa de diferentes reacciones de deterioro en alimentos en función de la actividad de agua.

(a) Oxidación de lípidos, (b) reacciones hidrolíticas, (c) oscurecimiento enzimático, (d) isoterma de adsorción, (e) actividad enzimática, (f) crecimiento de hongos, (g) crecimiento de levadura, y (h) crecimiento de bacterias. FUENTE: Badui (1995).

2.5. ISOTERMA DE SORCIÓN

También conocida como higrocapacidad, es la curva que grafica la relación entre la cantidad de agua en base seca de un producto y su actividad de agua. Según Fennema (1993), las isotermas de sorción de humedad son representaciones que relacionan, en el equilibrio y a temperatura constante, el contenido de agua de un alimento en base seca y su actividad de agua.

Cada tipo de alimento generará una curva característica donde se apreciará la desorción y adsorción de humedad, la falta de coincidencia de la curva de desorción y adsorción se le conoce como histéresis. El fenómeno de histéresis puede ser explicado por la interacción del agua caliente con los poros o capilares. Durante la adsorción de humedad, el agua se mueve hacia los capilares. En la desorción, los capilares pueden vaciarse de modo diferente. La estrechez de la superficie de los poros puede atrapar y retener el agua internamente, posibilitando que exista mayor contenido de agua a más baja a_w (Bell y Labuza, citado por

Condezo 2002).

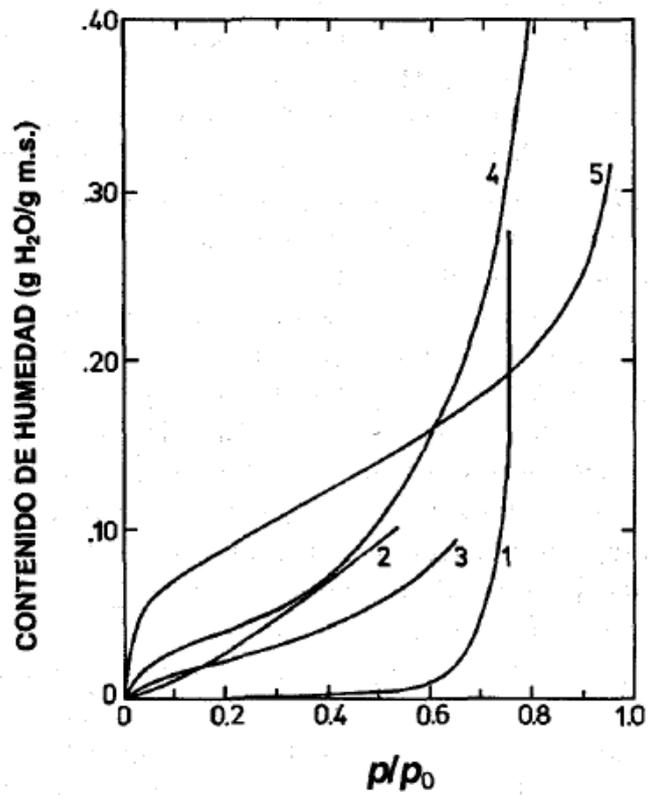


Figura 2: Isotermas de sorción de distintos alimentos y sustancias biológicas.

(1) Producto de repostería (principal componente sacarosa en polvo), (2) extracto de achicoria desecada por atomización, (3) café tostado de Colombia, (4) polvo de extracto de páncreas porcino y (5) almidón de arroz nativo.

FUENTE: Fennema (1993).

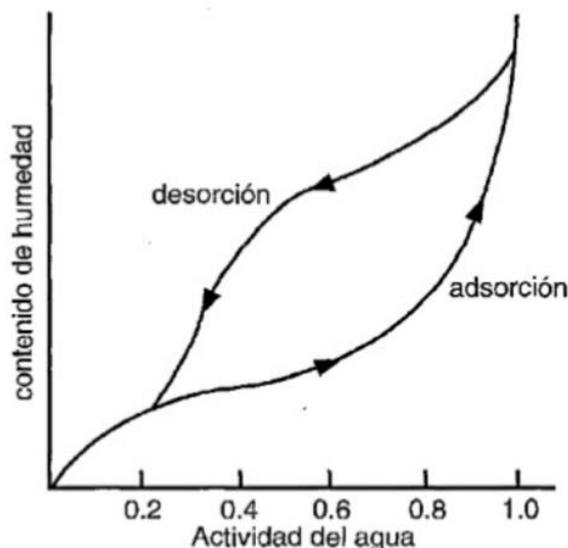


Figura 3: Curvas típicas de isoterma de adsorción y desorción de los alimentos.

FUENTE: Badui, citado por Aquino y Sánchez (2015).

2.5.1. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA ACTIVIDAD DE AGUA E ISOTERMAS DE SORCIÓN

Labuza *et al* (1985) y Fennema (2008), coinciden en que la presión de vapor relativa depende de la temperatura, pudiendo determinarse cuantitativamente aplicando la ecuación de Clausius- Clapeyron modificada. Esta ecuación, aunque está basada en la A_w , es aplicable a la RVP:

$$\frac{d \ln a_w}{d\left(\frac{1}{T}\right)} = \frac{-\Delta H}{R}$$

Donde:

T = temperatura absoluta, R = constante de los gases y ΔH = calor isostérico neto de sorción al contenido de agua de la muestra o calor de adsorción, a_w = actividad de agua.

En general, dependiendo del producto, un cambio de 10 °C de temperatura causará un cambio de 0.03 a 0.20 en el cociente de p/po. Este comportamiento tiene importancia en los alimentos empaquetados, porque sufrirán un cambio en la RVP al cambiar la temperatura

haciendo que la dependencia de la temperatura de su estabilidad sea mayor que la del mismo producto sin empaquetar. En consecuencia las isotermas de sorción también tienen que ser dependientes de la temperatura.

En la figura 4 se puede observar que a cualquier contenido de humedad la presión de vapor relativa (p/p_0) aumenta al aumentar la temperatura.

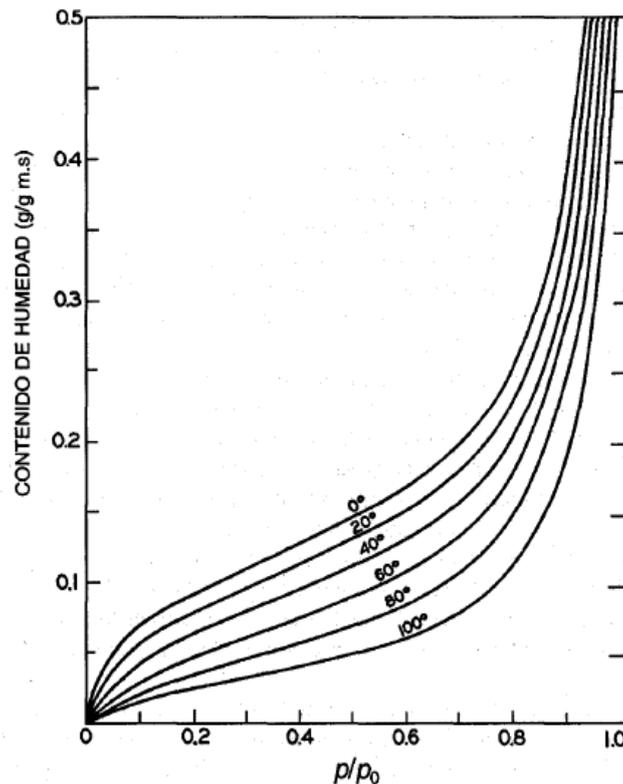


Figura 4: Isotermas de desorción de humedad de diferentes patatas a diferentes temperaturas.

FUENTE: Fennema (1993).

2.5.2. IMPORTANCIA DE LAS ISOTERMAS DE SORCIÓN

Según Condezo (2002), las isotermas de sorción son importantes porque permiten determinar:

- a. El calor de sorción y desorción empleado en el diseño de sistemas de almacenamiento, secado

- b. La interacción del agua y sus componentes para el diseño de operaciones de secado, mezclado, empaçado y almacenamiento
- c. Las propiedades estructurales como área superficial, porosidad y cristalinidad, de utilidad para la selección de las condiciones de almacenamiento y empaçado, que maximicen la retención de aroma, color, textura, nutrientes y la estabilidad microbiológica.
- d. Las condiciones críticas de humedad, y consecuentemente, el nivel de protección al vapor de agua requerido para preservar sus características originales.
- e. Las propiedades de adsorción de vapor de agua de biopolímeros.

2.6. TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA

Es la temperatura a la cual por debajo de ella el producto se pone duro y cristalino y por encima se pone elástico y donde empieza el apelmazamiento, la textura se vuelve más suave. En la mayoría de alimentos depende en el contenido de humedad.

Según Fennema (1993), es la temperatura a la que una solución supersaturada (líquido amorfo) se convierte en un vidrio.

En la presente gráfica se pueden observar las diferentes transiciones en la que el producto se puede encontrar en función de la concentración de humedad y la temperatura. Para bebidas deshidratadas usualmente la temperatura se encuentra entre 20 °C a 30 °C y 2 a 3 por ciento de humedad residual (Wyser y Lanctuit 2015).

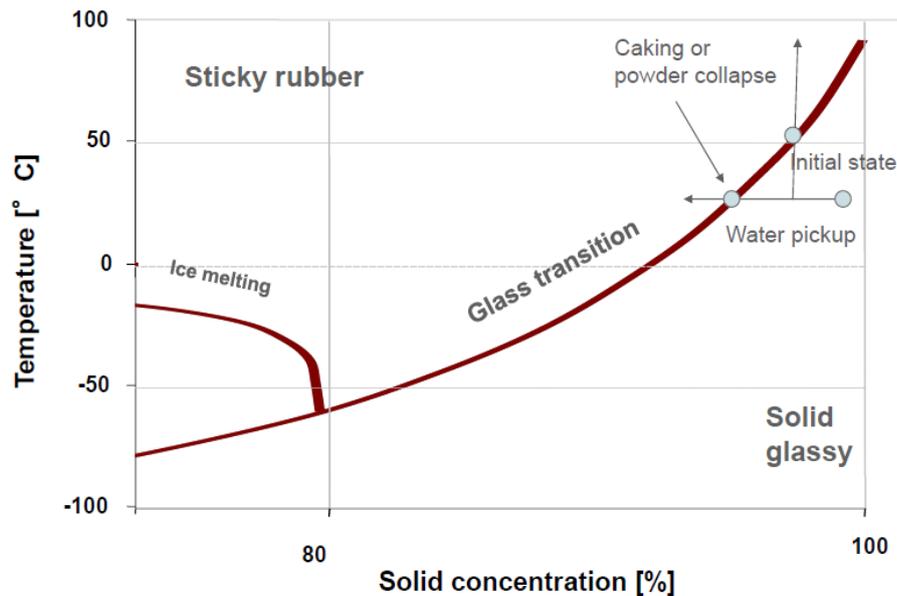


Figura 5: Diagrama de estado – Apelmazamiento.

FUENTE: Wyser y Lanctuit (2015).

Si se empaqueta un alimento en un empaque permeable, habrá cierta ganancia de humedad y el producto puede llegar a cruzar la temperatura de transición vítrea donde el producto pasa de ser un sólido amorfo y se vuelve elástico “*rubbery*” y se apelmaza (Wyser y Lanctuit 2015).

Según Fennema (2008), el agua es un plastificador de gran eficacia que afecta a la temperatura de transición vítrea, a medida que aumenta el agua, la Tg decrece y aumenta el volumen libre, en general, la Tg decrece alrededor de 5-10 °C por cada unidad de porcentaje de peso de agua añadida.

2.7. TIEMPO DE VIDA

Existen varias definiciones sobre lo que significa tiempo de vida útil. Según el *Institute of Food Science & Technology* (IFST) de los Estados Unidos es el tiempo durante el cual un alimento se mantiene seguro, se asegura se mantiene las características sensoriales, químicas, físicas y microbiológicas deseadas y cumple con toda la data nutricional indicada en la etiqueta, cuando se almacena bajo condiciones recomendadas (IFST 1993).

2.7.1. PREDICCIÓN DEL TIEMPO DE VIDA

Según Fennema (2008), si el efecto de la actividad de agua es conocido, la vida útil en condiciones normales puede predecirse exactamente a partir de los datos obtenidos en condiciones de alta temperatura y humedad relativa. Además, la modelación matemática para predecir la ganancia de humedad en el tiempo se puede realizar usando un número adimensional, L. Si se conoce la velocidad de pérdida de calidad en función de la temperatura y la actividad de agua, así como las propiedades de barrera del envoltorio, puede predecirse para cualesquiera condiciones de temperatura- humedad la pérdida de la vida útil con el tiempo.

2.7.2. PRUEBAS ACELERADAS DE TIEMPO DE VIDA

Requiere el modelaje matemático de la cinética de pérdida de calidad. Emplea condiciones extremas, examinando el producto periódicamente hasta el final de su vida útil. Los resultados permiten proyectar la vida útil bajo condiciones verdaderas de distribución. Algunas compañías cuentan con un factor histórico, basado en la experiencia para estimar la vida útil a partir de resultados obtenidos en condiciones extremas (Labuza y Schmidt 1995).

En las pruebas aceleradas de alimentos sensibles a la humedad, se ha empleado condiciones de temperatura y humedad relativa como factores de aceleración (Labuza *et al.* 1985).

2.7.3. CINÉTICA DE PÉRDIDA

Labuza (1982), presenta un modelo basado en la Ley de Fick y de Henry para estudiar la cinética de cambio de humedad de alimentos empacados a temperatura constante:

$$\frac{dw}{d\theta} = \frac{Kw}{x} A(P_{ext} - P_{int})$$

Donde:

$dW/d\theta$: Velocidad de transferencia de agua, en gramos de agua ganada o perdida por día.

Kw/x : Permeabilidad del empaque al vapor de agua, en gramos de agua/día.m²

- A : Área de exposición del empaque, en m²
 Pext : Presión de vapor de agua del medio ambiente, en mm Hg.
 Pint : Presión de vapor de agua del alimento, en mm Hg.

El agua transferido a través del empaque es absorbido por el alimento, considerando que el aire saturado a temperatura ambiente contiene 0.0002 gramos de agua/cm³; en tanto que 1 gramo de producto seco puede retener 0.1 gramos de agua (Pfieffer *et al.* citado por Condezo 2002).

Es posible determinar la vida útil de un alimento empacado en función a la ganancia o a la pérdida de la humedad, sin considerar reacciones bioquímicas secundarias. Para ello, se resuelve la ecuación diferencial de la forma de $dt = K(A_w)dA_w$, mediante métodos numéricos (Bureau y Multon, citado por Condezo 2002).

La pérdida o ganancia de humedad a través de un empaque depende de la isoterma de sorción del alimento, las condiciones de temperatura y humedad relativa de almacenamiento y la permeabilidad al vapor de agua del empaque (Labuza 1982).

Por otro lado, Wyser y Lanctuit (2015), indican que la predicción del tiempo de vida se puede estimar con una relación lineal entre el estado inicial y el estado crítico en la isoterma de sorción y se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo vida útil} = \ln\left(\frac{m_e - m_i}{m_e - m_c}\right) * \left(\frac{RH * W * b}{WVTR * A * 10000}\right)$$

Donde:

m_e = contenido de humedad en equilibrio teórico con la humedad relativa

m_i = contenido de humedad inicial

m_c = contenido de humedad crítico

RH = humedad relativa de las condiciones climáticas

W = peso del producto

b = pendiente que relaciona la actividad de agua y el contenido de humedad

WVTR = tasa de transmisión al vapor de agua del empaque

A = Superficie del empaque donde se da la transmisión de vapor de agua

A continuación, se puede ver la gráfica sobre el cual se basa esta fórmula:

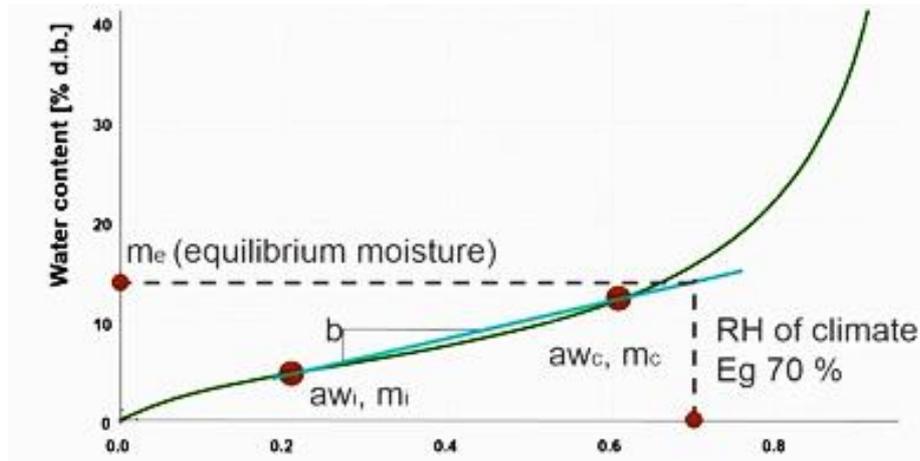


Figura 6: Linealización de la isoterma de sorción entre el estado inicial y el estado crítico de un producto deshidratado con una humedad relativa de 70%.

FUENTE: Wyser y Lanctuit (2015).

Donde:

aw_i = actividad de agua inicial

aw_c = actividad de agua crítica

m_e = contenido de humedad en equilibrio teórico con la humedad relativa

m_i = contenido de humedad inicial

m_c = contenido de humedad crítico

RH = humedad relativa del ambiente

b = pendiente que relaciona la actividad de agua y el contenido de humedad

Labuza y Schmidt (1985), indican que la vida en anaquel depende de cuatro factores principales: formulación, procesamiento, empaque y condiciones de almacenamiento. La formulación involucra la selección de materia prima más apropiada e ingredientes funcionales que permiten la incrementar la aceptación y lograr la seguridad e integridad del producto. El procesamiento somete las materias primas e ingredientes a condiciones que son favorables o inhibitorias para las reacciones de deterioro y promueven cambios físicos y químicos favorables que dan al alimento su forma y características finales.

2.7.4. FACTORES DE CALIDAD QUE IMPACTAN EL TIEMPO DE VIDA

Durante el almacenamiento y distribución, el alimento se expone a una gran gama de condiciones ambientales. Según Rivera (2016), factores ambientales como la temperatura, humedad, oxígeno y la luz, que pueden activar varios mecanismos de reacción que puedan llevar a la degradación del alimento. Como consecuencia de estos mecanismos, pueden alterarse alimentos a magnitudes semejantes a los que son rechazados por el consumidor, o pueden causar daño a las personas que los consumen. Es por consiguiente indispensable que se entiendan bien las reacciones que causan el deterioro del deterioro lo cual con lleva a desarrollar procedimientos específicos para la evaluación de vida útil de los alimentos.

Labuza y Schmidt (1985), señalan que en las pruebas aceleradas, los análisis pensados deberían estar basados en los modos de deterioro sensorial, análisis químicos, contenido de humedad y análisis microbiológicos. En el Cuadro 2, se pueden observar los factores de calidad organoléptica y sanitaria que controlan el tiempo de vida.

Cuadro 2: Factores de calidad que controlan la vida útil de algunos alimentos

ALIMENTO	FACTOR DE CALIDAD	EJEMPLOS
Cereales	Ganancia de humedad Oxidación de lípidos	Cereales de desayuno, galletas, etc.
Snacks	Ganancia de humedad Oxidación de lípidos	Productos extruidos.
Café	Ganancia de humedad Pérdida de aromas	Café soluble
Productos instantáneos	Ganancia de humedad Oxidación de lípidos	Sopas, salsas deshidratadas y bebidas en polvo.
Leche en polvo	Ganancia de humedad Pardeamiento no enzimático	Bebidas en polvo a base de leche.
Mezclas deshidratadas	Crecimiento de mohos Ganancia de humedad	Todo tipo de productos deshidratados.

FUENTE: Condezo (2002)

2.8. MATERIALES DE EMPAQUE DE ALIMENTOS

Según Magret (2002), son los materiales utilizados para contener un producto alimenticio con el fin de protegerlo y representarlo durante un periodo de tiempo determinado, que debe ser mayor al tiempo de vida acelerado. El empaque puede tener varios niveles siendo estos generalmente envases primarios y envases secundarios.

2.8.1. EMPAQUES FLEXIBLES

Los envases flexibles son cuerpos tridimensionales hechos de materiales complejos que se dejan enrollar, doblar, formar y fraccionar. A estos materiales de envase compuestos se les denomina genéricamente “laminados flexibles” (Illanes 2004).

2.8.2. EMPAQUE FLEXIBLE TRILAMINADO DE ALUMINIO

Es un envase realizado por el extruido de tres capas de material diferente: Plásticos - PET - polinaftalato de etileno (PET), Metal - Aluminio (AL) y Plásticos –Polietileno de Baja Densidad (PE), o también PET/AL/PE (Magret 2002).

Se puede observar un ejemplo de las especificaciones de este material en el anexo 1.

2.8.3. POLINAFTALATO DE ETILENO

Según NAPCOR 2014, mencionado por Rivera (2016), el PET tiene buenas propiedades de barrera que protegen y conservan el contenido del empaque, diferentes tecnologías pueden mejorar aún más las propiedades inherentes de barrera del PET y ofrecen una mayor protección a las propiedades naturales de los productos envasados contra la migración de oxígeno y dióxido de carbono.

Usualmente es la capa de material sobre el que se imprime la etiqueta ya que es la capa externa.

2.8.4. ALUMINIO

Es la capa que es la barrera principal del empaque para protección del alimento. Según PROEXPORT, mencionado por Rivera (2016), las principales ventajas del aluminio son:

- Resistencia mecánica
- Ligereza
- Estanqueidad y hermeticidad
- Opacidad a la luz y radiaciones
- Versatilidad
- Adecuación para la distribución comercial
- Economía de costos
- Reciclabilidad

Según García, *et al* (2011), el aluminio, mejor conocido como “foil” por su nombre en inglés, es una lámina de barrera contra los gases y la luz.

2.8.5. POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD (PE-BD)

Según COGERSA, mencionado por Rivera (2016) el polietileno de baja densidad es un tipo de plástico utilizado en aplicaciones que no requieren rigidez tales como las bolsas de un solo uso, los embalajes industriales, las lonas de impermeabilización de terrenos y edificios, etc.

En la industria de envases flexibles la capa de polietileno de baja densidad se añade para facilitar el sellado de las películas con el calor y así garantizar la hermeticidad del empaque. García, *et al* (2011), el polietileno es flexible, fácilmente estirable, es una barrera contra el vapor de agua, no tiene olor ni sabor y es fácilmente sellable por calor.

2.8.6. EMPAQUE FLEXIBLE METALIZADO

Illanes (2004) plantea que un film metalizado es una película, normalmente plástica o celulósica sobre la cual se ha aplicado un delgado recubrimiento metálico y cuyo proceso consiste en vaporizar aluminio por medio de la aplicación de calor y de alto vacío, el cual es posteriormente condensado sobre una película base enfriada en un cilindro.

Las sopas en polvo y los refrescos tienen componentes higroscópicos, sensibles a la humedad y oxígeno, por lo que son utilizados envases flexibles laminados con base de polietileno de baja densidad, laminado con poliéster metalizado (PETmet) (Illanes 2004).

Se puede observar un ejemplo de las especificaciones de este material en el anexo 2.

2.9. PERMEABILIDAD

La permeabilidad es la fuerza que mueve a las moléculas a moverse desde la parte externa del empaque hacia dentro por la diferencia de presiones de vapor de agua u oxígeno, dentro y fuera del empaque (Wyser y Lanctuit 2015).

También se define como el proceso de transferencia de masa a través del material de envase por gradiente de concentración con el entorno exterior, presión y es sensible a la temperatura donde las moléculas deben disolverse en la estructura de la película, segundo las moléculas se difunden a través de las capas de la estructura y tercero las moléculas se recomponen en lado opuesto de la pared de la estructura (Illanes 2004).

2.9.1. PERMEABILIDAD EN EMPAQUES

Esta fuerza se puede calcular mediante fórmulas, sin embargo, esta información usualmente se encuentra determinada por el proveedor del material de empaque bajo condiciones estándares (Wyser y Lanctuit 2015).

OTR o ratio de transmisión de oxígeno, es la medida de permeabilidad de la barrera al oxígeno en un área determinada, temperatura y humedad relativa (Wyser y Lanctuit 2015).

WVTR o ratio de transmisión de vapor de agua, es la medida de permeabilidad de la barrera al vapor de agua en un área determinada, temperatura y humedad relativa (Wyser y Lanctuit, 2015).

Magret (2002) presenta algunos ejemplos en el Cuadro 3:

Cuadro 3: Transmisión de gases, transmisión de vapor de agua y adsorción de agua de diferentes materiales

MATERIAL	TRANSMISIÓN DE GASES cc/100pulg ² /hr. A 22°C Y 1ml)			TRANSMISIÓN DE VAPOR DE AGUA (g/100 pulg ² /24hr a 76cm DE MERCURIO, 37.8 °C, 90%HR, 1ml)	ADSORCIÓN DE AGUA (EN INMERSIÓN EN 24hr., % 1ml)
	O ₂	N ₂	CO ₂		
Polietileno de baja densidad	500	200	1350	1.4	0-0.8
Polietileno de alta densidad	100-150	50-60	300-400	0.3	Nula
Polipropileno	200-300	3-100	700-800	1.2	0.005 o menos

FUENTE: Magret (2002)

III. DESARROLLO DEL TEMA

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

- *Sachet* con bebida deshidratada achocolatada
- Placa Petri
- Especificaciones técnicas de los materiales de empaque.
- Regla
- Estufa de temperatura y humedad relativa controlada
- Mufla
- Balanza analítica METTLER TOLEDO
- Molino DITTING, Serie K1800
- Equipo de medición directa de actividad de agua AQUALAB ® mod. Decagon Serie 3TE.

3.2. METODOLOGÍA

- Se determinó la humedad inicial del producto, colocándolo en desecación hasta peso constante. La humedad hallada por diferencia de peso se expresa en base seca (AOAC 1990).
- Se determinó la actividad de agua inicial del producto con el equipo AQUALAB model 3TE a 25 °C empleando la técnica del punto de rocío. Este fue calibrado con una solución sobresaturada de cloruro de litio 8.57 M y cloruro de sodio 6 M (AOAC 2005).
- Se determinó la humedad crítica, colocando la bebida deshidratada expuesta en placas petri a altas concentraciones de humedad y se realizó evaluaciones sensoriales con cierta frecuencia tanto directamente como en preparación, con cinco panelistas y cuando tres de ellos coincidieron en que el producto está fuera

de especificación, se procedió a medir la humedad crítica (AOAC 1990) y actividad de agua crítica (AOAC 2005) como descrito anteriormente.

- Se realizó la medición del tamaño del empaque y del espacio de sellado usando una regla y se calculó la superficie de intercambio de gases descontando el área de sellado.
- Con los valores de humedad inicial, actividad de agua inicial, humedad crítica y actividad de agua crítica se calculó la pendiente (b) de la ecuación lineal.
- Se reemplazó el valor de humedad inicial y se calculó la constante (c) de la ecuación lineal.
- Se calculó la actividad de agua de equilibrio utilizando la fórmula: $\%HR/100 = a_w$ para ambas condiciones (Fennema 2008).
- Se reemplazó el valor de a_w en la ecuación lineal y se obtuvo el resultado de humedad de equilibrio.
- Por otro lado, se determinó la permeabilidad del empaque al vapor de agua en las condiciones ambientales en estudio sellando con hojas y películas la boca de una vasija que contiene un peso determinado de material desecante. La vasija se colocó en una atmósfera con temperatura y humedad reguladas simulando las condiciones de Iquitos y Lima. Se pesó el desecante periódicamente para determinar la cantidad de humedad asimilada, se obtuvo una medida de la transmisión de vapor de agua en términos de gramos por 625 cm² de película por 24 horas bajo las condiciones definidas de humedad y temperatura, el resultado se expresó en las unidades g/m²/día (Magret 2002).
- Finalmente se determinó el cálculo del tiempo de vida útil para cada ambiente y tipo de empaque con el siguiente el modelo (Wyser y Lanctuit 2015).

$$\text{Tiempo vida útil} = \ln\left(\frac{m_e - m_i}{m_e - m_c}\right) * \left(\frac{RH * W * b}{WVTR * A * 10000}\right)$$

3.3. CARACTERIZACIÓN DE LA BEBIDA DESHIDRATADA

El producto es una mezcla en polvo utilizada para preparar una bebida achocolatada cuyos ingredientes son:

- Extracto de malta de cebada (40%)

- Leche descremada en polvo
- Azúcar
- Cocoa en polvo
- Oleína de palma
- Fosfato tricálcico
- Pirofosfato de Hierro
- Vitaminas: C, B3, B6, B2, D y B12

El Cuadro 4, muestra el análisis químico proximal de la bebida achocolatada:

Cuadro 4: Composición química proximal de la bebida achocolatada

COMPONENTE	DECLARADO EN EL EMPAQUE POR 100g	MÍNIMO	MÁXIMO	RESULTADO ANALÍTICO*
Grasas	8 g	5.6 g	10.4 g	8.02 g
Grasas saturadas	4.9 g	3.43 g	6.37 g	4.38 g
Grasas trans	0.22 g	0.154 g	0.286 g	0.27 g
Carbohidratos	80.0 g	56.0 g	104.0 g	73.6 g
Azúcares Totales	52.0 g	36.4 g	67.6 g	46.8 g
Proteínas	11.0 g	7.7 g	14.3 g	11.1 g
Sodio	290 mg	203 mg	435 mg	242 mg
Vitamina D	6.40 ug	6.40 ug	12.8 ug	7.3 ug
Vitamina C	65.0 mg	65.0 mg	170.0 mg	122.8 mg
Vitamina B2	1.24 ug	1.24 ug	2.48 ug	1.94 ug
Vitamina B3	20.00 mg	20.0 mg	40.0 mg	28.0 mg
Vitamina B6	1.80 mg	1.80 mg	3.60 mg	2.64 mg
Vitamina B12	3.40 ug	3.40 mg	6.80 mg	5.19 mg
Calcio	500.0 mg	500.0 mg	750.0 mg	604.0 mg
Hierro	12.00 mg	12.00 mg	36.00 mg	14.60 mg
Fósforo	500.0 mg	500.0 mg	750.0 mg	580.0 mg

*Promedio de dos repeticiones.

Como se puede observar los componentes de grasas, grasas saturadas, proteínas son muy cercanos a los reportados como información nutricional en el empaque. Además, se puede observar que para la Vitamina C, el valor reportado en el análisis es cercano al 100 por ciento el valor declarado en la etiqueta. Según Bhandari y Howes (1999), el contenido de Vitamina C se puede afectar drásticamente durante el tiempo de vida en anaquel por su reacción con

el oxígeno, por ello se explica la sobre dosificación de la vitamina para que así pueda lograr mantener una dosis conforme lo declarado durante todo su tiempo de vida.

Badui (1995) y Condezo (2002) coinciden que los factores de deterioro para este producto son la ganancia de humedad y la oxidación de lípidos. Sin embargo, el producto utiliza dentro de su formulación leche desgrasada y el contenido de grasa está por debajo de 8% por lo que su impacto no se considera crítico, a diferencia de otras bebidas deshidratadas como la leche en polvo entera que es altamente susceptible a la oxidación y pardeamiento no enzimático (Pacheco 2016).

De manera complementaria, en el Cuadro 5 se muestra los resultados de análisis microbiológicos del producto recién empacado.

Cuadro 5: Resultado de análisis microbiológico de la bebida deshidratada según los requisitos establecidos por DIGESA, Categoría IV.3

AGENTE MICROBIANO	REQUISITO	RESULTADO	CONCLUSIÓN
Coliformes	10 UFC/g	<3 UFC/g	Conforme
Staphylococcus aureus	10 UFC/g	<10 UFC/g	Conforme
Bacillus cereus	100 UFC/g	<100 UFC/g	Conforme
Salmonella sp.	Ausencia en 25g	Ausencia en 25g	Conforme
Mohos	<100 UFC/g	< 10 UFC/g	Conforme

Según Varnam y Sutherland (1994), en las bebidas achocolatadas el cacao supone una fuente potencial de microorganismos patógenos, principalmente Salmonella y de microorganismos alteradores como el Bacillus. Los resultados son conformes, esto se explica porque la actividad de agua está por debajo de 0.6, en ese rango de actividad de agua según Badui (1995), el crecimiento de hongos, levaduras y bacterias está inhibido.

En el siguiente Cuadro 6 se presentan los resultados sensoriales de la evaluación del producto recién empacado en seco y en preparación.

Cuadro 6: Resultados de la evaluación sensorial de la bebida deshidratada (n=5*)

ATRIBUTO EVALUADO	COMENTARIOS	NORMA	RESULTADO
Sabor	Sabor a cocoa y malta, moderados, sabor lácteo medio y sabor a cereal ligero.	Dentro	Dentro
Color	En polvo, café oscuro. En preparación, café claro.	Dentro	Dentro
Olor	Aroma moderado a cocoa, lácteo y malta.	Dentro	Dentro
Apariencia	En polvo, fluido, sin grumos. En preparación, soluble, sin flotadores.	Dentro	Dentro

*Panelistas entrenados.

Como se puede observar, los panelistas que participaron en la evaluación determinaron que la muestra se encuentra con calificación dentro para los atributos clave tales como: sabor, color, olor y apariencia. Esto es importante ya que indica que el producto se encuentra idóneo para poder iniciar las pruebas de determinación de humedad inicial y crítica y también nos permite contar con muestras aprobadas como referencia sensorial.



Figura 7: Aspecto de bebida con calificación dentro en polvo y en preparación.

Como se puede observar tanto en el Cuadro 6 como en la Figura 7, es importante que el producto tenga una apariencia fluida y no tenga grumos ya que esto permitirá la facilidad de

solubilización del mismo al momento de preparar la bebida, por lo cual se considera un atributo sensorial relevante para una bebida de preparación instantánea.

3.4. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD INICIAL Y ACTIVIDAD DE AGUA INICIAL DEL PRODUCTO

En el Cuadro 7 se muestran los valores de humedad inicial y actividad de agua. Esta muestra se tomó del producto recién envasado.

Cuadro 7: Resultados de humedad inicial y actividad de agua inicial

HUMEDAD EN BASE SECA (mi)	ACTIVIDAD DE AGUA (awi)
1.65	0.19

El resultado de humedad en el producto es conforme, lo cual indica que el producto a granel ha sido mantenido en condiciones óptimas desde su fabricación hasta el envasado, esto se puede explicar porque los ambientes donde se procesa tienen condiciones controladas con temperatura menor a 25 °C y humedad relativa menor a 50 por ciento.

Así mismo, tanto la humedad de 1.65 como el resultado de actividad de agua de 0.19, se encuentra cercanos a los valores de humedad y actividad de agua (1.76 y 0.2 respectivamente) que Pacheco (2016) determinó para un producto deshidratado similar como el café tostado y molido. Además se puede apreciar que el valor de actividad de agua se encuentra en la zona de monocapa.

3.5. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD CRÍTICA Y ACTIVIDAD DE AGUA CRÍTICA

Según Fennema (1993), se puede deducir que en la isoterma de sorción tenemos un estado inicial de aw y contenido de humedad, que es el que usualmente se tiene cuando la bebida deshidratada ha sido recién empacada; luego conforme pasa el tiempo, el producto gana temperatura o humedad, con ello llegaremos al estado crítico.

Adicionalmente, Wyser y Lanctuit (2015) coinciden con Fennema (1993) indicando que si empacas al alimento en un empaque que es permeable, habrá cierta ganancia de humedad y el producto puede llegar a cruzar la temperatura de transición vítrea donde el producto pasa de ser un sólido amorfo y se vuelve elástico “*rubbery*” y se apelmaza.

En consecuencia se determinó el contenido de humedad crítica y actividad de agua crítica en el punto donde se produce el cambio de estado de cristalino a elástico “apelmazado” desviación de calidad (cuadro 8).

Cuadro 8: Resultados del contenido de humedad crítico y actividad de agua crítica de la bebida deshidratada achocolatada

MUESTRA	CONTENIDO DE HUMEDAD b.s. (mc) %	ACTIVIDAD DE AGUA (awc)
Bebida deshidratada	4.5	0.4

Se puede observar en las siguientes figuras 8 y 9 que el producto presenta apelmazamiento, compactación y además deja de ser soluble en agua caliente a 80 °C.

Para la bebida achocolatada, por tratarse de un producto seco, los factores de degradación principales a evaluar son el vapor de agua y el oxígeno (Condezo 2002).



Figura 8: Apelmazamiento de la bebida deshidratada en condiciones de humedad crítica.



Figura 9: Bebida deshidratada en reconstitución en agua caliente a 80 °C a condiciones normales y a condiciones de humedad crítica.

Cuadro 9: Resultados de la evaluación sensorial en condiciones de humedad y actividad de agua crítica (n=5*)

ATRIBUTO EVALUADO	COMENTARIOS	NORMA	RESULTADO	COMENTARIO
Sabor	Sabor a cocoa y malta, moderados, sabor lácteo medio y sabor a cereal ligero.	Dentro	Casi dentro	Sabor menos intenso a cocoa y malta.
Color	En polvo, café oscuro. En preparación, café claro.	Dentro	Dentro	-
Olor	Aroma moderado a cocoa, lácteo y malta.	Dentro	Casi dentro	Aroma a cocoa menos intenso.
Apariencia	En polvo, fluido, sin grumos. En preparación, soluble, sin flotadores.	Dentro	Fuera	En polvo, con grumos. En preparación, con flotadores.

*Panelistas entrenados

En la Tabla 9 se puede observar que luego de tres horas el producto se encuentra fuera en apariencia y casi dentro con observaciones en sabor y olor indicando una disminución del atributo, esto se explica de acuerdo a lo mencionado por Anese *et al*, citados por Pacheco (2016), el incremento de la humedad causa que el producto adquieran propiedades elásticas lo que disminuye la capacidad de retener los compuestos aromáticos.

3.6. DETERMINACIÓN DE DIMENSIONES DEL EMPAQUE Y SUPERFICIE DE INTERCAMBIO

El empaque es un *sachet* de cuatro sellos el cual es colgado en tiras de 10 unidades en el punto de venta. Las dimensiones del empaque ya están definidas, no se buscó una reducción de dimensiones debido a que para el negocio era relevante mantener el tamaño de la cara frontal para poder tener un espacio de comunicación conforme.

Cuadro 10: Dimensiones del empaque y superficie permeable del empaque

CARACTERÍSTICA	RESULTADO
Alto total (mm)	151
Ancho total (mm)	142
Superficie total (m ²)	0.021 442
Superficie de sello (m ²)	0.005 040
Superficie de intercambio de gases (m ²)	0.016 402

En el Cuadro 10 se puede observar que no se consideró el área de sellado como área de transferencia ya que en ella el empaque no es permeable, esto coincide con lo mencionado por Magret (2002) ya que el film de PEBD que se usa para el sellado tiene bajos niveles de adsorción de agua (0-0.8 ml).

Además se consideró que el intercambio se da en ambas caras del *sachet*, frontal y posterior.

3.7. DETERMINACIÓN DE PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

El producto se vende en el territorio nacional por lo que para el análisis se consideran las condiciones climáticas del Perú. El Perú es una zona con clima tropical ya que presenta temperaturas y humedades relativas elevadas. A continuación en el Cuadro 11 se pueden observar las temperaturas y humedades relativas que existen en diferentes puntos del país.

Cuadro 11: Temperatura promedio (°C) y Humedad Relativa promedio (%) de diferentes departamentos del Perú

DEPARTAMENTO	TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO (%)
Lima	20	75
Iquitos	30	80
Arequipa	22	17
Tarapoto	26	72
Huancayo	16	48
Pucallpa	33	65
Tumbes	28	66
Tingo Maria	25	74

FUENTE: Senahmi (2016).

Según lo expuesto, las temperaturas llegan hasta los 33 °C y a las humedades relativas de 80 por ciento como las que tiene Iquitos, según Fennema (1993) a altas temperaturas el producto puede cruzar la temperatura de transición vítrea y apelmazarse ya que menciona que el agua es un plastificador y a medida que esta aumenta la temperatura de transición vítrea va decreciendo entre 5-10 °C por cada unidad de porcentaje.

Es por ello que se definió utilizar la temperatura y humedad relativa promedio de Lima e Iquitos porque presentan las condiciones de temperatura y/o humedad más extremas del país, y donde el producto es más vendido.

A continuación, en el Cuadro 12, se presenta las barreras de permeabilidad al vapor de agua descritas en la especificación técnica del proveedor.

Cuadro 12: Permeabilidad al vapor de agua de los empaques

ESTRUCTURA	DESCRIPCIÓN	GRAMAJE (g/m ²)	PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA WVTR (g/m ² /día) a 38 °C y 90% HR
Aluminio: Actual	PET/AL/PE	80	0.10
Propuesta 1: Met1	PET/MET/PE	80	0.60
Propuesta 2: Met 2	PET/MET/PE	80	0.30
Propuesta 3: Met 3	PET/MET/PE	80	0.17

En el Cuadro 12 se puede observar que el aluminio es el empaque que presenta mejor barrera, esto se explica porque es un papel continuo de material el cual tiene baja permeabilidad. Según Proexport, mencionado por Rivera (2016), la principal ventaja del aluminio es de tener estanqueidad y ser prácticamente hermético.

Así mismo se aprecia que las barreras de metalizado son menores que las de aluminio, esto se explica porque el aluminio al ser un papel tiene mayor hermeticidad que un metalizado que según Illanes (2004) es una capa plástica sobre la cual se ha aplicado un delgado recubrimiento metálico, que es menos hermético. Luego, se calculó la permeabilidad equivalente de cada material a las dos condiciones ambientales Lima e Iquitos según el método presentado por Magret (2002).

Cuadro 13: Permeabilidad en condiciones ambientales en Lima e Iquitos

ESTRUCTURA	PERMEABILIDAD EMPAQUE (g/m ² /día) 38 °C, 90% HR	PERMEABILIDAD IQUITOS (g/m ² /día) 30 °C, 80% HR	PERMEABILIDAD LIMA (g/m ² /día) 20 °C, 75% HR
Aluminio: Actual	0.10	0.06	0.03
Propuesta 1: Met1	0.60	0.34	0.18
Propuesta 2: Met 2	0.30	0.17	0.09
Propuesta 3: Met 3	0.17	0.10	0.05

En el Cuadro 13 se observa que a menor humedad relativa y temperatura, la permeabilidad disminuye. Así mismo, se observa que la permeabilidad en Iquitos es casi el doble de la permeabilidad de lo que se presenta en Lima.

3.8. ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL

Se realizaron los cálculos para determinar los valores de la ecuación lineal, los mismos se presentan en el anexo 3 como ejemplo para Iquitos.

Cuadro 14: Resultado de valores de pendiente y constante entre humedad y actividad de agua

Pendiente que relaciona actividad de agua y humedad (b)	b=0.1357
Constante (c)	c= -0.009 285 71

Fennema (2008), menciona que la presión de agua relativa está relacionada con el porcentaje de humedad relativa de equilibrio, en base a ello es que se determinó el cálculo de la humedad de equilibrio que se presenta en el siguiente Cuadro.

Cuadro 15: Resultados de parámetros para el cálculo del tiempo de vida útil

CONDICIÓN	IQUITOS HR=80%	LIMA HR=75%
Humedad en equilibrio teórico con la humedad relativa (me)	9.93	9.25

Los resultados de estimación de tiempo de vida de cada empaque en las condiciones de humedad relativa de las ciudades de Iquitos y Lima se observan en el Cuadro 16:

Cuadro 16: Tiempo de vida esperado para las estructuras en Lima e Iquitos

ESTRUCTURA	TIEMPO DE VIDA (MESES) IQUITOS (30°C, 80% HR)	TIEMPO DE VIDA (MESES) LIMA (20°C, 75% HR)
Aluminio: Actual	28.6	57.8
Propuesta 1: Met1	4.8	9.6
Propuesta 2: Met 2	9.5	19.3
Propuesta 3: Met 3	16.8	34.0

Mayor detalle del cálculo se puede revisar en el ejemplo citado en el Anexo 3, como ejemplo para Iquitos.

El Cuadro 16 muestra que el material actual de aluminio tiene un tiempo de vida de 28.6 meses en Iquitos y de 57.8 meses en Lima, hoy el producto rotula un estudio de tiempo de vida real validado de 14 meses, por tanto, el empaque está sobredimensionado para el tiempo de vida declarado.

En segundo lugar, la propuesta Met 1 presenta un tiempo de vida en Iquitos de 4.8 meses y de 9.6 meses para Lima, esta opción ya se ve poco viable debido a que 4.8 meses es muy poco tiempo para rotar el producto en Iquitos ya que por las características del departamento, la distribución es complicada y puede tomar tiempo.

En tercer lugar, la propuesta Met 2 presenta un tiempo de vida en Iquitos de 9.5 meses y en Lima de 19.3 meses, lo cual es más conveniente que la Met 1.

Finalmente, la propuesta Met 3, es la que más largo tiempo de vida tiene de las tres opciones, sin embargo, no llega a tener la misma barrera que el aluminio.

Meesuksri (2013), determinó que el tiempo de vida de una mezcla en polvo de café con leche de aluminio con 0.01 WVTR tiene entre 15 y 24 meses, dependiendo del tamaño del empaque.

A su vez, determinó que con un WVTR de 0.27 en metalizado, se puede obtener hasta 12 meses de tiempo de vida en un formato “*stick*” y 9 meses en un formato *sachet* a una temperatura de 30 °C, 75% HR, el resultado coincide en gran medida con el obtenido ya que para Iquitos el tiempo de vida del *sachet* con 30 °C, 80% HR y WVTR 0.30, resulta ser de 9.5 meses.

3.9. SELECCIÓN DE MATERIAL DE EMPAQUE METALIZADO

Para poder seleccionar una propuesta de empaque es necesario conocer el ciclo de vida del producto en la cadena de suministro; el cual se muestra en la Figura 10:

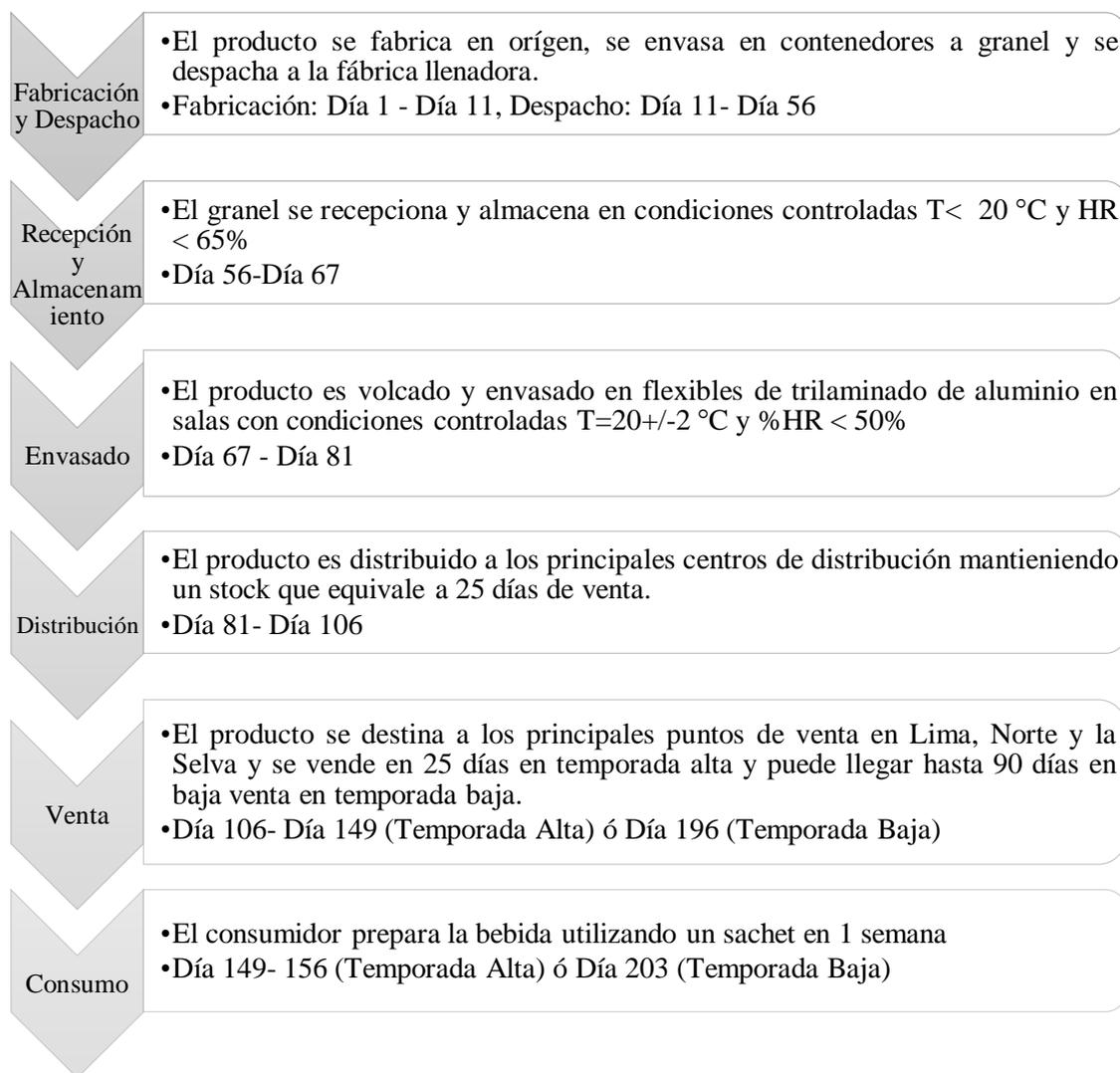


Figura 10: Línea de tiempo de la bebida deshidratada en el tiempo desde que es fabricado hasta que es consumido.

En la Figura 10, se puede concluir que la bebida deshidratada tiene un tiempo de rotación desde envasado de 203 días (6.77 meses), considerando el peor escenario en temporada baja, con baja venta y que su consumo máximo estimado es de una semana. El consumo se considera de máximo una semana porque el ama de casa suele usar un sobre para realizar dos preparaciones, además se sabe que este producto el consumidor lo va a comprar al

mercado el mismo día que lo va a utilizar en su desayuno, por lo que no se agrega tiempo de permanencia adicional en la casa del consumidor.

Luego de lo expuesto se selecciona para prueba industrial la estructura de la propuesta 2, ya que alcanza un tiempo de vida de 9.5 meses en Iquitos que es la condición más extrema y de 19.3 meses en Lima, lo cual es suficiente para cubrir un ciclo de rotación de la bebida en la cadena de suministro.

3.10. ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ECONÓMICO

En consecuencia de lo anterior, y considerando que hoy la bebida deshidratada se encuentra con un empaque de aluminio sobre dimensionado, su reemplazo por metalizado de menor costo logrará un ahorro.

Se estima el siguiente potencial de ahorro:

Cuadro 17: Costos y ahorros para las estructuras propuestas

ESTRUCTURA	COSTO POR kg (Nuevos soles)	AHORRO POR kg (Nuevos soles)	AHORRO AÑO 1 (Nuevos soles)	AHORRO AÑO 2 (Nuevos soles)	AHORRO AÑO 3 (Nuevos soles)
Propuesta 2: Met 2	16.95	0.89	791,000	843,000	902,000

Según Meesuksri (2013), recopiló que un reemplazo de aluminio por metalizado en general presenta un ahorro entre 5-7 por ciento, lo cual coincide con el ahorro estimado del Cuadro 17 es de 5.3 por ciento. En total para un proyecto a tres años, el ahorro potencial es de S/ 2 536 000.

IV. CONCLUSIONES

- Al reemplazar la estructura de aluminio con WVTR de $0.1 \text{ g/m}^2 \text{ día}$ por una estructura metalizada más económica con WVTR de $0.3 \text{ g/m}^2 \text{ día}$, se obtiene como potencial ahorro S/ 2 536 000 en los siguientes tres años.
- El tiempo de vida es de 19.3 meses para Lima y de 9.5 meses para Iquitos.
- Las características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de la bebida deshidratada achocolatada estuvieron conforme a norma.
- Se determinó una humedad inicial promedio de 1.67 por ciento y una humedad crítica promedio de 4.5 por ciento, todo en base seca.
- La actividad de agua inicial 0.19 y la final 0.40.
- La ecuación lineal tiene como pendiente $b= 0.1357$ y constante $c= -0.009 285 71$, a su vez se determinó la humedad de equilibrio de 9.93 para Iquitos y de 9.25 para Lima.
- El potencial de ahorro con la estructura propuesta es de S/. 2 536 000.
- La característica que tiene más impacto en el deterioro en la bebida presentada es el de humedad ya que ocasiona el defecto de apelmazamiento.
- En general, el cambio de empaque de aluminio por un metalizado reduce el tiempo de vida útil.
- La condición más crítica es Iquitos, por lo cual se debe considerar siempre dentro de las evaluaciones de cambios de empaque de la bebida deshidratada.

V. RECOMENDACIONES

- Utilizar esta metodología como estimación inicial para seleccionar una barrera de un empaque a desarrollar.
- Complementar la metodología expuesta con pruebas aceleradas de tiempo de vida útil por la metodología de Arrhenius.
- Optimizar la opción de reemplazo de empaque por una estructura más económica con mayor permeabilidad que $0.3 \text{ g/cm}^2\cdot\text{día}$ pero menor que $0.6 \text{ g/cm}^2\cdot\text{día}$.
- De ser factible comercial y logísticamente, trabajar con una estructura de $0.3 \text{ g/cm}^2\cdot\text{día}$ en Iquitos y de $0.6 \text{ g/cm}^2\cdot\text{día}$ en Lima y capitalizar el ahorro.
- Considerar también dentro de la posibilidad de evaluación la reducción de las dimensiones del empaque.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. 15 ed. Arlington, Virginia, Estados Unidos de América. AOAC.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official Methods of Analysis. 18 ed. Gaithersburg. Estados Unidos de América.

Aquino, E; Sánchez, R. 2015. Fundamentos en la elaboración de un producto de humedad intermedia. Lima, Perú, UNALM. 31 p.

Badui, D. 1995. Química de los alimentos. 3 ed. México, Alhambra. 639 p.

Bhandari, BR; Howes, T. 1999. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. Journal of Food Engineering 40:71-79.

Condezo, L. 2002. Predicción de la vida útil de las galletas de soda mediante modelos matemáticos deterministas. Tesis Mg. Sc. Lima, Perú, UNALM. p 5-100.

Fennema, O. 2008. Química de Alimentos (en línea). 3 ed. Zaragoza, España, Acribia
Consultado 7 set. 2017. Disponible en
<https://sceqa.files.wordpress.com/2014/05/quc3admica-de-los-alimentos-fennema.pdf>

Fennema, OR. 1993. Química de Alimentos. Zaragoza, España, Acribia. 1055 p.

- García, C; Chacón, G; Molina, M. 2011. Evaluación de la vida útil de una pasta de tomate mediante pruebas aceleradas por temperatura (en línea). San José, Costa Rica, Ingeniería 21. Consultado 7 set. 2017. Disponible en <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/download/2683/2632>
- Illanes, J. 2004. Envases flexibles: usos y Aplicación en la Industria Alimentaria (en línea). Valdivia, Chile, Universidad Austral de Chile. Consultado 7 set. 2017. Disponible en <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/fai.29e/pdf/fai.29e-TH.3.pdf>
- IFST (Institute of Food Science & Technology, US). s.f. Tiempo de vida útil definición (en línea). Consultado 7 set. 2017. Disponible en: <https://www.ifst.org>
- Labuza, TP. 1982. Moisture gain and loss in packaged foods. J. Food Technology. 92-97 p.
- Labuza, TP. 1985. Moisture Sorption: Practical aspects of Isotherm Measurement and Use. St- Paul, United States, University of Minnesota.
- Labuza, TP; Schmidt, MK. 1985. Accelerated shelf-life dating of foods. J. Food Technology. 57-64 p.
- Labuza, TP; Kaanane, A; Chen, J. 1985. Effect of temperature on the moisture sorption isotherm and water activity shift of two dehydrated. J. Food Science 50:50-55p.
- Magret, R. 2002. Evaluación y selección de empaques para productos aromáticos. Lima, Perú, UNALM.
- Meesuksri, T. 2013. Optimización de laminados para *Coffee mixes*. Orbe, Suiza, NESTLÉ.
- MINSA (Ministerio de Salud, Perú). 2008. Norma sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de

consumo humano (en línea). Consultado 7 set. 2017. Disponible en <ftp://ftp2.minsa.gob.pe/normaslegales/2008/RM591-2008.pdf>

Pacheco, V. 2016. Estimación del tiempo de vida útil del café tostado tipo “premium” (*Coffea arábica*) en diferentes empaques mediante pruebas aceleradas. Tesis Ing. Lima, Perú, UNALM. 124 p.

Rivera, J. 2016. Estimación del tiempo de vida útil del café verde y pergamino (*Coffea arábica*) en diferentes empaques mediante pruebas aceleradas. Tesis Ing. Lima, Perú, UNALM. 36-72 p.

SENAHMI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) (en línea). Consultado 7 set. 2017. Disponible en <http://www.senamhi.gob.pe/>

Varnam, A; Sutherland, J. 1994. Bebidas: tecnología, química y microbiología. Zaragoza, España, Acribia.

Wyser, Y; Lanctuit, H. 2015. Shelf life prediction barrier technologies. Vevey, Suiza, NESTLÉ.

VII. ANEXOS

ANEXO 1: ESPECIFICACIÓN DE EMPAQUE DE ALUMINIO

MATERIAL

Descripción del material básico

Multi - Materiales - multicapa – Plástico	Film trilaminado: Poliéster, Foil aluminio, Polietileno cristal baja densidad-rígido.
-------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------

Composición detallada

CAPA	MATERIAL	OBJETIVO	MÍNIMO	MÁXIMO
Capa externa Capa externa (gramos)	Plásticos - PET - polinaftalato de etileno	17,0 g/m ²	16,1 g/m ²	17,9 g/m ²
Capa externa (grosor)		12,0 µm		
Imprimir Capa intermedia 1/lámina (gramos)		2,5 g/m ²	2,4 g/m ²	2,6 g/m ²
Capa de laminación Capa intermedia 2/lámina (gramos)	Adhesivo	3,5 g/m ²	3,4 g/m ²	3,6 g/m ²
Capa intermedia Capa intermedia 3/lámina (gramos)	Metal - Aluminio	19,0 g/m ²	18,0 g/m ²	20,0 g/m ²
Capa intermedia 3/lámina (grosor)		7,0 µm		
Capa de laminación Capa intermedia 4/lámina (gramos)	Adhesivo	2,5 g/m ²	2,4 g/m ²	2,6 g/m ²
Capa interior Capa interna (gramos)	PE	35,5 g/m ²	33,7 g/m ²	37,3 g/m ²
Capa interna (grosor)		39,0 µm		

Peso total / gramaje / grosor

PARÁMETRO	OBJETIVO	MÍNIMO	MÁXIMO
Peso total / gramaje	80 g/m ²	73 g/m ²	87 g/m ²

DIMENSIONES**Dimensiones numéricas**

PARÁMETRO	OBJETIVO	MÍNIMO	MÁXIMO
Ancho	81,5 mm	81,4 mm	81,6 mm
Ancho de la bobina	815 mm	813 mm	817 mm
Diámetro de la bobina	500 mm	485 mm	500 mm
Diámetro interno del centro	152,4 mm		
Longitud de corte	120 mm	119 mm	121 mm
	130 mm	129 mm	131 mm
	180 mm	179 mm	181 mm
	95 mm	94 mm	93 mm
Peso por artículo	1,564 g	1,423 g	1,704 g
	1,695 g	1,542 g	1,847 g
	2,347 g	2,135 g	2,558 g
	1,238 g	1,127 g	1,350 g
Número de impresiones por kg	735 /kg	813 /kg	666 /kg
Número de impresiones por metro	9 /m	9 /m	9 /m
Rendimiento superficial superficie por masa	13,1 m ² /kg	13,5 m ² /kg	12,7 m ² /kg

DESEMPEÑO

Parámetros de desempeño

PARÁMETRO	OBJETIVO	MÍNIMO	MÁXIMO	CONDICIONES
Temperatura del sellado	120 °C	115 °C	125 °C	Referencial, depende del proceso.
Fuerza del sellado		10,59 N/15mm		ASTMF88 (150 °C, 6 bar, 0.5s)
Transmisión de vapor de agua			0,1 g/m ² .d	ASTM F1249 Water Vapour Transmission rate through plastic film and sheeting using a modular infrared sensor
Permeabilidad al oxígeno			0,1 cm ³ /m ² .d	ASTM-F1927-07 - Oxygen transmission rate at controlled relative humidity through barrier materials
Fuerza de laminación		0,7 N/15mm		PET/Alu
		1,5 N/15mm		Alu/PEBD
Coefficiente de fricción embalaje/otros	0,25	0,15	0,35	ISO 8295: Plastics - Film and sheeting - Determination of the coefficients of friction;
	0,50	0,40	0,60	ISO 8295: Plastics - Film and sheeting - Determination of the coefficients of friction;

ANEXO 2: ESPECIFICACIÓN DE EMPAQUE METALIZADO

MATERIAL

Descripción del material básico

Plásticos - PE - HD - Polietileno de alta densidad	Film trilaminado: Poliéster, Foil Metalizado, Polietileno baja densidad.
----------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------

Composición detallada

CAPA	MATERIAL	OBJETIVO	MÍNIMO	MÁXIMO
Capa externa Capa externa (gramos)	Plásticos - PET - polinaftalato de etileno	17,0 g/m ²	16,1 g/m ²	17,9 g/m ²
Capa externa (grosor)		12 µm		
Imprimir Capa intermedia 1/lámina (gram.)		2,5 g/m ²	2,4 g/m ²	2,6 g/m ²
Capa de laminación Capa intermedia 2/lámina (gram.)	Adhesivo	3,5 g/m ²	3,4 g/m ²	3,6 g/m ²
Capa intermedia Capa intermedia 3/lámina (gram.)	PET, metalizado	17,0 g/m ²	16,0 g/m ²	18,0 g/m ²
Capa intermedia 3/lámina (grosor)		12 µm		
Capa de laminación Capa intermedia 4/lámina (gram.)	Adhesivo	2,5 g/m ²	2,4 g/m ²	2,6 g/m ²
Capa interior Capa interna (gramos)	Plásticos - PE - LD - Polietileno de baja densidad	37,5 g/m ²	35,5 g/m ²	39,5 g/m ²
Capa interna (grosor)		40 µm		

Peso total / gramaje / grosor

PARÁMETRO	OBJETIVO	MÍNIMO	MÁXIMO
Peso total / gramaje	80 g/m ²	73 g/m ²	87 g/m ²

DIMENSIONES**Dimensiones numéricas**

PARÁMETRO	OBJETIVO	MÍNIMO	MÁXIMO
Ancho	815 mm	813 mm	817 mm
Diámetro de la bobina		485 mm	500 mm
Diámetro interno del centro	150 mm	148 mm	152 mm
Longitud de corte	130 mm	129 mm	131 mm
	180 mm	179 mm	181 mm
	120 mm	119 mm	121 mm
Peso por artículo	1,69 g	1,52 g	1,85 g
	2,34 g	2,10 g	2,57 g
	1,56 g	1,40 g	1,71 g

DESEMPEÑO

Parámetros de desempeño

PARÁMETRO	OBJETIVO	MÍNIMO	MÁXIMO	CONDICIONES
Temperatura del sellado	120 °C	110 °C	145 °C	Referencial.
Fuerza del sellado		10,59 N/15mm		ASTMF88 (150°C, 6 bar, 0.5s)
Transmisión de vapor de agua			0,3 g/m ² .d	ASTM F1249 Water Vapour Transmission rate through plastic film and sheeting using a modular infrared sensor
Permeabilidad al oxígeno			0,5 cm ³ /m ² .d	ASTM-F1927-07 - Oxygen transmission rate at controlled relative humidity through barrier materials
Fuerza de laminación		0,7 N/15mm		PET/METPET
		1,5 N/15mm		METPET/PEBD
Coefficiente de fricción embalaje/otros	0,25	0,15	0,35	Estático: Cara interna/metal, Cara externa/metal

ANEXO 3: CÁLCULOS PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE VIDA EN IQUITOS (T=30°C Y HR=80%) EN EMPAQUE DE ALUMINIO)

Tenemos: $m_i = 1.65\%$, $m_c = 4.5\%$, $a_{wi} = 0.19$, $a_{wc} = 0.4$, $RH = 80\%$, $W = 17.707\text{g}$, $WVTR = 0.06\text{ g. m}^2\text{ día}$, $A = 0.016402\text{ m}^2$.

Se calcula la pendiente con la siguiente fórmula:

$$b = ((m_c - m_i) / 100) / (a_{wc} - a_{wi})$$

$$b = ((4.5 - 1.65 / 100) / (0.4 - 0.19))$$

$$b = 0.1357$$

A continuación se calcula c:

$$c = (m_i / 100) - b * (a_{wi})$$

$$c = (1.65 / 100) - 0.1357 * (0.19)$$

$$c = -0.009\ 285\ 71$$

Luego se calcula m_e :

$$m_e = (b * (HR / 100) + c) * 100$$

$$m_e = (0.137 * (80 / 100) - 0.009\ 286\ 71) * 100$$

$$m_e = 9.92\%$$

Finalmente se calcula el tiempo de vida:

$$T.V.U = \ln((m_e - m_i) / (m_e - m_c)) * ((RH * W * b) / (WVTR * A * 10\ 000))$$

$$T.V.U = \ln((9.93 - 1.65) / (9.93 - 4.5)) * ((0.8 * 17.707 * 0.1357) / (0.06 * 0.016\ 402 * (365 / 12)))$$

$$T.V.U = \ln(8.28 / 5.43) * ((1.9477) / (0.029\ 933\ 65))$$

$$T.V.U = \ln(1.5249) * (65.067\ 240\ 3) = 28.6\text{ meses}$$