

Sorption Isotherm and Shelf Life of Malted Quinoa Flour

Luis Alvarado-Yupanqui, B.Sc.¹, Alberto Claudio Miano, Ph.D.², y Gabriela Barraza-Jáuregui, M.Sc.¹
¹Carrera de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, miguel_alvarado92@hotmail.com;
gbarraza@unitru.edu.pe

² Dirección de investigación y Desarrollo, Universidad Privada del Norte, Perú, alberto.miano@upn.edu.pe

Abstract– This work aimed to study the sorption isotherm of flour from three varieties of quinoa at 25 °C. For this, a sample of 2 g was placed in a water activity analyzer, considering data from 0.05 to 0.90 of water activity. Data of moisture content as function of water activity was plotted and fitted using different isotherm models: GAB, BET, Henderson, Halsey and Oswin. The fitting goodness was evaluated by the determination coefficient and the mean relative error. As results, GAB and Oswin models presented the best fitting of the experimental data. However, only GAB model was considered for further analysis since it has parameters with physical meaning. Using the model of Heiss and Eichner, the shelf life of the flours were determined, obtaining that mating process increase the shelf life from 13.7 to 28.5 months for white quinoa; from 13.3 to 33.9 months for black quinoa; and from 30.1 to 51.8 months for red quinoa, when stored at 25°C in low density polyethylene packs.

Keywords-- quinoa, moisture content, water activity, mathematical models, shelf life.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.138>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Estudio de la Isotherma de Adsorción y Determinación de la Vida Útil de Harina de Quinoa Malteada

Sorption Isotherm and Shelf Life of Malted Quinoa Flour

Luis Alvarado-Yupanqui, B.Sc.¹, Alberto Claudio Miano, Ph.D.², y Gabriela Barraza-Jáuregui, M.Sc.¹

¹Carrera de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, miguel_alvarado92@hotmail.com; gbarraza@unitru.edu.pe

² Dirección de investigación y Desarrollo, Universidad Privada del Norte, Perú, alberto.miano@upn.edu.pe

Resumen– El presente trabajo estudió las isotermas de adsorción a 25 °C de harina de tres variedades de quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*): INIA Salcedo (IS), Pasankalla Roja (PR) y Negra Collana (NC) sin maltear y malteada, así como su vida útil. Las isotermas fueron determinadas colocando 2g de muestra en un analizador de actividad de agua. Se programaron lecturas de 0.05 a 0.90 de actividad de agua, para construir las isotermas y la humedad inicial se determinó por el método gravimétrico. Los datos experimentales fueron ajustados con los modelos matemáticos de GAB, BET, Henderson, Halsey y Oswin. La bondad del ajuste se evaluó con el coeficiente de regresión y el porcentaje de error medio relativo (%E). Como resultado se verificó que el modelo de GAB y Oswin presentaron un buen ajuste de los datos experimentales con un coeficiente de correlación superior a 0.98 y un %E menor del 10%. Sin embargo, se consideró el modelo de GAB como el mejor debido a tener parámetros con explicación física. Finalmente, con el modelo de Heiss y Eichner, basado en un factor crítico bajo unas condiciones de almacenamiento dadas (87% HR) de logró estimar la vida útil de harina de tres variedades de quinoa sin maltear: blanca 13.7, negra 13.3, roja 30.1 meses y para las harinas de quinoa malteada: blanca 28.5, negra 33.9, roja 51.8 meses a la temperatura de 25°C.

Palabras clave-- quinoa, humedad en equilibrio, actividad de agua, modelos matemáticos, vida útil

Abstract– This work aimed to study the sorption isotherm of flour from three varieties of quinoa at 25 °C. For this, a sample of 2 g was placed in a water activity analyzer, considering data from 0.05 to 0.90 of water activity. Data of moisture content as function of water activity was plotted and fitted using different isotherm models: GAB, BET, Henderson, Halsey and Oswin. The fitting goodness was evaluated by the determination coefficient and the mean relative error. As results, GAB and Oswin models presented the best fitting of the experimental data. However, only GAB model was considered for further analysis since it has parameters with physical meaning. Using the model of Heiss and Eichner, the shelf life of the flours were determined, obtaining that maturing process increase the shelf life from 13.7 to 28.5 months for white quinoa; from 13.3 to 33.9 months for black quinoa; and from 30.1 to 51.8 months for red quinoa, when stored at 25°C in low density polyethylene packs.

Keywords-- quinoa, moisture content, water activity, mathematical models, shelf life.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.138>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

I. INTRODUCCIÓN

La quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) es un cultivo alimenticio similar a un grano tradicionalmente utilizado para proporcionar nutrición y sustento a las culturas indígenas andinas para siglos. La quinoa se cultiva principalmente en Perú, Bolivia, Ecuador, Argentina, Chile y Colombia, aunque en los últimos años, se ha introducido en Europa, América del Norte, y África con altos rendimientos [1]. Esta planta no pertenece a la familia *Gramineae* pero produce semillas que pueden ser transformadas en harina y utilizada como cereal, por lo que habitualmente se conoce como un pseudocereal, en la elaboración de productos tostados y horneados como pan, galletas, fideos, pasta y panqueques, entre otros [2]. Además, las semillas de quinoa se pueden fermentar para hacer cerveza, o un alcohol ceremonial tradicional bebida de América del Sur llamada "chicha" [3]. Las hojas de quinoa se comen de manera similar a la espinaca, y las plántulas de quinoa germinadas (brotes de quinoa) se incorporan en ensaladas. La planta entera también se ha utilizado como una rica fuente nutricional para alimentar ganado, incluyendo ganado, cerdos y aves de corral.

La proteína de quinoa es reconocida como proteína de alta calidad debido a su patrón equilibrado de aminoácidos esenciales según los requerimientos sugeridos por la FAO / OMS / UNU para adultos [3]. Así, el balance de dichos aminoácidos es superior al del trigo, la cebada y la soya a pesar de que ésta última presente un contenido superior en proteínas [4]. Además, presenta porcentajes elevados de fibra (4.5% b.s.) siendo considerada como un alimento apto para diabéticos y para la población celíaca al no contener gluten [5]. El aporte de la quinoa en cuanto a proteína y fibra es importante, y se puede investigar con el fin de aprovechar sus bondades nutricionales y permitir a los consumidores una alimentación sana a través de nuevos productos.

En la actualidad la producción de alimentos nutritivos, funcionales o mejorados se ha incrementado de manera acelerada, utilizando en la mayoría de estos, sustancias químicas aptas para el consumo humano. A partir de esta

realidad se propone desarrollar un producto donde no existan sustancias químicas añadidas, teniendo al malteo de granos como una alternativa para incrementar la composición nutricional [6]. Según Mazza [7] los germinados proveen múltiples beneficios nutricionales y terapéuticos a quienes los consumen ya que las vitaminas, minerales, proteínas, carbohidratos, ácidos grasos y enzimas se encuentran más disponibles. Además, en trabajos previos se ha demostrado la mejora nutricional al maltear los granos de quinua [8, 9], por lo que la comercialización como harina sería de interés industrial para la preparación de diversos alimentos como sopas, jugos enriquecidos o mezclas proteicas.

Los granos como la quinua son productos alimenticios de baja humedad, en los cuales, el estudio de las isoterma de adsorción es de gran importancia. Estos estudios tienen aplicación en la optimización del proceso de secado, diseño de secadores, el envasado del producto y la predicción de la vida útil [10]. Las isoterma de adsorción relacionan la actividad de agua y el contenido de humedad a temperatura constante [11]. Existen modelos matemáticos teóricos y semi teóricos empíricos que permiten predecir la actividad de agua o humedad, así como la humedad de la monocapa y algunas propiedades termodinámicas del agua del producto [12].

En años más recientes, la ecuación de isoterma de GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer) ha sido ampliamente utilizada para describir el comportamiento de sorción de alimentos. Al tener un razonable pequeño número de parámetros (tres), la ecuación de GAB se ha encontrado para representar los datos experimentales en el intervalo de la actividad de agua del mayor interés práctico en los alimentos, es decir de 0.10 a 0.90 [13]. Por otro lado, la ecuación de Oswin se ha utilizado con los alimentos amiláceos [14] y el modelo de Henderson con los alimentos con altos contenido de almidón, proteínas y en algunas carnes y frutas [15]. Otro modelo empleado es la ecuación de isoterma de BET (Brunauer-Emmett-Teller), la cual tiene la ventaja de presentar dos parámetros de ajuste; sin embargo, solo ajusta datos en un rango de actividad de agua entre 0.05 – 0.35 [12].

Por lo dicho anteriormente, el presente trabajo tuvo como objetivo estudiar la isoterma de adsorción de la harina de tres variedades de quinua malteada, comparándola con la harina sin maltear, así como conocer su vida útil.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materia Prima

Los granos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de tres variedades: INIA Salcedo blanca (IS), Pasankalla Roja (PR) y Negra Collana (NC) provenientes de Ayacucho, fueron proporcionadas por la empresa PROANPE S.A.C. de la ciudad de Trujillo-Perú. La materia prima fue certificada con 0% de saponina, libre de polvo e impurezas.

B. Preparación de Harina Malteada

Para el malteado se empleó la metodología de Carciochi, et al. [9] con algunas modificaciones. Los granos sin maltear fueron limpiados eliminando materias extrañas, lavadas con agua potable, desinfectadas por inmersión en agua clorada (hipoclorito de sodio al 2.5%). Posteriormente se enjuagaron con agua destilada estéril hasta pH neutro y se hidrataron en cubetas de plástico con una relación agua: quinua de 1.5:1, por un tiempo de 4 horas para alcanzar una humedad promedio entre 45-55% a la temperatura de 25 °C. Luego se eliminó toda el agua de remojo y se procedió al germinado, colocando los granos en bandejas de plástico acolchadas cubiertas con paños húmedos, por un tiempo de 48 horas a una temperatura de 25 °C. Se colocaron 100 gramos de semillas por bandeja. Durante esta fase, cada 8 horas, se humectaron las semillas para conservar la humedad requerida para el brote. En este tiempo se visualizó en el grano el crecimiento del embrión hasta alcanzar una longitud promedio de 7 a 10 mm. Los granos germinados fueron deshidratados a 55 °C por 24 horas hasta humedad final de 5-8% dando por finalizado el proceso de malteado [8]. Los granos malteados se molieron con molino de martillos, tamizaron con tamiz 60 con abertura de malla de 0.250 mm. La harina luego fue envasada en bolsas de polietileno de 100 µm de espesor y se almacenó a temperatura ambiente (25 °C) para su evaluación posterior.

C. Análisis Proximal

Se determinó el contenido de humedad por secado en estufa, contenido de cenizas por incineración en mufla, contenido de proteínas por método Kjeldahl (con factor 6.25), contenido de grasa total por método Soxhlet y carbohidratos totales por diferencia. Los resultados fueron expresados en porcentaje en base seca (% b.s.) [16]. El análisis fue realizado para las harinas de quinua de las tres variedades malteadas y sin maltear.

D. Construcción de la Isoterma de adsorción

Una muestra de 2 g de harina de quinua sin maltear y malteada, se colocaron sobre un recipiente de metal y fueron introducidas en el equipo Analizador de Isoterma (Aqualab VSA, Meter Group, EEUU). Se programaron lecturas de 0.05 a 0.9 de actividad de agua a temperatura constante (25 °C), para construir las isoterma.

E. Modelamiento Matemático

Los datos experimentales se modelaron con las ecuaciones de GAB (1), Henderson (2), Halsey (3), Oswin (4) y BET (5), ecuaciones usadas para modelar las isoterma de adsorción de alimentos (Al-Muhtaseb, et al., 2002).

$$X = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_w}{(1 - K \cdot a_w) \cdot (1 - K \cdot a_w + C \cdot K \cdot a_w)} \quad (1)$$

$$X = \left[\frac{-\ln(1 - a_w)}{A} \right]^{\frac{1}{B}} \quad (2)$$

$$X = (D * \ln(a_w))^E \quad (3)$$

$$X = F * \left(\frac{a_w}{1-a_w}\right)^G \quad (4)$$

$$X = \frac{X_m \cdot H \cdot a_w}{(1-a_w) \cdot (1+(H-1) \cdot a_w)} \quad (5)$$

Ver la sección de nomenclatura para conocer las definiciones de los símbolos.

F. Determinación de la Vida Útil

Debido a que la harina es un producto seco, el atributo crítico para determinar vida útil es la humedad – actividad de agua. Para determinar la vida útil se empleó el modelo de Heiss y Eichner (6). Este modelo determina el tiempo que demoraría en humidificarse un producto desde una humedad inicial hasta una humedad crítica (indeseable a la cual el producto puede ser deteriorado) considerando las propiedades de permeabilidad del envase y las condiciones ambientales del exterior (presión de vapor del agua del aire a una determinada temperatura) [17].

$$t_s = \frac{\ln[(X_e - X_i)/(X_e - X_c)]}{K_s \cdot (S/W) \cdot (P_o/M)} \quad (6)$$

G. Análisis Estadístico

Los datos experimentales fueron sometidos a un análisis de varianza considerando un nivel de confianza del 95%. Todos los análisis se realizaron por triplicado. Se determinó el promedio y la desviación estándar, con el fin de evaluar el grado de variabilidad de los datos experimentales.

El ajuste de los datos experimentales de las isothermas de adsorción fue realizado usando el programa Statistica 12 (Statsoft – EEUU) mediante una regresión no lineal. La bondad de ajuste de cada isoterma fue cuantificada a través de 2 parámetros estadísticos: coeficiente de determinación (R^2) y el porcentaje de error medio relativo (%E) (7) [18].

$$\%E = \frac{100}{n} \cdot \sum_1^n \frac{|X_{exp} - X_{cal}|}{X_{exp}} \quad (7)$$

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antes de evaluar los resultados de las isothermas, en la Tabla 1 se puede verificar que la composición centesimal de las harinas son diferentes significativamente cuando comparamos entre variedades y entre las harinas de quinua malteadas y sin maltear. Estos cambios son debido al catabolismo de las sustancias de reserva de los granos durante la germinación para el desarrollo de la radícula, en la cual se forman nuevos compuestos. La explicación y discusión detallada de la composición, no solo de compuesto nutricionales, sino también de compuestos funcionales fue dado en un estudio previo publicado [8].

Con respecto a los valores para la construcción de la isoterma, en la Tabla 2 se muestra los resultados del cálculo de

los parámetros de ajuste de los modelos de GAB, BET, Henderson, Halsey y Oswin para la temperatura evaluada de 25 °C indicando los valores R^2 y el %E. Los resultados experimentales modelados con las ecuaciones propuestas presentaron un buen ajuste de datos experimentales con un coeficiente de determinación mayor a 0.9 así como un %E menor a 10%. Se comprobó que los modelos de GAB y Oswin fueron los mejores en ajustar los datos experimentales ya que presentaron R^2 promedio de 0.998 y 0.999 respectivamente, y porcentaje de error promedio de 1.33 y 0.42 respectivamente. Por otro lado, los modelos de BET, Henderson y Halsey tuvieron un ajuste aceptable pero menor a los tres anteriores. Entre GAB y Oswin se decidió considerar GAB como el mejor modelo para ajustar las isothermas de harina de quinua debido a que el modelo de GAB nos brinda más información como la humedad de monocapa y parámetros termodinámicos [19] en contraste con el modelo de Oswin que presenta solo parámetros empíricos de ajuste.

TABLA 1

COMPOSICIÓN CENTESIMAL DE HARINA DE QUÍNUA sin maltear (SM) Y MALTEADA (M). LOS VALORES ESTÁN REPRESENTADOS POR LOS PROMEDIOS \pm LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR. LAS LETRAS EN LOS SUPERÍNDICES REPRESENTA LA COMPARACIÓN DE MEDIAS POR LA PRUEBA DE TUKEY AL 95% DE CONFIANZA: MAYÚSCULAS COMPARA HARINAS SIN Y CON MALTEO Y LAS MINÚSCULAS COMPARAN ENTRE VARIEDADES.

Compuesto	Variedad	Variedad		
		Blanca	Roja	Negra
Cenizas (% b.s.)	SM	2.38 \pm 0.07 ^{Ac}	3.15 \pm 0.05 ^{Aa}	2.89 \pm 0.06 ^{Ab}
	M	1.49 \pm 0.03 ^{Bc}	2.38 \pm 0.01 ^{Bb}	2.75 \pm 0.03 ^{Ba}
Proteína bruta (% b.s.)	SM	12.73 \pm 0.01 ^{Ac}	14.5 \pm 0.02 ^{Ab}	16.79 \pm 0.02 ^{Ba}
	M	11.14 \pm 0.02 ^{Bc}	13.24 \pm 0.02 ^{Bb}	18.14 \pm 0.02 ^{Aa}
Grasa bruta (% b.s.)	SM	7.86 \pm 0.01 ^{Ab}	8.3 \pm 0.01 ^{Aa}	6.63 \pm 0.02 ^{Ac}
	M	7.65 \pm 0.01 ^{Bb}	7.92 \pm 0.01 ^{Ba}	4.55 \pm 0.03 ^{Bc}
Humedad (% b.s.)	SM	11.04 \pm 0.11 ^{Ab}	10.02 \pm 0.05 ^{Ac}	11.41 \pm 0.21 ^{Aa}
	M	6.13 \pm 0.08 ^{Bc}	7.85 \pm 0.11 ^{Ba}	6.73 \pm 0.03 ^{Bb}
Carbohidratos (% b.s.)	SM	77.03 \pm 0.05 ^{Ba}	74.06 \pm 0.05 ^{Bb}	73.70 \pm 0.12 ^{Ab}
	M	79.73 \pm 0.02 ^{Aa}	76.46 \pm 0.02 ^{Ab}	74.56 \pm 0.04 ^{Ac}

Los parámetros del modelo de GAB son X_m , C y K. X_m es la humedad de la monocapa (% b.s.) la cual corresponde a la humedad del producto cuando los puntos de absorción primarios están saturados por moléculas de agua. Por otro lado los valores de C y K son constantes de energía: C representa la diferencia de potencial químico de las moléculas de soluto entre capas de sorción superiores y la monocapa y K es la relación entre el potencial químico de las moléculas de soluto en estado líquido puro y en capas de sorción superiores [13]. De los resultados obtenidos, los valores de K fueron menores a la unidad, lo cual está de acuerdo con lo establecido por Chirife and Iglesias [20].

TABLA 2
PARÁMETROS DE AJUSTE DE LOS DIFERENTES MODELOS MATEMÁTICOS PARA LOS DATOS DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN DE LAS MUESTRAS EVALUADAS.

Modelo	Componentes	Quinua					
		Blanca		Negra		Roja	
		Sin maltear	Malteada	Sin maltear	Malteada	Sin maltear	Malteada
GAB	X_m	8.87	7.67	8.75	7.23	6.13	6.46
	C	59.2	61.8	77.3	49.9	46.7	102.9
	K	0.73	0.76	0.72	0.78	0.84	0.76
	%E	1.3	1.5	1.6	0.9	1.9	0.8
	R^2	0.998	0.998	0.997	0.999	0.998	0.996
BET	X_m	7.49	6.76	7.54	6.37	5.68	6.07
	H	118.2	83.6	163.4	64.8	49.3	100.5
	%E	2.2	2.5	2.2	2.8	2.1	2.1
	R^2	0.981	0.980	0.979	0.978	0.994	0.980
HENDERSON	A	0.004	0.021	0.005	0.023	0.088	0.020
	B	2.2	1.7	2.2	1.4	1.3	1.8
	%E	6.4	7.9	6.2	3.3	13.4	7.7
	R^2	0.940	0.911	0.921	0.930	0.910	0.913
HALSEY	D	1321	854	2542	424	176	676
	E	2.6	2.5	2.8	2.3	2.1	2.6
	%E	2.4	1.4	2.1	0.9	2.9	1.6
	R^2	0.992	0.996	0.991	0.998	0.994	0.995
OSWIN	F	13.9	11.9	13.7	11.4	10.2	10.3
	G	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3
	%E	0.3	0.4	0.4	0.1	0.8	0.5
	R^2	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998

Según la Tabla 2, la humedad de monocapa estimada por el modelo de GAB es diferente cuando la quinua es malteada. En la quinua blanca y negra, la humedad de monocapa tiende a disminuir luego del malteado, lo cual indica que presentan menos sitios donde el hidrógeno de agua pueda ligarse. Esto se debe al cambio en la composición (Tabla 1) debido al proceso de malteado (germinación y secado) que ocasiona la disminución de puntos de puentes de hidrógeno para poder adsorber agua. El tener un valor de humedad de monocapa menor, nos indica que la harina puede ser deshidratada a humedades menores que la harina sin maltear, lo cual influenciaría en el diseño del proceso de secado de estas harinas si es que se desea llegar a la humedad mínima posible. Por otro lado, en quinua roja la humedad de monocapa aumenta ligeramente lo cual indica que presentaría mayor humedad de equilibrio al finalizar el proceso de secado. Cabe

mencionar que los valores de humedad de monocapa son altos comparados con otros alimentos, lo cual pueda deberse al alto contenido proteico de la quinua con aminoácidos con mayor afinidad al agua.

Respecto a los valores de las constantes C y K del modelo de GAB, solo los valores de C fueron diferentes significativamente. Como dicho anteriormente, la constante C está relacionada con el diferencial de potencial químico que hay entre el agua de las capas superiores a la monocapa y el agua de la monocapa. En el caso de la quinua blanca, no hubo diferencia significativa en el valor de C. Por otro lado, este valor disminuye en quinua negra y aumenta mucho en la quinua roja luego del proceso de malteado. Cuando el valor de C en la isoterma de adsorción es mayor, quiere decir mayor energía de ligación de las moléculas de agua a la primera capa de moléculas [21]. Esto puede repercutir al momento de

hidratar la harina durante la elaboración de un producto, ya que sería más difícil en harinas con alto valor de C. Por lo tanto, el malteo incrementaría la capacidad de hidratación de la harina de quinua negra, mientras que disminuiría esta capacidad en la quinua roja.

La Figura 1 muestra la diferencia entre las isotermas de sorción de las diferentes variedades al ser malteadas. Puede apreciarse que la isoterma de adsorción de la quinua blanca y negra sin maltear son muy similares, pero diferentes a la de la quinua roja sin maltear. Por otro lado, se puede observar y confirmar que el malteado afecta a todas las isotermas de adsorción sin importar la variedad de quinua.

Las isotermas de adsorción se dividen en tres zonas divididas por sus puntos de inflexión: la primera zona es hasta la primera inflexión y representa el agua fuertemente ligada o no congelable (humedad de monocapa); la segunda zona es hasta la segunda inflexión representando el agua débilmente ligada; y la zona tres que representa el agua libre o congelable [22]. El segundo punto de inflexión nos indica la humedad crítica del producto, a partir de la cual se establece la humedad máxima que puede llegar el producto antes de su deterioro. Lo ideal es almacenar el producto en humedades menores al punto crítico de la isoterma. Por ejemplo, si la actividad de agua crítica es 0.8, se debe almacenar las harinas en ambientes con una humedad relativa del aire menor al 80%.

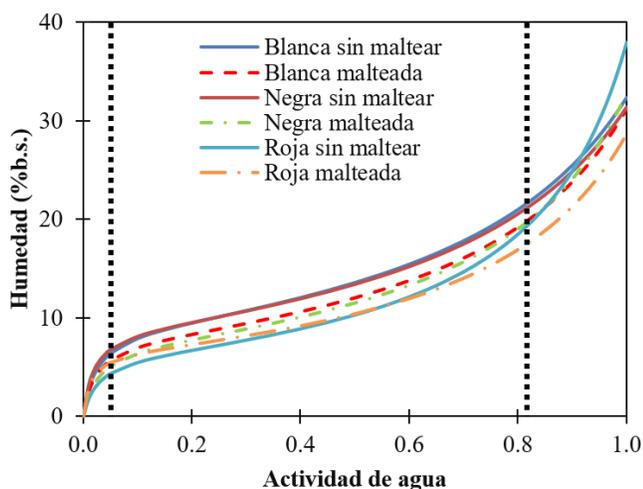


Fig 1. Isotermas de adsorción de harina de tres variedades de quinua malteadas y sin maltear. Las curvas representan los valores predichos por el modelo de GAB y las líneas verticales punteadas indican la separación entre las tres zonas de separación de la isoterma relativas a la condición del agua en el producto.

Con respecto a la vida útil, los parámetros empleados en la determinación de la vida útil estimada para quinua de tres variedades sin maltear y malteada, empleando la ecuación (6) se presentan en la Tabla 3. Para el cálculo de la vida útil se tomó como referencia de humedad crítica 15% (0.1765 kg agua/kg ms), según referencia de la ficha técnica de la empresa proveedora Qali Warma-Perú. También se tomó como humedad inicial 10% para

determinar la humedad en base seca y a partir de esta calcular también la vida útil. Tal como se puede observar en la Tabla 3, la vida útil es mayor en las harinas de quinua malteada, debido posiblemente a los cambios estructurales de las proteínas, carbohidratos, durante el proceso de malteado. Por lo tanto, además de las ventajas nutricionales [8], el malteo aumenta la vida útil de las harinas de quinua.

TABLA 3
PARÁMETROS UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE HARINA DE TRES VARIEDADES DE QUINUA MALTEADAS Y SIN MALTEAR ALMACENADAS EN BOLAS DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD A 25°C.

Parámetro	Quinua					
	Blanca		Negra		Roja	
	SM	M	SM	M	SM	M
Xc (% b.s.)	0.176 5	0.176 5	0.176 5	0.176 5	0.176 5	0.176 5
Xe (% b.s.) a 87% HR	0.239 2	0.221 7	0.233 9	0.223 3	0.225 1	0.197 6
Xi (% b.s.)	0.111 4	0.111 4	0.111 4	0.111 4	0.111 4	0.111 4
Ks (kg agua/m ² ·Pa·día)	1.33E -06	1.33E -06	1.33E -06	1.33E -06	1.33E -06	1.33E -06
S (m ²)	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028
W (kg m.s.)	0.222	0.230	0.221	0.233	0.225	0.234
P ₀ (Pa) 25°C	3173	3173	3173	3173	3173	3173
M	0.358	0.396	0.350	0.438	0.556	0.424
Espesor (µm)	70	70	70	70	70	70
Tiempo de vida útil (días)	482	690	499	756	902	1190
Tiempo de vida útil (meses)	16.1	23.0	16.6	25.2	30.1	39.7
Tiempo de vida útil (años)	1.3	1.9	1.4	2.1	2.5	3.3

IV. CONCLUSIÓN

El comportamiento de las isotermas de adsorción de harina de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) a la temperatura de 25°C fue descrito usando cinco modelos (GAB, BET, Henderson, Halsey y Oswin), donde el modelo de GAB presentó un buen ajuste de los datos experimentales con coeficientes de correlación superiores a 0.9 y un %E menor a 10%. Con el modelo de Heiss y Eichner, basado en un factor crítico bajo unas condiciones de almacenamiento dadas (87% HR) se logró estimar la

vida útil, en bolsas de polietileno de 70 μm de espesor, para las tres variedades de harina de quinua sin maltear: blanca 16.1, negra 16.6, roja 30.1 meses y para las harinas de quinua malteada: blanca 23.0, negra 25.2, roja 39.7 meses a la temperatura de 25°C. Por lo tanto se puede afirmar que el proceso de malteado, además de mejorar las propiedades nutricionales de la quinua, también aumenta la vida útil de las harinas.

NOMENCLATURA

a_w , actividad de agua
 A, B constantes del modelo de Henderson
 C, K constantes del modelo de GAB
 D, E constantes del modelo de Halsey
 F, G constantes del modelo de Oswin
 H, J constantes del modelo de BET
 K_s , permeabilidad del envase ($\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{Pa}\cdot\text{día}$)
 M , pendiente de la isoterma entre la humedad crítica y la de equilibrio
 n , número de observaciones
 P_0 , presión de vapor del agua a la temperatura de almacenamiento (Pa)
 S , superficie del envase (m^2)
 t_s , tiempo de vida útil en anaquel de harina envasada (días)
 X_c , humedad de seguridad (% b.s.)
 X , humedad de equilibrio del producto (% b.s.)
 X_e , humedad de equilibrio de datos experimentales (% b.s.)
 X_i , humedad inicial (% b.s.)
 X_m , humedad de monocapa (% b.s.)
 W , masa de materia seca (kg)
 $\%E$, Porcentaje de error medio relativo

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Trujillo (Perú) por el financiamiento recibido de parte del “Canon Minero” (PIC05-2014-III).

REFERENCES

[1] R. Vilcacundo and B. Hernández-Ledesma, "Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)," *Current Opinion in Food Science*, vol. 14, pp. 1-6, 2017.
[2] A. Bhargava, S. Shukla, and D. Ohri, "Chenopodium quinoa—an Indian perspective," *Industrial crops and products*, vol. 23, pp. 73-87, 2006.
[3] FAO, "Quinoa: An ancient crop to contribute to world food security," *Regional Office for Latin America and the Caribbean*, vol. 2, pp. 73-87, 2011.
[4] A. Vega-Gálvez, M. Miranda, J. Vergara, E. Uribe, L. Puente, and E. A. Martínez, "Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.), an ancient Andean grain: a review," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 90, pp. 2541-2547, 2010.
[5] A. Callisaya, J. Carlos, K. Alvarado, and J. Antonio, "Aislados Proteínicos de granos altoandinos *Chenopodiaceae*; quinua “*Chenopodium Quinoa*”—Cañahua “*Chenopodium Pallidicaule*” por Precipitación Isoeléctrica," *Revista Boliviana de Química*, vol. 26, pp. 12-20, 2009.

[6] C. Álvarez and Y. Cecilia, "Elaboración y caracterización de dos bebidas proteicas, una a base de quinua malteada y la otra a base de quinua sin maltear (*Chenopodium quinoa*)," *Revista en internet*, 2012.
[7] G. Mazza, "Alimentos funcionales," *Aspectos bioquímicos y de procesados*, Ed. Acribia, 2000.
[8] J. Aguilar, A. C. Miano, J. Obregón, J. Soriano-Colchado, and G. Barraza-Jáuregui, "Malting process as an alternative to obtain high nutritional quality quinoa flour," *Journal of Cereal Science*, vol. 90, p. 102858, 2019.
[9] R. A. Carciocchi, K. Dimitrov, and L. Galván D'Alessandro, "Effect of malting conditions on phenolic content, Maillard reaction products formation, and antioxidant activity of quinoa seeds," *Journal of Food Science and Technology*, vol. 53, pp. 3978-3985, 2016/11/01 2016.
[10] M. P. Tolaba, M. Peltzer, N. Enriquez, and M. a. L. a. Pollio, "Grain sorption equilibria of quinoa grains," *Journal of food engineering*, vol. 61, pp. 365-371, 2004.
[11] H. Toğrul and N. Arslan, "Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of walnut kernels," *Journal of Stored Products Research*, vol. 43, pp. 252-264, 2007.
[12] A. H. Al-Muhtaseb, W. A. M. McMinn, and T. R. A. Magee, "Moisture Sorption Isotherm Characteristics of Food Products: A Review," *Food and Bioproducts Processing*, vol. 80, pp. 118-128, 2002.
[13] E. O. Timmermann, J. Chirife, and H. Iglesias, "Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters?," *Journal of food engineering*, vol. 48, pp. 19-31, 2001.
[14] R. Boquet, J. Chirife, and H. IGLESIAS, "Equations for fitting water sorption isotherms of foods: II. Evaluation of various two-parameter models," *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 13, pp. 319-327, 1978.
[15] J. Chirife and H. A. Iglesias, "Equations for fitting water sorption isotherms of foods: Part I—a review," *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 13, pp. 159-174, 1978.
[16] AOAC, *Official methods of analysis of AOAC International* 18th ed. Arlington, VA, 2010.
[17] D. Ikhu-Omoregbe, "Comparison of the sorption isotherm characteristics of two cassava products," *International Journal of Food Properties*, vol. 9, pp. 167-177, 2006.
[18] D. C. Montgomery, "Diseño y analisis de experimentos," 2005.
[19] F. Prieto García, A. J. Gordillo Martínez, J. Prieto Méndez, C. A. Gómez Aldapa, and A. D. Román Gutiérrez, "Evaluación de las isotermas de sorción en cereales para desayuno," *Superficies y vacío*, vol. 19, pp. 12-19, 2006.
[20] J. Chirife and H. Iglesias, "Estimation of the precision of isosteric heats of sorption determined from the temperature dependence of food isotherms," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 25, pp. 83-84, 1992.
[21] A. H. Al-Muhtaseb, W. A. M. McMinn, and T. R. A. Magee, "Water sorption isotherms of starch powders: Part I: mathematical description of experimental data," *Journal of Food Engineering*, vol. 61, pp. 297-307, 2004/02/01/ 2004.
[22] S. Damodaran and K. L. Parkin, *Fennema's food chemistry* vol. 4: CRC press Boca Raton, FL, 2008.