

## ADSORCIÓN DE VAPOR DE AGUA DE SNACKS DE CHONTADURO (*Bactris gasipaes*)

DIANA PAOLA NAVIA PORRAS, NATHALY ZAFRA MARTÍNEZ, ANA MARÍA JARAMILLO MENESES, DANIELA MORALES PACHECO

Universidad de San Buenaventura – Cali, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación Biotecnología - Avenida 10 de Mayo, La Umbría, Vía a Pance, Cali, código postal 760031- Colombia.

e-mails: dpnavia@usbcali.edu.co, naza\_21327@hotmail.com, jaramilloa45@gmail.com, dani\_0995\_@hotmail.com

Recibido: diciembre 2017

Aprobado para publicación: junio 2018

### RESUMEN

Snacks de chontaduro (*Bactris gasipaes*) fueron obtenidos a partir de rodajas de fruta horneadas a 125°C y caracterizados físico-químicamente, mediante pruebas de contenido de humedad, acidez titulable y densidad aparente. Los snacks fueron sometidos a ensayos de adsorción de vapor de agua mediante el método gravimétrico a 25°C, por contacto indirecto con soluciones salinas saturadas, que proporcionaron un intervalo de actividad de agua entre 0,04 y 0,958. Los valores experimentales de adsorción fueron ajustados usando los modelos matemáticos Peleg, GAB, Oswin y Smith. Se obtuvo snacks con contenido de humedad del 2,23%, ácido cítrico de 0,064% y densidad aparente de 1,273 g/mL. Los resultados mostraron que la isoterma de adsorción de vapor de agua evidenció forma convexa al eje de las abscisas, clasificándose como tipo III. El modelo de Oswin fue el que mejor se ajustó el experimento de adsorción de humedad de los snacks de chontaduro.

*Palabras clave:* adsorción, humedad, chontaduro, isothermas, snack

## WATER VAPOR ADSORPTION OF CHONTADURO SNACKS (*Bactris gasipaes*)

### ABSTRACT

Snacks of chontaduro (*Bactris gasipaes*) were obtained from fruit slices baked at 125°C and physical-chemically characterized by tests of moisture content, titratable acidity and apparent density. The snacks were subjected to water vapor adsorption tests using the gravimetric method at 25°C, by indirect contact with saturated saline solutions that provided a water activity interval between 0,04 and 0,958. The experimental adsorption values were adjusted using the Peleg, GAB, Oswin and Smith mathematical models. Snacks with a moisture content of 2.23%, citric acid of 0.064% and apparent density of 1.273 g/mL were obtained. The results showed that the water vapor adsorption isotherm evidenced convex form to the abscissa axis, classified it as type III. Oswin's model was the best fitted to the moisture adsorption experiment of chontaduro snacks.

*Keywords:* adsorption, moisture, chontaduro, isotherms, snack

### INTRODUCCIÓN

El chontaduro (*Bactris gasipaes*) es una de las frutas exóticas más importantes para Colombia, con un área cultivada de 8,822 hectáreas y una producción de 70,471 toneladas en el año 2011, concentradas en los departamentos de Valle del Cauca con 69,3%, Cauca con 19,2% y Putumayo con 11,5% (Daza, Rodríguez & Mosquera, 2015). En el departamento del Valle del Cauca (Colombia), el desarrollo y articulación de la cadena productiva de frutos como el chontaduro se encuentra priorizada como una de las apuestas más

importantes en agroindustria de la Agenda Interna para la Productividad y la Competitividad del Departamento (DNP, 2007). El fruto consta de un conjunto de drupas, recubiertas con una capa amilácea de espesor variable, dispuestas en racimos con colores diversos (rojo, amarillo, anaranjado) de forma cónica, ovoide o elipsoidal; miden de 2,5 a 5,0 cm y contienen una semilla por fruto. Un racimo normal puede contener entre 50 y 100 frutos, con rendimientos que pueden ir de 100 a 3500 kg/ha (Daza *et al.*, 2015).

El consumo tradicional del chontaduro se hace principalmente como fruto cocido (Martínez & Ordoñez, 2016); sin embargo, es posible usar diferentes tecnologías de procesamiento y otras formas de transformación para prolongar su vida útil, luego de su pelado y cocción. Con esto, se logra que los interesados tengan un producto fresco, bien conservado e higiénicamente procesado, listo para ser consumido. En este orden de ideas, la elaboración de snacks a partir del chontaduro ofrece una alternativa de agregación de valor y desarrollo de la cadena productiva de este fruto, alineada con las apuestas productivas de la región del Valle del Cauca (Colombia). Por tanto, el producto evaluado en este estudio fomenta la agroindustrialización de la fruta y además provee información sobre sus propiedades de estabilidad en almacenamiento.

Ahora bien, existen reportes sobre productos obtenidos a partir de chontaduro, pero la información publicada aún es escasa y limitada. Uno de los parámetros clave para determinar las condiciones de almacenamiento de un producto alimentario, es la ganancia de humedad en condiciones específicas de temperatura y humedad relativa. La técnica empleada para evaluar la ganancia de agua en forma de vapor es la isoterma de adsorción, la cual describe qué tan fuerte se liga el agua a la superficie de un sólido, brindando datos sobre el comportamiento termodinámico del producto en el proceso de adsorción de agua.

Esta información es útil para diseñar los cálculos del proceso de deshidratación (desorción) o rehidratación (adsorción) al mismo tiempo que para predecir la estabilidad del alimento en almacenamiento (Sormoli & Langrish, 2015). Las isotermas de sorción pueden ser, según la clasificación Brunauer (Brunauer, 1943): tipo I, cóncavas al eje de abscisas y casi lineales a altos valores de actividad de agua ( $a_w$ , por sus siglas en inglés) y corresponden a fenómenos de quimi-sorción que ocurren en una sola capa en los puntos activos de la superficie del adsorbente; las de tipo II presentan forma sigmoidea (tipo BET), son cóncavas al eje de abscisas en bajos valores de  $a_w$  y convexas en altos valores de  $a_w$ ; y las de tipo III son convexas siempre al eje horizontal. Adicional a las anteriores, las isotermas tipo IV y V son típicas en productos porosos, en los que al final de las curvas se forma una meseta, la cual está asociada a la saturación capilar (Navia, Ayala & Villada, 2014).

Según lo anterior, es importante conocer la conducta higroscópica del snack y su estabilidad físico-química, información crucial para proyectar su comportamiento en diferentes condiciones de almacenamiento. El objetivo de este estudio fue determinar experimentalmente la adsorción de vapor de agua en muestras de snack de chontaduro a

25°C y evaluar su ajuste matemático con los modelos de Peleg (Peleg, 1993), GAB (Van den Berg, 1985), Oswin (Oswin, 2016) y Smith (Smith, 1947).

## TÉCNICAS EXPERIMENTALES

### Preparación de la muestra

Se emplearon frutos de chontaduro (*Bactris gasipaes*) cocidos, los cuales fueron adquiridos en el mercado local de la ciudad de Cali (Colombia), cortados en cilindros de 2 cm de diámetro y 2 mm de espesor, sumergidos en almíbar 60/40: agua/sacarosa durante 5 minutos y horneados en horno convectivo (Javar, Italia) a 125°C durante 25 minutos, obteniendo muestras con humedad de 1,33%.

### Pruebas de caracterización

#### Contenido de humedad

El contenido de humedad de las muestras fue determinado de acuerdo al método AOAC 934.01, (Helrich, 1990). Se tomaron cerca de 10 g de muestra y fueron deshidratados a 105°C en horno convectivo (Mettler, Alemania), hasta obtener peso constante.

#### Acidez titulable

El porcentaje de acidez titulable fue determinado por el método AOAC 939.05, (Helrich, 1990). La titulación se realizó con NaOH al 0,1N, con fenolftaleína como indicador, empleando 1g de chontaduro deshidratado macerado diluido en 10mL de agua. La acidez titulable fue medida en términos de ácido cítrico mediante la ecuación 1.

$$\% \text{ Ácido cítrico} = \frac{V N P_{meq}}{v} \times 100 \quad (1)$$

Donde  $V$  es el volumen en mL de NaOH empleado en la titulación,  $N$  la normalidad del NaOH,  $P_{meq}$  el peso en miliequivalentes de ácido cítrico (0,064 meq) y  $v$  el volumen en mL de muestra.

#### Densidad aparente

Una muestra de snack de chontaduro de peso conocido fue introducida en una probeta de 5 mL y el volumen desplazado fue registrado para el posterior cálculo de la densidad aparente (peso/volumen).

## Determinación de las isotermas de adsorción

Las isotermas de adsorción fueron determinadas por el método gravimétrico, el cual involucra el uso de soluciones salinas saturadas, preparadas con el fin de obtener valores diferentes de humedad relativa. Las soluciones salinas empleadas y su correspondiente valor de humedad relativa se muestran en la Tabla 1. Las soluciones salinas fueron dispuestas en 7 recipientes herméticos de vidrio. Las muestras fueron introducidas en los recipientes por triplicado. El experimento se llevó a cabo a 25°C por un periodo de 25 días. Para el registro gravimétrico se empleó una balanza analítica (Ohaus, Estados Unidos).

**Tabla 1.** Humedad relativa de las soluciones a 25°C

Sal	Temperatura 25°C
	Actividad de Agua (aw)
Cloruro de Litio	0,040
Acetato de Potasio	0,392
Carbonato de Potasio	0,487
Bromuro de Sodio	0,647
Cloruro de Sodio	0,706
Cloruro de Potasio	0,894
Sulfato de Potasio	0,958

## Modelación del experimento

Se emplearon cuatro modelos matemáticos: GAB, Peleg, Smith y Oswin, para determinar el ajuste a los valores obtenidos experimentalmente. En la Tabla 2 se representan las ecuaciones que van desde la 2 hasta la 5 de cada modelo, así como sus parámetros, donde “m” es el “contenido de humedad de equilibrio-che”, “ $m_o$ ” “C”, “ $k_1$ ”, “ $n_1$ ”, “ $n_2$ ”, “A” y “B” son parámetros de ajuste de cada modelo.

Para el análisis de regresión se empleó el programa MATLAB R2015a. El modelo que más se adaptó al experimento fue escogido de acuerdo al porcentaje de error medio relativo (MRE) (ecuación 6) y el coeficiente de determinación  $R^2$  (Safa *et al.*, 2016).

$$MRE(\%) = \frac{100}{N} \sum \left[ \frac{Me - Mp}{Me} \right] \quad (6)$$

**Tabla 2.** Ecuaciones de los modelos matemáticos

Modelo	Ecuación	Referencia
GAB	$m = \left( \frac{m_o C k a_w}{(1 - k a_w)(1 - k a_w + k C a_w)} \right)$	(2) Van den Berg, 1985
Peleg	$m = k_1 (a_w)^{n_1} + k_2 (a_w)^{n_2}$	(3) Peleg, 1993
Smith	$m = A + B \cdot \ln(1 - a_w)$	(4) Smith, 1947
Oswin	$m = a \left( \frac{a_w}{1 - a_w} \right)^b$	(5) Oswin, 1946

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización físico-química

Los snacks de chontaduro obtuvieron un contenido de humedad equivalente al 2,23% en base húmeda. Este valor es inferior al contenido de humedad promedio en muestras de frutas deshidratadas comerciales, el cual se encuentra en el intervalo de 5,7 a 22,5% (Megias *et al.*, 2012). Se considera que los snacks obtenidos tienen un valor de humedad que los clasifica como alimentos secos estables, siempre y cuando este valor permanezca constante durante su almacenamiento. Los valores bajos de contenido de humedad en un producto implican que las condiciones para su almacenamiento, como temperaturas de refrigeración, congelación, empaques, entre otros, sean menos exigentes. Los productos secos pueden almacenarse a temperatura ambiente y bajo condiciones de humedad no controladas, facilitando su almacenamiento, siendo más resistentes a la contaminación microbiana y otras reacciones químicas de deterioro y minimizando los costos de transporte (Raghavi, Moses & Anandharamkrishnan, 2018).

Por otra parte, la acidez es un factor muy importante que determina la aceptabilidad de los productos alimentarios. La acidez titulable de los snacks de chontaduro expresada como porcentaje de ácido cítrico arrojó un valor de 0,064%, muy por debajo de frutas como el melón, el mamey, el banano o la pitahaya amarilla, que tienen un porcentaje de 0,09%, 0,2%, 0,3% y 0,15%, respectivamente (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013). El chontaduro en fresco tiene valores muy bajos de ácido cítrico como ácido orgánico característico de la fruta; de hecho, en los documentos normativos colombianos no se reporta un valor para esta característica tanto en pulpa, como en zumo o jugo (Ministerio de Salud y Protección Social, 2013); aunque las publicaciones al respecto son escasas. No obstante, en una prueba sensorial preliminar, el producto horneado fue considerado altamente agradable al paladar.

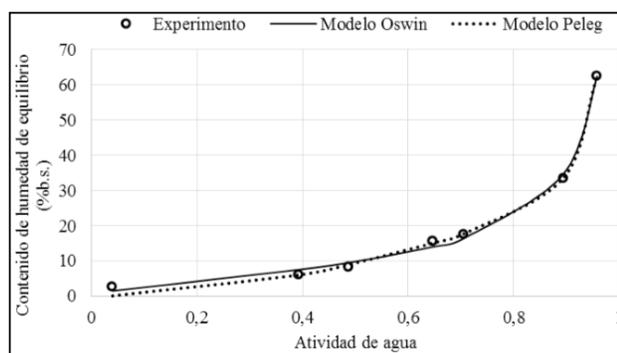
La densidad es una propiedad estructural importante en los alimentos. Como característica física, la densidad es necesaria en los cálculos de ingeniería y es un parámetro de calidad en las etapas medias y al finalizar el proceso de secado. Este parámetro de calidad, es importante en la caracterización y predicción de la estabilidad de los productos secos y procesados. Es también significativo en el desarrollo de nuevos productos industriales con características deseables, y en la mejora de productos ya existentes. La densidad de los productos secos, en este caso, el snack de chontaduro, es esencial en el diseño del proceso y del equipo de procesamiento (Rodríguez *et al.*, 2012). En el modelado de los procesos, la densidad es usada para estudiar el fenómeno de transporte durante el secado o el procesamiento de los alimentos lo cual involucra cambios en el volumen de la fase sólida y la concentración de las fases móviles (Rodríguez *et al.*, 2012). Los materiales deshidratados por método convectivo se caracterizan por tener baja porosidad y alta densidad aparente (Rodríguez *et al.*, 2012). De hecho, esta densidad del snack de chontaduro, equivalente a 1,273 g/mL, fue superior a otro tipo de snacks como los chips de papa 0,09 a 0,12 g/mL (FAO, 2012), productos horneados a base de harina de trigo entre 0,88 y 1,0 g/mL (Rodríguez, 2014) y snacks laminados extruidos de quínoa 0,28 - 0,53 g/mL (Revelo, 2010). De acuerdo con Revelo (2010), para el caso de los productos extruidos, mientras más bajo sea el valor de densidad aparente, aquél tendrá características estructurales (forma y tamaño de células de aire) y sensoriales (crocancia) más favorables. Dado que el snack de chontaduro fue obtenido por horneado (deshidratación convectiva), su densidad aparente fue alta. Sin embargo, la crocancia obtenida en la prueba sensorial preliminar fue considerada de tipo “nivel de agrado”; al respecto, se utilizó un panel no entrenado de quince panelistas que calificaron la crocancia de los snacks, empleando una escala hedónica.

### Isoterma de adsorción

El comportamiento experimental de adsorción de la humedad de los snacks de chontaduro a 25°C se presenta en la Figura 1. La isoterma muestra un incremento en el contenido de humedad de equilibrio con el aumento del valor de actividad de agua, una característica de materiales amorfos ricos en componentes hidrofílicos, como carbohidratos o proteínas (Muzaffar & Kumar, 2016). Esto puede justificarse por la composición nutricional del chontaduro, que cuenta con un valor importante de carbohidratos 37.9% y 3.3% de proteína (FAO, 2014). Adicionalmente, los snacks de chontaduro fueron dispuestos en un almíbar de sacarosa durante su procesamiento, por lo cual, en el almacenamiento, la sacarosa se pudo impregnar en la matriz alimentaria, promoviendo la ganancia de humedad, debido a que la

sacarosa es un polisacárido altamente soluble en agua. Comportamientos similares de ganancia de humedad han sido reportados en papaya deshidratada con aire caliente (Udomkun *et al.*, 2015), frambuesas osmo-deshidratadas y posteriormente secadas con aire caliente (Sette, Salvatori & Schebor, 2016), kiwi osmo-deshidratado pretratado con pulsos eléctricos (Traffano-Schiffo *et al.*, 2017), cereza en polvo (Oliveira, Figueiredo & Queiroz., 2016) y borrojo liofilizado (Mosquera *et al.*, 2010). Asimismo, puede notarse un incremento sustancial de contenido de humedad de equilibrio en valores de actividad de agua mayores a 0,7, superando el 60% de contenido de humedad al alcanzar un valor de actividad de agua cercano a 0,9. Esto indica que el producto tiene alta capacidad para adsorber vapor de agua de su entorno, por lo que se considera susceptible a deterioro microbiológico en condiciones de almacenamiento con humedad relativa superior a 70%.

El contenido de humedad de equilibrio que presentaron los chips de chontaduro en el rango de actividad de agua de 0,5 a 0,7 es similar al presentado en chips de plátano en el mismo rango de actividad de agua según Basilio, (2015), quien reporta que la ganancia de humedad de las muestras de plátano es dependiente de la humedad relativa y de otros factores, como temperatura del experimento.



**Figura 1.** Adsorción de vapor de agua experimental y modelada de snacks de chontaduro a 25°C

Los resultados del análisis de regresión para el ajuste de los datos experimentales de los cuatro modelos matemáticos con el porcentaje de error medio relativo (MRE) y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) son presentados en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Parámetros de los modelos de adsorción de snacks de chontaduro

Modelo	Parámetro	Valor	MRE (%)	R <sup>2</sup>
GAB	$m_0$ (%b.s.)	0,0011	36,74	0,9721
	C	-127,6556		
	K	0,8414		
Oswin	A	9,7867	14,74	0,9963
	B	0,592		
Smith	A	-3,0945	35,41	0,9615
	B	-18,9271		
Peleg	k1	1,2085	15,66	0,9979
	k2	6,7374		
	n1	23,5582		
	n2	1,8428		

El modelo Peleg presentó el valor R<sup>2</sup> más alto y el modelo Oswin evidenció el valor más bajo de MRE, siendo este último el considerado como el de mejor ajuste al comportamiento experimental de adsorción del snack de chontaduro a 25°C (ver Figura 1), al cumplir con el criterio de menor valor de MRE y alto valor de R<sup>2</sup>. De igual modo, el modelo de Peleg presentó un valor de MRE similar a Oswin, por tanto, podría inferirse que se acepta para predecir el experimento. Por su parte, el modelo de GAB presentó un alto valor de coeficiente de determinación; pero el valor de MRE fue muy alto y esto implica que no es posible aceptarlo para predecir la ganancia de humedad de los snacks de chontaduro. El modelo de Smith no fue apropiado para el ajuste del experimento.

Además de la predicción del experimento, los parámetros de algunos de los modelos empleados permiten interpretar el comportamiento de adsorción del alimento estudiado. El parámetro “C” del modelo GAB, está relacionado con la forma o clasificación de la isoterma: valores de C>2 indican que existe punto de inflexión en la curva (típico de la forma sigmoidea, tipo II) y, cuando C<2 la isoterma es tipo III, indica que no hay punto de inflexión en la curva (Martínez *et al.*, 1998). Según lo anterior, el valor de C= -127,6 (Tabla 3) indica que las isotermas de adsorción para las muestras de snacks de chontaduro se clasifican como tipo III. De hecho, cualitativamente, puede apreciarse en la Figura 1 que la curva de adsorción no presentó punto de inflexión, evidenciando forma convexa al eje de las abscisas. Esta misma clasificación se presentó en harina de chontaduro (Ovalle, 2015), indicando que este tipo de isoterma es típico de alimentos con alto contenido de carbohidratos y sales.

El parámetro “ $m_0$ ” representa el valor de la “monocapa” que se refiere a la primera capa de agua formada sobre la superficie del alimento adsorbente, llamado también

humedad de la capa mono-molecular. El valor de  $m_0$  en las muestras de snacks de chontaduro fue de 0.001% en base seca. Saavedra (2009) encontró en chips de yuca el valor de monocapa de 5%, y García-Armenta *et al.*, (2016), determinaron el valor de “ $m_0$ ” 4.3% en chips de tortilla de maíz, mediante el modelo de GAB. El valor de “ $m_0$ ” de los chips de chontaduro es bajo, lo que indica que el producto tiene menos sitios activos para atraer moléculas de agua en su superficie, al formar la primera capa de agua.

De otro lado, los parámetros k1 y k2 del modelo Peleg, representan la transferencia de masa y la capacidad de adsorción de agua del material respectivamente (Turhan, Sayar & Gunasekaran, 2002). Cuanto más alto sea k1 menor será la velocidad de transferencia de masa y cuanto más alto sea k2 mayor será la capacidad de adsorción. Los datos de la tabla 3 corresponden a valores bajos de k1 y altos de k2, los cuales indican alta velocidad inicial de adsorción de agua y mayor capacidad de adsorción, respectivamente (Turhan *et al.*, 2002). En consecuencia, se infiere que los snacks de chontaduro tienen una ganancia inicial de humedad rápida y una alta capacidad de adhesión de agua en la superficie conforme aumenta la disponibilidad de vapor de agua en el entorno que los rodea.

## CONCLUSIONES

El contenido de humedad de equilibrio a 25°C de los snacks de chontaduro varió entre 2,8 y 62,58% (b.s.), evidenciando altos valores de ganancia de humedad en entornos de mayor humedad relativa. El modelo de Oswin presentó el mejor ajuste de los valores experimentales de adsorción de las muestras de chontaduro a 25°C. Los resultados de esta experimentación con snacks de chontaduro sugieren que, en el almacenamiento a 25°C, la condición de humedad relativa sea menor o igual a 70%. Bajo estas condiciones se sugiere emplear materiales de empaque con baja permeabilidad al vapor de agua.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de San Buenaventura Cali (Colombia), por su apoyo en el desarrollo de este estudio.

## REFERENCIAS

BASILIO, J (2015). *Predicción de la vida útil de chifles de plátanos (musa paradisiaca) mediante modelos matemáticos*. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

- BRUNAUER S. (1943). Chapter 8: The Adsorption of Gases and Vapor. In *The Adsorption of Gases and Vapor* (1 Ed), (pp 150-155). London, England: Princeton Univ. Press.
- DAZA J., RODRÍGUEZ, J. & MOSQUERA, S. (2015). Cambios fisiológicos, texturales y fisicoquímicos de dos variedades de chontaduro (*Bactris gasipaes*) en poscosecha. *Biotechnol en el Sector Agropecu. y Agroind*, 13(2), 67-75.
- DNP. (2007). Agenda Interna para la Productividad y la Competitividad del Valle del Cauca. Dirección Nacional de Planeación. Recuperado de <http://cpps.dyndns.info/cpps-docs-web/planaccion/biblioteca/pordinario/Colombia/documentos%20DNP/Agenda%20interna%20para%20la%20productividad%20y%20competitividad%20Valle%20del%20Cauca.pdf>
- FAO. (2012). FAO/Infodocs Databases: Density Database Versión 2.0. Consultado el 15/06/2017 en: <http://www.fao.org/docrep/017/ap815e/ap815e.pdf>
- FAO. (2014). Hoja de balance de alimentos colombiana. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. Consultado el 15/06/2017 en: <http://www.fao.org/3/a-i4301s.pdf>
- GARCÍA-ARMENTA E, TÉLLEZ-MEDINA, D., SÁNCHEZ-SEGURA, L., ALAMILLA-BELTRÁN, L., HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, H., GUTIÉRREZ-LÓPEZ, G.F. (2016). Multifractal Breakage Pattern of Tortilla Chips as Related to Moisture Content. *J. Food Eng.*, 168, 96–104. doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.07.015
- HELDRICH, K. (Ed.). (1990). *AOAC: Oficial Methods of Analysis* (15 ed., Vol. 1). Arlington, Virginia, USA: Association of Official Analytical Chemists, INC. Recuperado el 19 de 10 de 2016, de: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>
- NAVIA, D. P., AYALA, A. A., & VILLADA, H. S. (2014). Adsorción de Vapor de Agua de Bioplásticos Elaborados con Harina de dos Variedades de Yuca (Adsorción Manihot esculenta Crantz). *Información tecnológica*, 25(6), 23-32.
- MARTÍNEZ A, ANDRÉS, A., CHIRALT, A., FITO P. (1998). *Termodinámica y cinética de sistemas alimento entorno*, 1ª edición. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- MARTÍNEZ J, & ORDOÑEZ, L. (2016). Determinación de la concentración de pigmentos carotenoides en harina de residuos de chontaduro (*Bactris gasipaes*). *Prod. Más Limpia*, 11, 85-93.
- MEGIAS R, GAMBOA, J., SORIA, A., MONTILLA, A., VILLAMIEL, M. (2012). Evaluación de la calidad en frutas deshidratadas comerciales comunes y exóticas. Recuperado de <http://digital.csic.es/handle/10261/114745>
- MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. (2013). Resolución número 3929 de 2013. República de Colombia. Recuperado de [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%203929%20de%202013.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resoluci%C3%B3n%203929%20de%202013.pdf)
- MOSQUERA L.H., MORAGA, G, MARTÍNEZ, N., CHIRALT, A. (2010). Isotermas de sorción y transición vítrea de la pulpa de borojó (*Borojoa patinoi Cuatr.*), *Nereis*, 3, 45-51.
- MUZZAFFAR K., & KUMAR, P. (2016). Moisture Sorption Isotherms and Storage Study of Spray Dried Tamarind Pulp Powder. *Powder Technol*, 291, 322-327.
- OLIVEIRA F, FIGUEIREDO, R., QUEIROZ, A. (2016). Isotermas de adsorción de humedad de la cereza de cayena (*Eugenia uniflora L.*) en polvo. *Ing., Innov*, 1, 79 - 94.
- OSWIN C. (1946). The Kinetics of Package Life III. The Isotherm. *J. Soc. Chem. Ind.*, 65, 419-421.
- OVALLE F. (2015). *Evaluación de Isotermas de Adsorción de Pijuayo (Bactris Gasipaes)*. Tesis de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado, Perú.
- PELEG, M. (1993). Assessment of a Semi-Empirical Four Parameter General Model for Sigmoid Moisture Sorption Isotherms. *J. Food Process Eng.*, 16(1), 21-37.
- SORMOLI M., & LANGRISH T. (2015). Moisture Sorption Isotherms and Net Isothermic Heat of Sorption for Spray-Dried Pure Orange Juice Powder. *LWT - Food Sci. Tech.*, 62, 875-882.
- TURHAN, M., SAYAR, S., GUNASEKARAN, S. (2002). Application of Peleg Model to Study Water Absorption in Chickpea During Soaking, *J. Food Eng.*, 53(2), 153–159.

- RAGHAVI, L.M., MOSES, J.A., ANANDHARAMAKRISHNAN, C. (2018). Refractance Window Drying of Foods: A Review. *J. Food Eng.*, 222, 267-275
- REVELO, A (2010). *Desarrollo y Evaluación de las Tecnologías de un Snack Laminado a Partir de Quinoa*. Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- RODRÍGUEZ, J, MÉNDEZ, L., LÓPEZ, A., SANDOVAL, S. (2012). True Density and Apparent Density During the Drying Process for Vegetables and Fruits: A Review. *J. Food Sci.*, 77(12), R146-R154.
- RODRÍGUEZ, J (2014). *Reformulación de Productos Horneados para Disminuir el Contenido de Grasa y Azúcar Mediante la Sustitución con Inulina. Efecto Sobre la Estructura y Propiedades Físicas*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- SAAVEDRA, M.N. (2009). *Elaboración de Chips de Yuca (Manihot Esculenta) y Determinación de su Vida en Anaquel*. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- SAFA, M., IDLIMAM A., MAHROUZ, M., LAHNINE, L., HIDAR, N., OUHAMMOU, M., MOUHIB, M., ZANTAR, S., BOUCHDOUG, M. (2016). Comparative Moisture Sorption Isotherms, Modelling and Isotheric Heat of Sorption of Controlled and Irradiated Moroccan Rosemary Leaves. *Ind. Crop. Prod.*, 88, 28–35.
- SETTE P, SALVATORI, D. & SCHEBOR, C. (2016). Physical and Mechanical Properties of Raspberries Subjected to Osmotic Dehydration and Further Dehydration by Air and Freeze-Drying. *Food Bioprod. Process.* 100, 156–171
- SMITH, S. (1947). The Sorption of Water Vapour by High Polymers. *Journal of the American Chemical Society*, 69(3), 646-651.
- TRAFFANO-SCHIFFO M., LAGHI, L., CASTRO-GIRALDEZ, M., TYLEWICZ, U., ROCCULI, P., RAGNI, L., DALLA, M., FITO, P. (2017). Osmotic Dehydration of Organic Kiwifruit Pre-treated by Pulsed Electric Fields and Monitored by NMR. *Food Chem.*, 236, 87–93.
- UDOMKUN P., ARGYROPOULOS, D., NAGLE, M., MAHAYOTHEE, B., MULLER, J. (2015). Sorption Behaviour of Papayas as Affected by Compositional and Structural Alterations from Osmotic Pretreatment and Drying. *J. Food Eng.*, 157, 14–23.
- VAN DEN BERG, C. (1985). Development of B.E.T. like models for sorption of water on foods, theory and relevance. In Simatos D and Multon J.L., *Properties of Water in Foods* (pp. 119-131). Dordrecht, Netherlands: Martinus Nijhoff Publishers.

