

Artículo científico**ISOTERMA DE ADSORCIÓN DE MOLÉCULAS DE AGUA EN HOJAS SECAS DE *PLECTHRANTHUS AMBOINICUS* LOUR SPRENG**

Yaisely Orquídea Hernández Fernández, Alfredo Socorro García, Susana Francisca Calderón Piñar† y Michely Vega León.

RESUMEN

Las moléculas de agua en los vegetales se mantienen unidas a través de fuerzas de atracción o se encuentran fuertemente ligada a una sustancia adsorbente, debido a ello se utiliza el término adsorción para caracterizar la interacción. El orégano (*Plecthranthus amboinicus* (Lour) Spreng) posee gran cantidad de agua en su composición, lo cual dificulta su conservación en estado fresco. De ahí, que el secado sea uno de los métodos más utilizados para prolongar la vida de anaquel en condiciones ambientales de esta especie. Sin embargo, es determinante conocer el contenido de humedad de equilibrio del material para poder estimar cambios potenciales en la estabilidad de la droga seca. El objetivo de la investigación fue obtener la isoterma de adsorción de las hojas de orégano seco a temperatura ambiente. Para ello se empleó la técnica analítica de equilibrio higroscópico a una temperatura de 27 ± 2 °C. Los valores experimentales se ajustaron mediante ocho modelos matemáticos y se clasificó la curva obtenida. La isoterma de adsorción de moléculas de agua en hojas secas de orégano se ajustó al modelo de Halsey y presentó un comportamiento sigmoideal de Tipo III. El contenido de humedad de seguridad y de la capa monomolecular estableció que el orégano se debe secar hasta humedades entre 5 y 13 % para poder almacenarse de forma segura en las condiciones climáticas de Cuba. Las hojas de orégano seca presentaron pocos puntos de adsorción con enlaces relativamente fuertes y la mayor cantidad de agua presente es libre.

Palabras clave: ajuste matemático, equilibrio higroscópico, orégano

Isotherm of adsorption of molecules of water in dry leaves of *Plecthranthus amboinicus* Lour Spreng**ABSTRACT**

The molecules of water in the vegetables stay united through forces of attraction or they are strongly bound to a substance adsorbent, due to it is used it the term adsorption to characterize the interaction. The oregane (*Plecthranthus amboinicus* (Lour.) Spreng) it possesses great quantity of water in their composition, that which hinders their conservation in fresh state. Of there that the drying is one of the

MSc. Yaisely Orquídea Hernández Fernández, <http://orcid.org/0000-0003-4941-539X>. Aspirante a investigador del Departamento Producciones Especializadas del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). Calle 188 no. 38754 e/ 397 y Linderos, Santiago de las Vegas, Boyeros. La Habana, Cuba. E-mail: quimicapost@inifat.co.cu

methods more used to prolong the shelf life under environmental conditions of this species. However, it is decisive to know the content of balance humidity of the material to be able to estimate potential changes in the stability of the dry drug. The objective of the investigation was to obtain the isotherm of adsorption from the leaves of dry oregano to room temperature. To obtain the isotherm the analytic technique of balance hygroscopic it was used to a temperature of 27 ± 2 °C. The experimental values were adjusted by means of eight mathematical models and the obtained curve was classified. The isotherm of adsorption of molecules of water in dry leaves of oregano was adjusted to the pattern of Halsey and it presented a behavior sigmoidal of Type III. The content of humidity of security and of the layer monomolecular it established that the oregano should be dried until humidity's between 5 and 13 % to be able to be stored in a sure way under the climatic conditions of Cuba. The oregano leaves dry off they presented few points of adsorption with relatively strong connections and the biggest quantity in water presents it is free.

Key words: mathematical fitting, hygroscopic equilibrium, oregano

INTRODUCCIÓN

El orégano (*Plecthranthus amboinicus* (Lour) Spreng) es muy conocido por sus características aromáticas y medicinales. La gran cantidad de agua que presenta en su composición, hace que su conservación en estado fresco a temperatura ambiente se vea afectada por la aparición de microorganismos (Hernández et al., 2018). De ahí, que el secado sea uno de los métodos para prolongar la vida de anaquel de esta especie. Sin embargo, es determinante conocer el contenido de humedad de equilibrio (X_e) del material, ya que indica la humedad mínima que se puede alcanzar bajo distintas condiciones del agente secante (Andrade et al., 2017).

La humedad de equilibrio es uno de los parámetros más importantes de los productos secos. Su conocimiento tiene un impacto significativo en la manipulación, el procesamiento y el almacenamiento. Se define como el contenido de humedad del material después de haber sido expuesto a un determinado ambiente por un largo período de tiempo (He et al., 2021).

La representación gráfica que relaciona la actividad del agua (a_w) en función de la humedad equilibrio, es conocida como isoterma de adsorción o desorción (Habibiasar et al., 2020). Este fenómeno está gobernado por la presión de vapor de agua a una temperatura y presión constante. Ésta brinda información útil para la optimización del proceso de secado y permite establecer criterios científicos técnicos durante el almacenamiento de la planta en diferentes ambientes (Khater et al., 2019).

Los valores de contenido de humedad de equilibrio en función de la actividad del agua, pueden describirse a partir de modelos matemáticos que se seleccionen en función de aquel que mejor ajusta los datos experimentales o el que posea un mayor fundamento teórico.

La importancia de conocer el proceso de adsorción de moléculas de agua de una especie, se basa en la capacidad para estimar los cambios potenciales en la estabilidad de la droga seca, a la vez de ser útiles para seleccionar envases y de prever la máxima humedad permitida durante el almacenamiento de la planta seca.

El objetivo de este trabajo fue obtener la isoterma de adsorción de las hojas de orégano seco a temperatura ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron en el Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT) ubicado en Santiago de las Vegas, La Habana, Cuba.

Preparación del material vegetal:

Inicialmente se estableció un área experimental en condiciones de cielo abierto y para ello se emplearon canteros de poliespuma con dimensiones de 1x1 m. La siembra y las atenciones culturales se efectuaron según las orientaciones del Manual de cultivo (Fuentes *et al.*, 2000).

La parte de la planta a cosechar fueron las hojas. Esta labor se realizó de forma manual a los nueve meses de establecido el cultivo. Posteriormente fueron deshidratadas en un secador solar y molinadas en un molino de cuchillas de laboratorio. Luego se tamizaron, a

través de un tamiz con una malla de salida de 1 mm de abertura. El contenido de humedad se determinó por triplicado, según el método gravimétrico y para ello se utilizó una balanza analítica de marca OHAUS Explorer con una precisión de 0,0001 g y una estufa de marca MEMMERR.

Desarrollo experimental:

En la determinación de la isoterma de adsorción se utilizó la técnica analítica de equilibrio higroscópico. En el análisis se colocaron cinco gramos de hojas secas de orégano por triplicado en desecadoras con diferentes soluciones salinas saturadas a la temperatura ambiental ($27 \pm 2^\circ\text{C}$) hasta alcanzar el equilibrio.

Se determinó el peso de la muestra diariamente, hasta que se obtuvo un peso constante y posteriormente se calcularon los contenidos de humedad mediante el método O.A.C. n° 934.06. Los datos experimentales de equilibrio se ajustaron mediante las ecuaciones de la Tabla 2. La calidad del ajuste se evaluó a partir del coeficiente de correlación lineal (R^2) y el porcentaje de error medio relativo (% E).

Tabla 1. Soluciones salinas empleadas el equilibrio higroscópico.

Solución salina	Humedad relativa (%)
Cloruro de litio	11,2
Acetato de potasio	22
Cloruro de magnesio	34
Carbonato de potasio	43
Dicromato de sodio	52
Cloruro de sodio	75
Cloruro de potasio	82,6
Sulfato de potasio	92
Agua	100

Tabla 2. Modelos matemáticos aplicados a las isotermas de adsorción.

Ecuación	Nombre del modelo	Referencia
$X_e = A \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^B$	Oswin	(Choque <i>et al.</i> , 2018)
$X_e = A * a_w^B + C * a_w^D$	Peleg	
$X_e = \left(\frac{-A}{\ln a_w} \right)^{\frac{1}{B}}$	Halsey	
$X_e = \frac{a_w k C X_m}{(1 - k a_w)(1 + (C - 1) k a_w)}$	GAB (Guggenheim, Anderson and of Boer)	
$X_e = 0,01 \left(\frac{-\text{Log}_{10}(1 - a_w)}{10^f} \right)^{1/n}$	Henderson	
$X_e = e^{\left[(a_w)^{\ln(V)} - \left[\frac{1}{4.5 X_s} \right] \right]}$	Caurie	
$X_e = B + A \text{Log}_{10}(1 - a_w)$	Smith	
$X_e = \frac{m K a_w}{1 + K a_w} * \frac{1 - k(1 - w) a_w}{1 - k a_w}$	DAW (D'Arcy-Watt)	Azuara y Beristain (2007)

Dónde: X_e : contenido de humedad en equilibrio ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ms}$); a_w : actividad de agua; X_m : contenido de humedad de la monocapa ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ms}$); X_s : constante de seguridad ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ms}$); $m, n, k, f, K, A, B, V, C, D$: constantes características del producto y relacionadas con el calor de adsorción.

La isoterma obtenida se clasificó de acuerdo a su forma y niveles de adsorción, según los cinco tipos propuestos por Brunauer *et al.* (1938) que se muestran en la Figura 1.

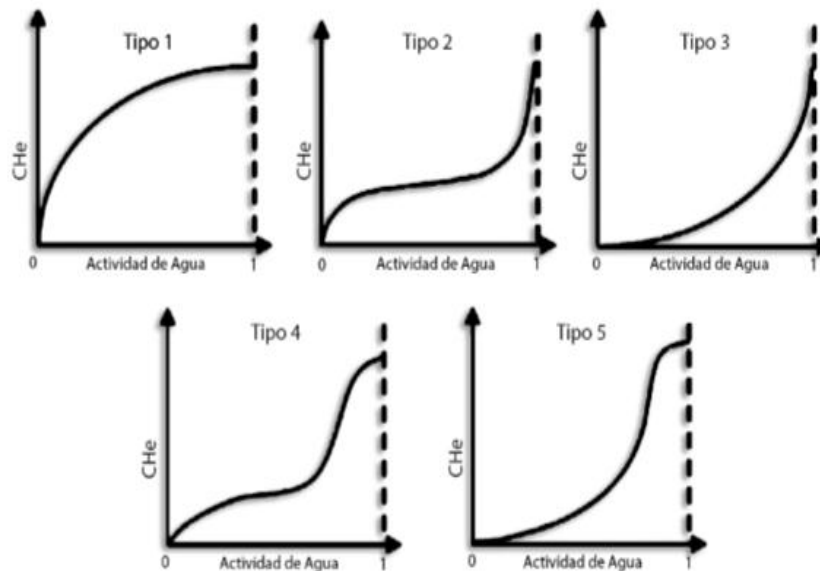


Figura 1. Tipos de isotermas de adsorción según Brunauer *et al.* (1938)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La humedad inicial de la muestra fue $0,1152 \pm 0,001 \text{ g.g}^{-1} \text{ ms}$ y la condición de equilibrio se alcanzó a las 263 h (Figura 2). Cuando la humedad relativa fue inferior al 50 %, las curvas describieron el proceso de desorción y se

estabilizaron a partir de las 71 h, mientras que el fenómeno de adsorción ocurrió para humedades por encima del 50 % y alcanzaron el peso constante a partir de las 167 h de iniciado el experimento.

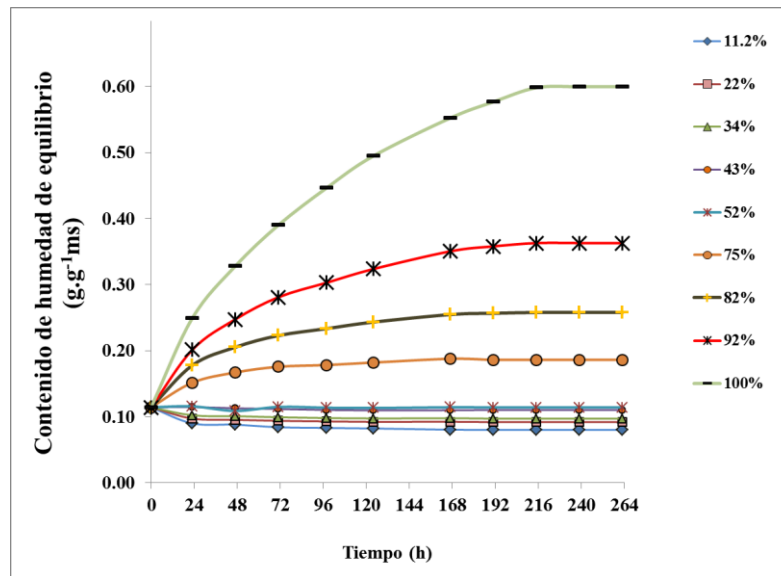


Figura 2. Variación de la humedad de equilibrio en el tiempo para diferentes valores de humedad relativa.

Las hojas secas de orégano para humedades relativas menores al 50 % presentaron una mayor presión de vapor que la solución salina a la que se expusieron, por ello cedieron humedad al medio hasta equilibrarse en un corto período de tiempo. A partir de 0,5 de actividad de agua hubo un cambio en la pendiente, determinado por el aumento de la presión de vapor de agua en el aire generado por la solución salina, en comparación con la superficie de la hoja de orégano (Morais y Junior, 2020).

En esas condiciones las hojas presentaron un menor número de moléculas de agua en relación al aire, lo cual propició la adsorción de moléculas

de agua y el incremento de la humedad de equilibrio. Morais y Junior (2020) plantean que el aumento del número total de sitios activos o disponibles para la adsorción, está relacionado directamente con las características físico-química del producto. De ahí, la importancia de caracterizar el mecanismo de sorción de cada especie, puesto que varía de una a otra.

En la práctica, en los locales de almacenamiento donde la temperatura sea $27 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ y la humedad relativa mayor a 50 %, se favorece la adsorción de moléculas de agua en esta planta. De igual manera, el incremento de la humedad puede provocar la proliferación de

microorganismos que afectan la calidad del material.

La Figura 3 muestra los datos experimentales ajustados a los diferentes modelos.

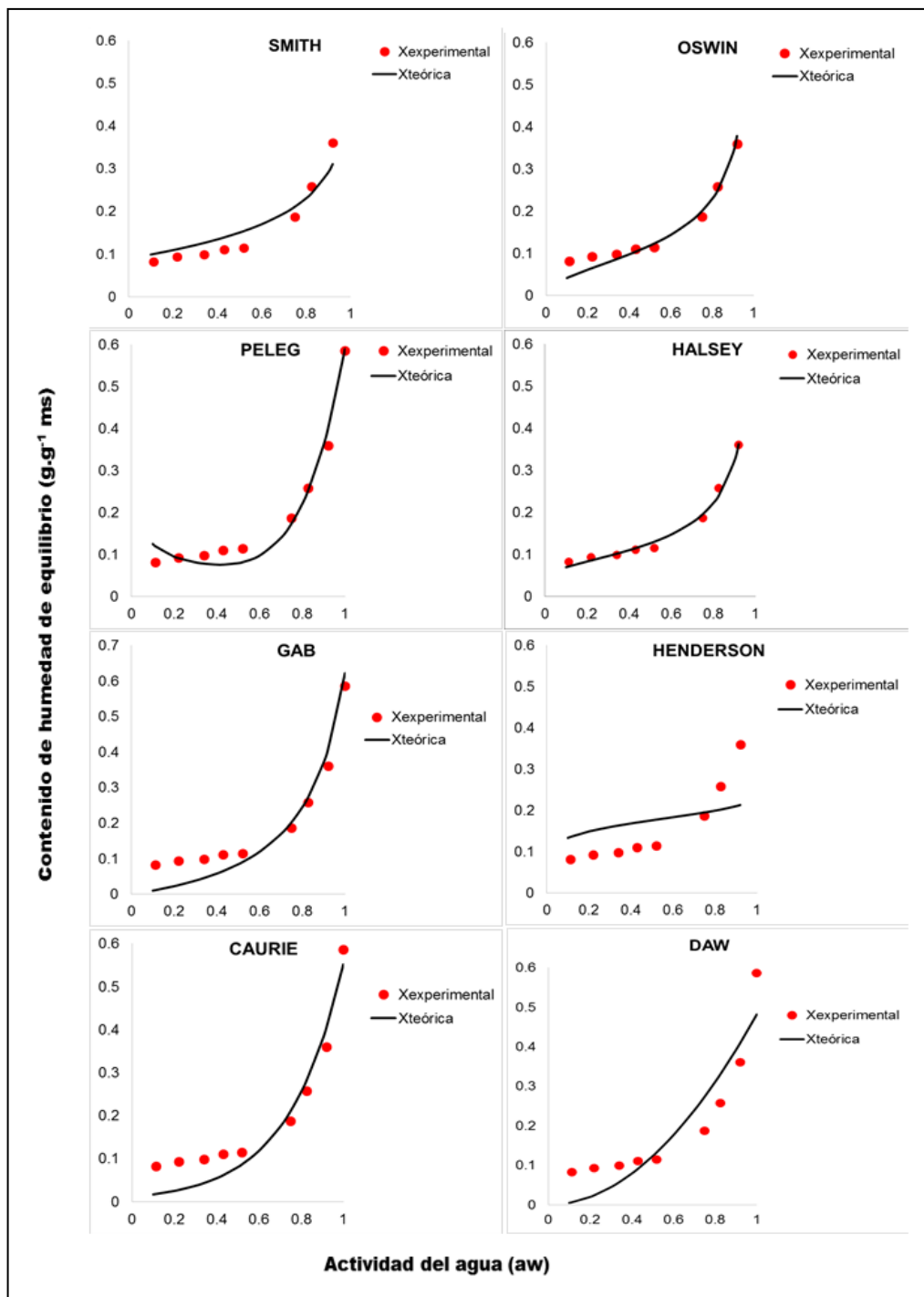


Figura 3. Ajustes de los modelos matemáticos

La Tabla 3 muestra los parámetros obtenidos para cada uno de los modelos evaluados con sus estadígrafos correspondientes. El empleo de varios modelos proporcionó información sobre varios aspectos importantes del proceso de sorción de la planta. Al comparar los valores de

% E y R^2 obtenidos en cada modelo, se seleccionó el modelo de Halsey como el de mejor ajuste. Se observó que los datos ajustados describen una curva sigmoidea de Tipo III según la clasificación de Brunauer.

Tabla 3. Ajuste matemático de los datos experimentales del equilibrio higroscópico.

Modelos	Parámetros	R^2	% E
Halsey	A= 0,0107 B= 2,02	0,99	6,65
Peleg	A = 0,54 C= 0,05 B = 5,2725 D=-0,4	0,98	16,54
Oswin	A= 0,1187 B= 0,475	0,96	14,70
Caurie	V = 47 X_s = 0,05	0,94	34,90
Smith	A= -0,2013 B= 0,0899	0,90	20,07
DAW	m=4,7975 K=0,1 k=0,05 w=2	0,83	38,63
GAB	K= 0,83 C= 0,85 X_m = 0,1313	0,80	34,10
Henderson	n = 6,7921 f= -8,9887	0,38	46,12

La curva de Tipo III es conocida como la isoterma de Flory – Huggins y coincide con la reportada por García *et al.* (2007) para orégano (*Origanum mejorana* L.). Ésta es característica de productos higroscópicos con interacciones adsorbato-adsorbente débiles, además se asocia a una probable fuerza de adsorción pequeña en la monocapa (Guzman y Zapata, 2018). Por otro lado, interacciones débiles generan altas a_w e indican gran potencialidad de inestabilidad del material fundamentalmente durante el almacenamiento.

García (2014) reporta para las especies de Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) y yerba buena (*Mentha spicata* L.) isotermas de Tipo II y las diferencias pueden estar asociadas al rango de temperatura de trabajo empleado por el autor

(20 °C, 40 °C y 60 °C), ya que la temperatura es un parámetro que interviene en la reducción de la higroscopicidad debido a modificaciones estructurales, físicas y texturales. Es por ello que pueden las isotermas cambiar la forma de sigmoideal a parabólica, lo que implica que la curva de Tipo III pase a ser de Tipo II según la clasificación de Brunauer.

Al igual que en lo reportado por Navia y Villada (2012) la isoterma puede dividirse en tres partes: la primera (a_w entre 0,05 - 0,20), donde se encuentran las moléculas más fuertemente ligadas a los grupos hidrofílicos polares y su límite corresponde al valor de la monocapa; una segunda (a_w entre 0,25- 0,70), en la cual se observó una adsorción de agua gradual y lineal, así como un completamiento de la cobertura de

la monocapa de las moléculas de agua mayormente por puentes de hidrógeno con agua retenida y una última etapa (a_w entre 0,75 - 1) donde la adsorción de agua fue más rápida y representó mayoritariamente agua en multicapas.

De acuerdo al error medio relativo y al coeficiente de correlación lineal el modelo de mejor ajuste fue el de Halsey. Esta ecuación considera la condensación de las multicapas a una distancia relativamente grande de la superficie. El valor obtenido para el parámetro B es pequeño en comparación con otras especies estudiadas como el jengibre, pero mayor al reportado por Hernández (2017) para el tilo.

Según Kaymak *et al.* (2007) y Alpizar *et al.* (2018), el coeficiente B caracteriza el tipo de interacción entre el vapor y el material, por lo que el resultado indicó que las fuerzas de atracción predominantes son las de Van der Waals, lo que demuestra que en la composición química del orégano seco los enlaces mayoritarios son débiles y son capaces de llegar a grandes distancias de la superficie de la hoja (Ahmadi *et al.*, 2011).

El contenido de humedad de seguridad (X_s) a partir de Caurie, estableció la humedad con la cual se lograría la máxima estabilidad durante la vida de anaquel de la planta (Choque *et al.*, 2018). En cambio, el contenido de humedad en la capa monomolecular (X_m) obtenido por GAB, representó la disponibilidad de sitios activos para la sorción de agua en el material y se considera como el valor con el cual el material seco es más estable (Guzmán y Zapata, 2018).

A partir de estos modelos (GAB y Caurie) se estableció el rango de contenido de humedad que determinan las condiciones para el almacenamiento seguro del orégano seco a $27 \pm$

2 °C de temperatura. Las diferencias entre los valores obtenidos en diferentes trabajos se atribuyen a la variación en la composición química, principalmente el contenido de azúcares (Jolkili *et al.*, 2020).

El modelo de GAB también facilitó el conocimiento de las interacciones entre las moléculas de agua de la multicapa con el adsorbente, a través del parámetro K. Su valor tiende a estar entre el de la energía de las moléculas en la monocapa y el del agua líquida (Alpizar *et al.*, 2018). Al igual que lo planteado por Quirijns *et al.* (2005) respecto a este parámetro, se observó que los valores fueron inferiores a la unidad, lo que evidenció que las moléculas de agua que se encuentran después de la monocapa no están estructuradas en una multicapa y que su comportamiento es similar a las moléculas de la fracción líquida.

Lo anterior reafirma que probablemente la adsorción en las hojas de orégano seco está constituida principalmente por una sola capa en la superficie del material y las multicapas existentes probablemente sean débiles e inestables.

El parámetro "C" permite relacionar la forma o clasificación de las isotermas de adsorción, es por ello que cuando $C > 2$ indica que existe un punto de inflexión en la curva (típico de la forma sigmoidea forma de "S" en la clasificación II), mientras que cuando es menor que dos la isoterma es de Tipo III. Además, el bajo valor obtenido reafirma que en las hojas de orégano los enlaces del agua en la monocapa no son fuertes.

Los parámetros A y C del modelo de Peleg representaron la transferencia de masa y la capacidad de adsorción de agua de las hojas de orégano respectivamente. Los bajos valores

indicaron una alta velocidad y capacidad de adsorción (Navia *et al.*, 2014) lo que reafirma que lo altamente higroscópico que es el orégano seco.

El parámetro m del modelo de DAW representa la máxima adsorción en sitios primarios, mientras que w es el coeficiente que determina la relación de moléculas de agua adsorbidas en sitios primarios convertidos en sitios secundarios de adsorción (Azua y Beristain, 2007).

Los valores obtenidos indican que en las hojas de orégano seca la mayor cantidad de agua presente es libre y que además contienen pocos puntos de adsorción con enlaces relativamente fuertes; resultado que confirma lo planteado por Quirijns *et al.* (2005) para el parámetro K del modelo de GAB.

Por otro lado, los parámetros característicos A , B , f y n de los modelos de Oswin, Smith y Henderson son constantes de ajuste que solo se afectan con los cambios en la temperatura.

CONCLUSIONES

- ✓ La isoterma de adsorción de moléculas de agua en hojas secas de orégano se ajusta al modelo de Halsey y presenta un comportamiento sigmoideal de Tipo III.
- ✓ El contenido de humedad de seguridad y de la capa monomolecular establece que el orégano se debe secar hasta humedades entre 5 y 13 % para almacenar de forma segura en las condiciones climáticas de Cuba.
- ✓ Las hojas de orégano seca contienen pocos puntos de adsorción con enlaces relativamente fuertes y la mayor cantidad de agua presente es libre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmadi, H.; Movahed, S. y Masoomeh, S. (2011). Moisture desorption isotherms of *Lavandula officinalis* L. Flowers at three temperatures. *Journal of American Science*, 7(6): 757-761. ISSN: 1545-1003.
- Alpizar, E.; Castaño, J.; Carrillo, H.; Alvarez, J.; Gallardo, R.; Pérez, C. y Guadarrama, A. (2018). Thermodynamic sorption analysis and glass transition temperature of faba bean (*Vicia faba* L.) Protein. *J. Food Sci. Technol.*, 55: 935–943. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13197-017-3001-1>.
- Andrade, E.; Figueira, V.; Teixeira, I.; Taveira, J. y Borém, F. (2017). Determination of the hygroscopic equilibrium and isosteric heat of aji chili pepper. *Revista brasileira de Engenharia agrícola e ambiental*. 21(12): 865-871. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agrimbi.v21n12p865-871>.
- Azua, E. y Beristain, C.I. (2007). Estudio termodinámico y cinético de la adsorción de agua en proteína de suero de leche. *Revista mexicana de Ingeniería química*, 6(3): 359-365. ISSN: 1665-2738.
- Brunauer, S.; Emmett, P.H. y Teller, E. (1938). Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. *Journal of the American Chemical Society*. 60 (2): 309-319. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1021/ja01269a023>
- Choque, D.; Ligarda, C.A.; Ramos, B.S.; Taípe, F.; Peralta, D.E. y Solano, A.M.

- (2018). Evaluation of sorption isotherms of grains and flour of amaranth (*Amaranthus caudatus*). Rev. Ion., 31(2):67-81. Disponible en: <https://doi.org/10.18273/revion.v31n2-2018005>.
- Fuentes, V.; Lemes, C.; Rodríguez, C. y Germosén, L. (2000). Manual de cultivo y conservación de plantas medicinales. 2 ed. Cuba: Centenario, S.A.
- García, F.J. (2014). Evaluación de los efectos del proceso de secado sobre la calidad de la stevia (*Stevia rebaudiana Bertoni*) y la hierbabuena (*Mentha spicata* L.). Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 126 p.
- García, S.V.; Schmalko, M.E. y Tanzariello, A. (2007). Isotermas de adsorción y cinética de secado de ciertas hortalizas y aromáticas cultivadas en Misiones. RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias. 36(1):115-129. ISSN: 0325-8718.
- Guzmán, J.C. y Zapata, J.E. (2018). Propiedades termodinámicas e isotermas de sorción de sales con interés alimentario. Información tecnológica, 29(3):105-120. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-07642018000300105>.
- Habibiasar, M.; Noriznan, M.; Nordin, M.; Faezah, K. y Amri, N. (2020). Study on the effects of physical properties of tenera palm kernel during drying and its moisture sorption isotherms. Processes, 8(1658): 18. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/pr8121658>.
- He, Z.; Zhang, D. y Cheng, H.N. (2021). Modeling and thermodynamic analysis of the water sorption isotherms of cottonseed products. Foundations, 1: 32–44. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/foundations1010005>.
- Hernández, Y.O. (2017). Tecnología de secado solar del tilo (*Justicia pectoralis* J. var. *Pectoralis*) para la agricultura urbana cubana. Tesis para optar al título de máster en Agricultura urbana, Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). 95 p.
- Hernández, Y.; Vega, L.; Socorro, A.; Calderón, S.; Lara, L. E. y Veitía, J. (2018): Cinética del secado solar del orégano (*Plecthrantus amboinicus* (Lour.) Spreng). Revista Agrotecnia de Cuba. 42(2): 72-85. ISSN impresa: 0568-3114, ISSN digital: 2414- 4673
- Jolkili, M.; Shaari, A.R. y Razak, N.A. (2020). Moisture adsorption isotherm of dried cassia alata herbal leaves at different temperatures. IOP conference series: materials science and engineering, 932:8. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/932/1/012036>.
- Kaymak, F. y Gedik, A. (2003). Sorption isotherms and isosteric heat of sorption for grapes, apricots, apples and potatoes. Lebensmittel-wissenschaft und-technologie, 37(4): 429-438.
- Khater, E.S.; Bahnasawy, A.H. y Hamouda, R.M. (2019). Dehydration of chamomile flowers under different drying conditions". J. Food Process Technol., 10(803): 1-7. ISSN: 2157-7110.

- Morais, M.L. y Junior, J.M. (2020). Isotermas e propriedades termodinâmicas de sorção de água da farinha de mazamorra de quina com cal. Brazilian journal of development., 6(11):15. Disponible en: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-230>.
- Navia, D. P. y Villada, H.S. (2012). Modelado de las isotermas de adsorción de láminas flexibles biodegradables. Vitae, 19(1): 420-422. ISSN: 0121-4004.
- Navia, D.; Ayala, A. y Villada, H. (2014). Adsorción de vapor de agua de bioplásticos elaborados con harina de dos variedades de yuca (*Manihot esculenta Crantz*). Información tecnológica, 25(6). ISSN: 0718-0764.
- O.A.C. (1990). Official method of analysis. Association of official analytical chemists, nº 934.06, Arlington, VA.
- Quirijns, E.; Boxtel, A.; Loon, W. y Straten, G. (2005). Sorption isotherms, gab parameters and isosteric heat of sorption. Journal of the Science of Food and Agriculture, 85(11): 1805-1814.

Fecha de recepción: 27 marzo 2022

Fecha de aceptación: 26 julio 2022

Agrotecnia de Cuba

ISSN impresa: 0568-3114

ISSN digital: 2414- 4673

<http://www.grupoagricoladecuba.gag.cu>

