

Artículo Original / Original Article

Proceso de sorción de humedad en follaje de perejil (*Petroselinum sativum* var. *latifolium*)

[Moisture sorption process in parsley foliage (*Petroselinum sativum* var. *latifolium*)]Yaisely Orquídea Hernández Fernández¹, Julia Mirta Salgado Pulido² y Michely Vega León¹¹Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt”, La Habana, Cuba²Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliana Dimitrova, Mayabeque, Cuba**Reviewed by:**Juana Chavez
Universidad Norbert Wiener
PeruMarcelo Luis Wagner
Universidad de Buenos Aires
Argentina**Correspondence:**Yaisely Orquídea HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ
yaisely01@gmail.com**Section Quality Control**Received: 30 January 2024
Accepted: 1 April 2024
Accepted corrected: 1 June 2024
Published: 30 November 2024**Citation:**Hernández Fernández YO, Salgado Pulido JM,
Vega León M
Proceso de sorción de humedad en follaje de perejil
(*Petroselinum sativum* var. *latifolium*)
Bol Latinoam Caribe Plant Med Aromat
23 (6): 991 - 1000 (2024)
<https://doi.org/10.37360/blacpma.24.23.6.61>

Abstract: The sorption process of water molecules in parsley foliage is characterized through mathematical modeling. The method used was static according to the analytical technique of hygroscopic equilibrium at room temperature. The experimental values were fitted to six mathematical models and the curve obtained was classified according to its shape and adsorption levels. The fresh samples represented the desorption and the dry ones the adsorption from 75% relative humidity. Different types of isotherm were obtained and a hysteresis loop was evident in the three curves for different water activities. The DAW, Halsey and Oswin models best described sorption, determined the conditions to evidence the hysteresis phenomenon in the samples and established the range of moisture content that fresh and dry parsley foliage must present in order to guarantee maximum durability to room temperature.

Keywords: Seasoning; Conservation; Modeling; Hygroscopic balance; Sorption.

Resumen: Se caracteriza el proceso de sorción de moléculas de agua en el follaje de perejil a través de la modelación matemática. El método empleado fue el estático según la técnica analítica de equilibrio higroscópico a temperatura ambiente. Los valores experimentales se ajustaron a seis modelos matemáticos y la curva obtenida se clasificó según su forma y niveles de adsorción. Las muestras frescas representaron la desorción y las secas la adsorción a partir de 75% de humedad relativa. Se obtuvieron diferentes tipos de isoterma y se evidenció un bucle de histéresis en las tres curvas para distintas actividades de agua. Los modelos de DAW, Halsey y Oswin describieron mejor la sorción, determinaron las condiciones para evidenciar el fenómeno de histéresis en las muestras y establecieron el rango de contenido de humedad que deben presentar el follaje fresco y seco de perejil para poder garantizar una máxima durabilidad a temperatura ambiente.

Palabras clave: Condimento; Conservación; Modelación; Equilibrio higroscópico; Sorción.

INTRODUCTION

En Cuba, durante los últimos años se ha constatado un incremento en el consumo de hierbas aromáticas, tanto en la condimentación de alimentos como en forma de infusiones o bebidas con fines terapéuticos. En este sentido, una de las hortalizas más utilizadas por la industria es el perejil para ser consumido en sopas instantáneas, salsas, especias, cremas y sopas (Manayay *et al.*, 2019).

El perejil es una hortaliza muy importante debido a su valor nutricional. Se caracteriza por tener un alto contenido de vitamina C, β -caroteno, tiamina, riboflavina, y vitamina E (Manayay *et al.*, 2019). Esta planta contiene altos niveles de humedad, por lo que el secado se ha convertido durante la etapa de postcosecha, en uno de los métodos de conservación más utilizados para prolongar el período de vida útil. Este proceso se basa fundamentalmente en la disminución de la actividad del agua del producto hasta niveles que garantizan la calidad durante el almacenamiento.

La determinación de la actividad del agua (a_w) en función de la humedad equilibrio (X_e), es de gran importancia para la conservación de productos bajo determinadas condiciones. Dicha relación puede ser estudiada a partir de las isothermas de sorción, sobre la cual influyen la humedad relativa, la temperatura, entre otros factores (Casino *et al.*, 2019). En este sentido, es importante conocer que el agua en los tejidos vegetales no se encuentra distribuida de forma uniforme, por lo que se crean zonas microscópicas en la cual ésta no tiene las mismas condiciones en todos los puntos, por lo que ha llevado a los conceptos de agua libre y agua

ligada. El agua libre puede ser extraída con facilidad, mientras que el agua ligada puede llegar a formar sitios de adsorción con enlaces relativamente fuertes que dificultan su difusión (Hernández *et al.*, 2022).

Por otro parte, el modelado de los procesos de sorción no es sencillo y aún en la actualidad se continúan las investigaciones en este campo. Esto se debe principalmente a la complejidad inherente al proceso simultáneo de transferencia de masa y energía que ocurre, así como a la variabilidad de los compuestos biológicos sobre los que se aplican las diversas funciones matemáticas (Jolkili *et al.*, 2020; He *et al.*, 2021).

El conocimiento de los procesos de adsorción-desorción permite determinar y establecer criterios técnicos para el secado y el almacenamiento. Es por ello que objetivo de este trabajo consiste en caracterizar el proceso de sorción de moléculas de agua en el follaje de perejil a través de la modelación matemática.

MATERIALES Y MÉTODOS

EL follaje de perejil empleado en el estudio procede de tres lotes de cultivo cosechados en la misma fecha en una de las áreas experimentales del Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliana Dimitrova (IIHLD). De esta manera se conformaron tres grupos y cada uno de ellos se evaluó como un proceso independiente. En la determinación de las isothermas de sorción se utilizó el método estático (técnica analítica de equilibrio higroscópico) y para ello se montaron dos experimentos: uno con follaje fresco (perejil cosechado en los tres lotes) y otro con follaje seco (perejil deshidratado en estufa).

Tabla N° 1
Áreas experimentales del estudio

Áreas experimentales	Condiciones de equilibrio			
Lote 1	Muestra 1			
Lote 2	Muestra 2			
Lote 3	Muestra 3			

En el análisis se colocaron en 21 desecadoras independientes (siete para cada lote) con diferentes soluciones salinas saturadas a la temperatura ambiente $3,91 \pm 1,5$ gramos de hojas frescas. Luego fue replicado el estudio, pero con $0,58 \pm 0,2$ gramos de hojas secas de perejil por desecadora. Las soluciones salinas saturadas utilizadas garantizaron un rango de actividad de agua comprendido entre 0,11 - 1 en orden creciente. El peso de la muestra se determinó diariamente, hasta que se obtuvo un peso constante y posteriormente se calcularon los

contenidos de humedad mediante el método A.O.A.C. (1990).

Los datos experimentales de equilibrio se ajustaron mediante las ecuaciones de la Tabla N° 2. La calidad del ajuste se evaluó a partir del coeficiente de correlación lineal (R²) y el porcentaje de error medio relativo (% E). Las isotermas obtenidas se clasificaron de acuerdo con su forma y niveles de adsorción, según los cinco tipos propuestos por Brunauer *et al.* (1940).

Tabla N° 2
Modelos matemáticos aplicados a las isotermas de sorción (Hernández *et al.*, 2022)

No.	Ecuación	Nombre del modelo
1	$X_e = A \left(\frac{a_w}{1 - a_w} \right)^B$	Oswin
2	$X_e = \frac{a_w K C X_m}{(1 - K a_w)(1 + (C - 1) K a_w)}$	GAB
3	$X_e = a + b * a_w + c * a_w^2 + d * a_w^3$	Adam y Shove
4	$X_e = e^{\left[(a_w) \ln(V) - \left[\frac{1}{4.5 X_s} \right] \right]}$	Caurie
5	$X_e = \frac{K K' a_w}{1 + K a_w} + (c * a_w) + \frac{k k' a_w}{1 - k a_w}$	D'Arcy-Watt
6	$X_e = \left(\frac{-A}{\ln a_w} \right)^{\frac{1}{B}}$	Halsey

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

RESULTADOS

El contenido de humedad inicial de las diferentes muestras fue 78,8%, 80,4% y 82,3% respectivamente. La Figura N° 1 muestra el proceso de desorción para todas las muestras de perejil fresco.

En la Figura N° 2 se muestra el comportamiento del follaje seco de perejil, donde se constató que independientemente del ambiente las muestras se estabilizaron en las primeras 48 h. El

contenido de humedad inicial de las diferentes muestras fue 9,0%, 13,2% y 10,9%, respectivamente. Para estas condiciones se evidenció que para humedades relativas menores al 75% las muestras presentaron una mayor presión de vapor que la solución salina a la que se expusieron. En cambio, cuando la humedad relativa fue superior al 75%, las curvas describieron el proceso de adsorción.

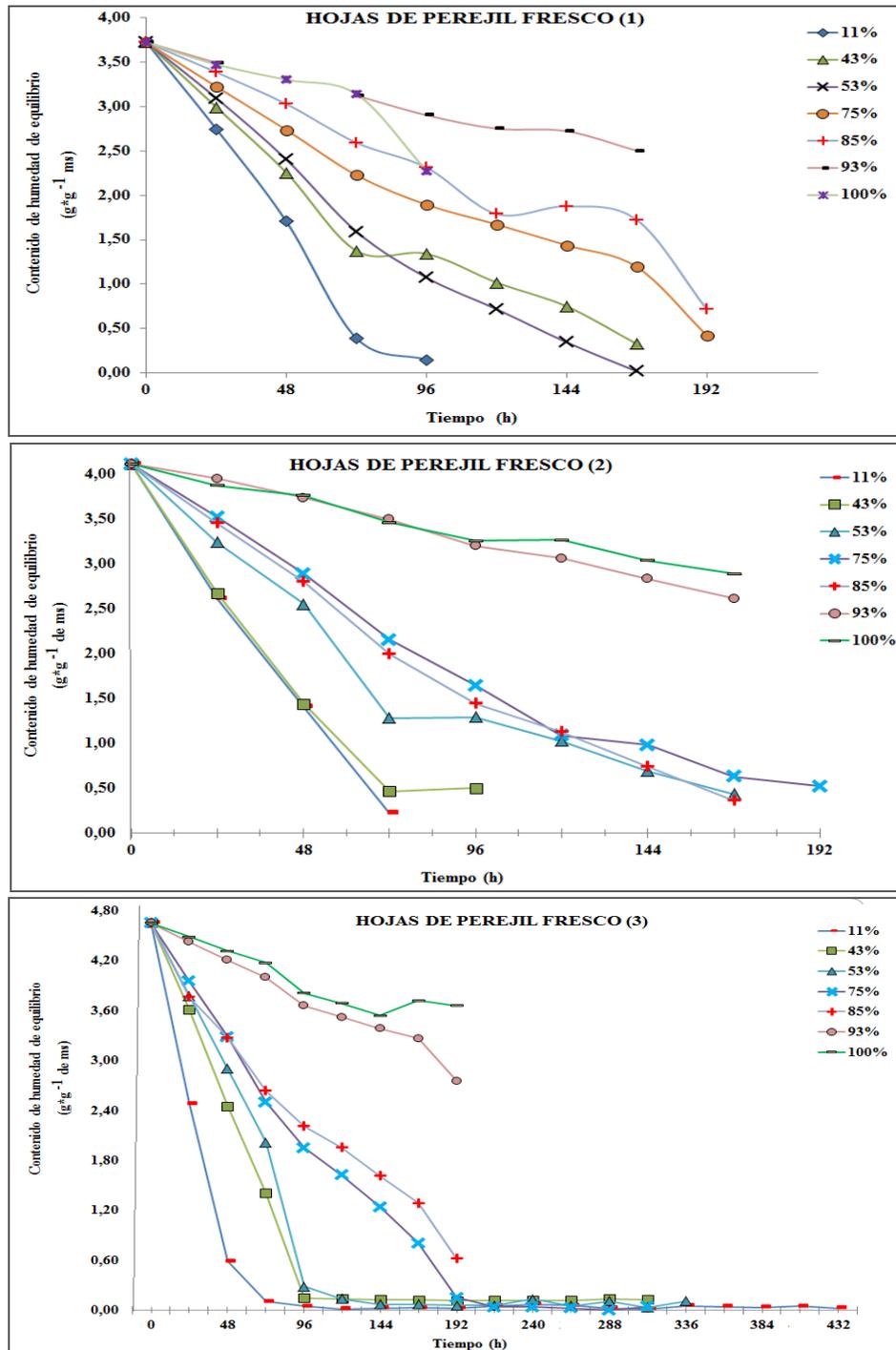


Figura N° 1

Variación del contenido de humedad de equilibrio en las hojas de perejil fresco en el tiempo

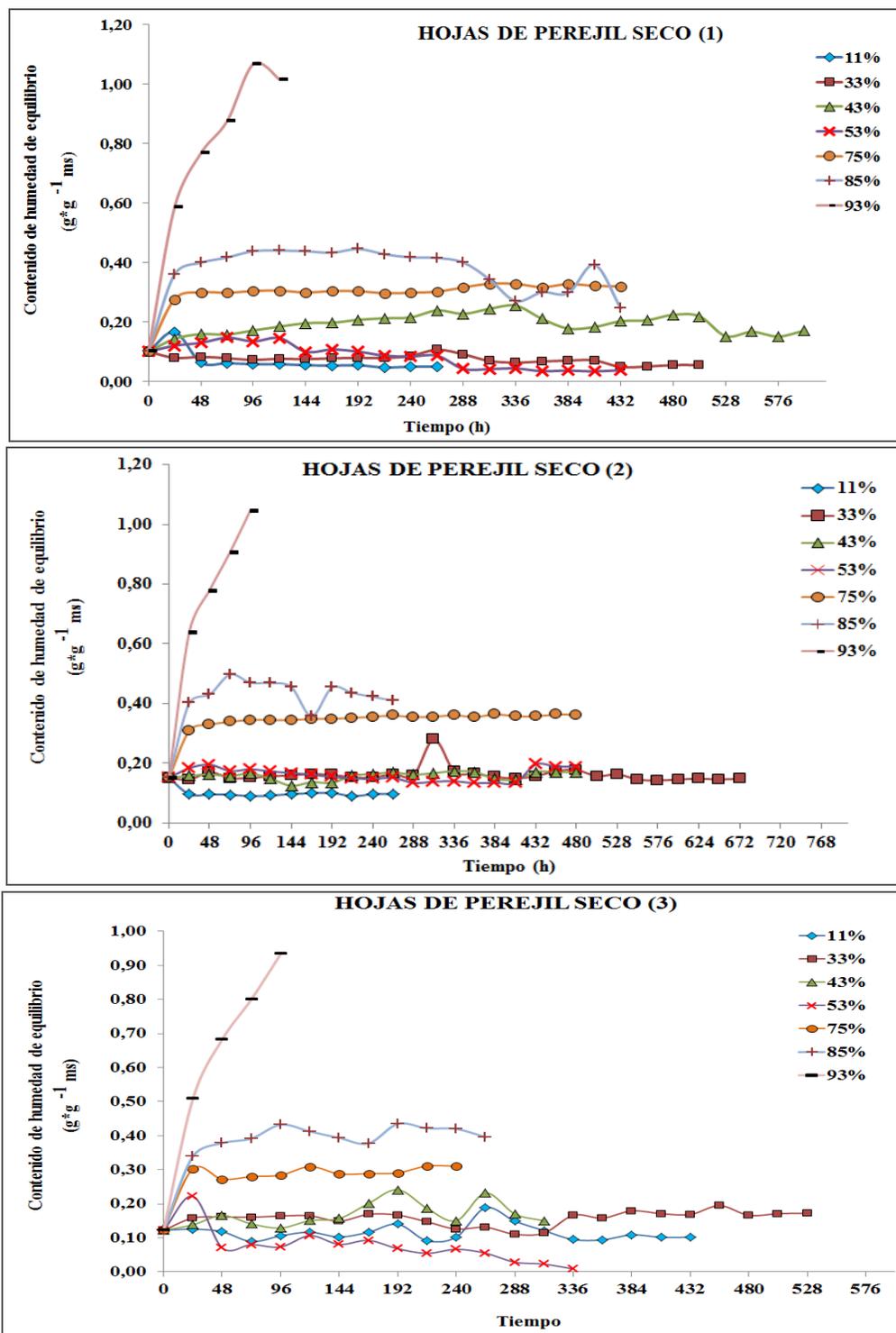


Figura N° 2

Variación del contenido de humedad de equilibrio en las hojas de perejil seco en el tiempo

Las Tablas N° 3 y N° 4 muestran los resultados del ajuste matemático de cada proceso. De acuerdo con ello, la muestra 1 se ajustó a la ecuación de Halsey y la 2 al

modelo de DAW. En el caso del follaje fresco el comportamiento de la muestra 3 fue descrito por Oswin y para el seco se empleó el de Halsey.

Tabla N° 3
Ajuste matemático de los datos experimentales del perejil fresco

Modelo	MUESTRA 1			MUESTRA 2			MUESTRA 3		
	Parámetro	R ²	% E	Parámetro	R ²	% E	Parámetro	R ²	% E
Oswin	A=0,024 B=1,852	0,41	77,8	A=0,021 B=1,871	0,87	64,7	A= 0,024 B= 1,90	1,00	48,4
A&S	a= -0,50 b=7,70 c= -18,67 d= 15,11	0,98	8,6	a= -0,55 b= 3,98 c= -6,11 d= 4,81	0,57	127,4	a= -2,13 b= 26,34 c= -69,49 d= 50,56	0,93	129,8
GAB	K= 1,00 X _m = 0,194 C= 130	0,93	27,4	K= 1,00 X _m = 0,226 C= 0,20	0,90	56,8	K= 1,00 X _m = 0,247 C= 0,32	0,95	63,2
Halsey	A=0,32 B=1,45	0,99	17,9	A=0,145 B=0,71	0,91	46,8	A=0,171 B=0,73	0,96	66,7
Caurie	X _s = 0,056 V= 207,3	0,92	41,2	X _s = 0,055 V= 165,6	0,72	47,5	X _s = 0,049 V= 318	0,76	127,6
DAW	K= 1,84 K'= 1,17 k'= 0,104 k= 1,02 c= -0,02	0,98	16,0	K= 1,26 K'= 0,80 k'= 0,043 k= 1,06 c= -0,01	0,97	72,2	K= -1,26 K'= 0,01 k'= 0,178 k= 1,01 c= -0,01	0,92	57,3

Tabla N° 4
Ajuste matemático de los datos experimentales del perejil seco

Modelo	MUESTRA 1			MUESTRA 2			MUESTRA 3		
	Parámetro	R ²	% E	Parámetro	R ²	% E	Parámetro	R ²	% E
Oswin	A=0,01 B=1,81	0,85	64,7	A=0,062 B=1,09	0,87	51,3	A=0,039 B=1,26	0,84	52,8
GAB	K= 1,03 X _m = 0,19 C= 0,01	0,76	76,2	K= 0,90 X _m = 0,22 C= 0,44	0,92	40,2	K= 0,91 X _m = 0,229 C= 0,30	0,91	45,5
A&S	a= -0,27 b=3,87 c= -10,80 d= 8,67	0,95	47,8	a= -0,26 b=2,54 c= -6,23 d= 5,20	0,88	48,1	a= -0,08 b=2,56 c= -6,17 d= 4,75	0,82	72,7
Halsey	A=0,076 B=1,00	0,97	84,0	A=0,078 B=1,19	0,98	11,7	A=0,063 B=1,26	0,96	41,5
Caurie	X _s = 0,056 V= 60,3	0,84	122,9	X _s = 0,056 V= 61,5	0,88	33,1	X _s = 0,055 V= 60	0,85	58,8
DAW	K= 0,01 K'= 0,94 k'= 0,105 k= 0,973 c= -0,02	0,96	88,3	K= 3,17 K'= 0,30 k'= 0,036 k= 1,028 c= -0,02	0,99	11,1	K= 1,47 K'= 0,36 k'= 0,035 k= 1,028 c= -0,01	0,96	42,8

Dónde: X_m: contenido de humedad de la monocapa (g.g⁻¹ms), X_s: constante de seguridad (g.g⁻¹ms), a, k, k', b, c, d, K, K', A, B, V, C: constantes características del producto y relacionadas con el calor de adsorción

La Figura N° 3 muestra las isotermas de sorción ajustadas al modelo de mejor comportamiento para cada muestra de perejil.

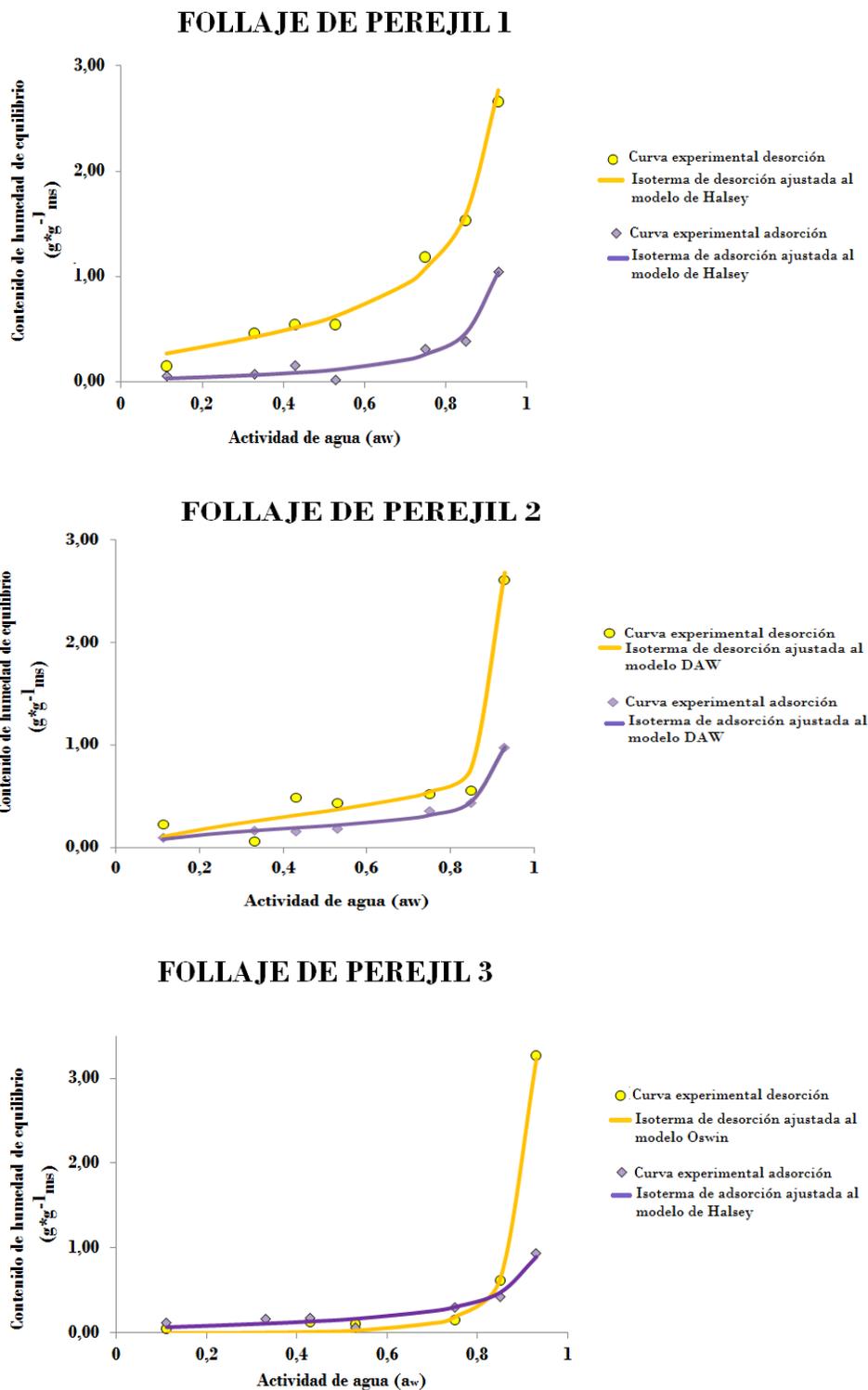


Figura N° 3
Isotermas de sorción de humedad de follaje de perejil seco y fresco

La Tabla N° 5 evidencia los coeficientes de histéresis en cada muestra y para cada valor de actividad de

agua derivados de las isoterms de adsorción-desorción.

Tabla N° 5
Determinación de los coeficientes de histéresis en cada muestra

a_w	FOLLAJE 1			FOLLAJE 2			FOLLAJE 3			
	X_{e_a}	X_{e_d}	Coefficiente de histéresis	X_{e_a}	X_{e_d}	Coefficiente de histéresis	X_{e_a}	X_{e_d}	Coefficiente de histéresis	
0,112	0,0538	0,1476	0,36	0,0953	0,2212	0,43	0,1157	0,0425	2,72	
0,33	0,0719	0,4565	0,16	0,1612	0,0558	2,89	0,1574	-	-	
0,43	0,1592	0,5377	0,30	0,1579	0,4822	0,33	0,1777	0,1278	1,39	
0,53	0,0211	0,5381	0,04	0,1770	0,4326	0,41	0,0614	0,1027	0,60	
0,75	0,3088	1,1813	0,26	0,3568	0,5194	0,69	0,2927	0,1509	1,94	
0,85	0,3822	1,5263	0,25	0,4303	0,5526	0,78	0,4180	0,6209	0,67	
0,93	1,0395	2,6597	0,39	0,9777	2,6128	0,37	0,9339	3,2625	0,29	
Promedio			0,25	Promedio			0,84	Promedio		1,27

X_{e_a} : contenido de humedad de equilibrio (adsorción), X_{e_d} : contenido de humedad de equilibrio (desorción), a_w : Actividad de agua

DISCUSIÓN

La desorción ocurre cuando el material vegetal interactúa con una atmósfera con alta capacidad de adsorción. En el caso del perejil fresco, el follaje a la temperatura ambiente cedió humedad al medio hasta alcanzar el estado de equilibrio, puesto que presentó una mayor presión de vapor que la solución salina al cual se expuso.

El perejil debido a la alta tasa respiratoria que presenta es catalogado como muy perecedero (Gordillo y Vega, 2018). De ahí que, la calidad organoléptica comience a afectarse rápidamente y constituya ésta una de las principales causas de pérdidas postcosecha en este cultivo. Fonseca *et al.* (2022) plantean, que en Cuba en el año 2022 las temperaturas promediaron $25,5 \pm 0,88$ °C y la humedad relativa superó el 80 % de saturación. Para estas condiciones ambientales García *et al.* (2010) plantean que esta hortaliza en estado fresco puede mantenerse durante un tiempo máximo de tres días, mientras que durante el almacenamiento refrigerado (1-4 °C de temperatura y 85-90 % de humedad relativa) puede prolongarse su conservación de siete a 15 días.

El estudio demostró que superior al 80 % de humedad relativa esta planta en estado fresco luego de la cosecha perderá humedad y el tiempo de

estabilización con el medio será a partir de las 192 h (8 días), similar al alcanzado por Hernández *et al.* (2023) para hojas de pasiflora. Para ese momento el follaje de perejil fresco tendrá un deterioro organoléptico significativo que imposibilitará su consumo y/o comercialización. De ahí que, no sea recomendable su conservación en dichas condiciones.

El **modelo de Halsey** considera la condensación de las multicapas a una distancia relativamente grande de la superficie. El valor obtenido en la muestra 1 fresca para el parámetro **B** fue mayor en comparación con las restantes e indicó en correspondencia con lo planteado por Castro (2022), que las fuerzas de atracción predominantes son las de Van der Waals, por lo cual en la composición química de este follaje los enlaces mayoritarios son débiles. No obstante, en ésta muestra existió mayor fuerza en los enlaces respecto a las demás, lo cual puede estar asociado a caracteres fisiológicos derivados del manejo agronómico durante la producción agrícola.

Los bajos valores obtenidos de **K** y **K'** del **modelo de DAW** indicaron que el follaje de perejil de la muestra 2 al igual que las restantes, contiene pocos puntos de adsorción con enlaces relativamente fuertes (Hernández *et al.*, 2023), lo cual sugiere que el proceso de secado de esta planta puede realizarse

en poco tiempo con un gradiente térmico adecuado. A su vez, los valores obtenidos para k y k' demuestran la irreversibilidad del proceso de desorción, donde para todos los ambientes no se constató en ninguna muestra adsorción de moléculas de agua. Esto sugiere, para las condiciones evaluadas la presencia de histéresis fundamentalmente en las muestras 1 y 2 (menores valores) y corroboró la alta tasa de transpiración que tiene esta hortaliza caracterizada por una baja retención de humedad.

El contenido de humedad de seguridad (X_s) a partir del **modelo de Caurie**, determinó la humedad con la cual se lograría la máxima estabilidad durante el almacenamiento del perejil. A partir de este modelo y el valor de contenido de humedad de equilibrio alcanzado en el punto de inflexión de las curvas, se estableció el rango de humedad que determinan las condiciones para la conservación segura a temperatura ambiente. Obteniéndose así un intervalo seguro entre 0,049 y 0,056 g.g⁻¹ms para todas las muestras. No obstante, estos valores se corresponden con contenidos de humedades para productos secos, por lo cual solo se recomienda almacenar esta planta por más de 72 h, solo deshidratada para no comprometer su calidad.

El **modelo de GAB** permitió relacionar la forma o clasificación de las isothermas de adsorción a partir del parámetro "C". Es por ello que siempre que C sea mayor que 2, indica que existe un punto de inflexión en la curva, lo cual es típico de la clasificación Tipo II. Sin embargo, cuando C es inferior a 2 es de Tipo III (Hernández *et al.*, 2022). Este coeficiente determina la fuerza de unión de las moléculas de agua a los sitios de unión primarios en la superficie del producto. Es por ello que a mayor valor de C, mayor fuerza habrá en los enlaces entre las moléculas de agua en la monocapa y los sitios de unión en la superficie del sorbente. Esto corrobora lo representado por el coeficiente B para la muestra 1 en estado fresco.

Según la clasificación de Brunauer *et al.* (1940) se obtuvo isoterma de Tipo II para el perejil fresco correspondiente a la muestra 1 e isothermas de Tipo III para el resto de las muestras. Las isothermas de sorción obtenidas corresponden a la sigmoide característica de un proceso de sorción de humedad de materiales higroscópicos en el que se forma más de una capa.

El contenido de humedad en el momento de transición de las isothermas de adsorción-desorción

para $a_w = 0,75$, en la mayoría de los casos superan el contenido de humedad de la monocapa reportado por GAB (0,19 - 0,247 g.g⁻¹ ms), lo cual indicó que para condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa de 75 %, puede comprometerse la calidad posterior a las 72 h en estado fresco y limitar la vida útil del condimento seco durante el almacenamiento. Los resultados evidenciaron que esta planta al caracterizarse por tener interacciones de Van der Waals, donde las moléculas adsorbidas están ligadas débilmente a la superficie y los calores de adsorción son bajos, predomina el proceso por adsorción física (fisisorción) (aspecto que corrobora el valor de **B** del modelo de **Halsey** y los coeficientes k y k' de **DAW**).

En el caso contrario, cuando los enlaces son mediante fuerzas de interacción fuerte entre el adsorbato y el adsorbente, las moléculas adsorbidas reaccionan químicamente con la superficie y en este caso se forman y se rompen enlaces. Este tipo de adsorción química (quimisorción) no va más allá de una monocapa en la superficie y se caracteriza por ser más difícil de revertir y requiere de más energía para eliminar las moléculas de agua (Garces *et al.*, 2013).

En las curvas 1 y 2 se evidenció un bucle de histéresis, mientras que esta condición solo se alcanzó en la muestra 3 a partir de 0,85 de actividad de agua, constatado por un entrecruzamiento. El cruce en las isothermas de la muestra 3 según Choque *et al.* (2018) puede deberse a que en algunos alimentos una parte del soluto (sales y/o azúcar) está ligada a un polímero (almidón y proteína) y la otra parte es cristalina o amorfa. También puede estar asociado a la composición química, sobre todo a los niveles de fibra, grasas y carbohidratos.

El fenómeno de histéresis se produce cuando a una actividad de agua dada, el contenido de humedad en la desorción es mayor que en la adsorción, debido a que durante la primera suceden interacciones entre los componentes de la planta, de modo que los sitios físicos polares donde ocurre la adsorción se pierden (Tecante, 2020).

Tecante (2020) plantean que la histéresis es consecuencia de fenómenos irreversibles de reordenamiento conformacional y estructural, los cuales pueden alterar la accesibilidad a sitios polares energéticamente favorables, lo cual dificulta la movilidad del agua. Además, se utiliza para entender el comportamiento del producto sobre todo la capacidad de retención de humedad.

Lo revelado en los resultados corroboró que

se obtuvieran mayores valores en los coeficientes k' y k del **modelo de DAW** para la muestra fresca 3 (desorción) y sugiere que durante la deshidratación puede no haberse producido un colapso estructural significativo en el follaje de perejil, dando lugar a una mayor capacidad de rehidratación, lo cual puede haber influido significativamente en la ausencia de histéresis en este caso.

CONCLUSIONES

La modelación matemática caracteriza el proceso de sorción a través de los modelos de DAW, Halsey y Oswin, determina las condiciones para evidenciar el fenómeno de histéresis en dos de las muestras y establece el rango de contenido de humedad que deben presentar el follaje fresco y seco de perejil para poder garantizar una máxima durabilidad a temperatura ambiente.

REFERENCIAS

- AOAC. (Association of official analytical chemists). 1990. **Official method of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/aoac.methods.1.1990.pdf>
- Brunauer S, Deming SL, Deming EW, Teller E. 1940. On a theory of the van der Waals adsorption of gases. **J Am Chem Soc** 62: 1723 - 1732. <https://doi.org/10.1021/ja01864a025>
- Cansino F, Marín UR, Olguín JA, Salgado MA, Rodríguez GC. 2019. Isotermas de adsorción de humedad y calor isostérico de sorción de hoja seca de papaya. **Journal CIM** 7: 1369 - 1374. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4278208>
- Castro EI. 2022. **Determinación experimental de isotermas de sorción de humedad de la tuna blanca (*Napolea coccinellifera* L.)**. Tesis, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Choque D, Ligarda CA, Ramos BS, Taipe F, Peralta DE, Solano AM. 2018. Evaluación de las isotermas de sorción de granos y harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*). **Rev Ion** 31: 67 - 81. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n2-2018005>
- Fonseca C, Martínez M, Hernández M, Pérez R, Velázquez B, Valderá N, González IT, Cutié V, Vázquez R, Cruz EB, Mitriani I, Hidalgo A, Cabrales J, Lapinel B, Marzo O, Ríos Y. 2022. Estado del clima en Cuba 2022. **Rev Cub Meteorol** 29. <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/703/1411>
- Garces SI, Villarroel-Rocha J, Sapag K, Korili SA, Gil A. 2013. Comparative study of the adsorption equilibrium of CO₂ on microporous commercial materials at low pressures. **Ind Eng Chem Res** 52: 6785 - 6793. <https://doi.org/10.1021/ie400380w>
- García M, Rugel J, Rodríguez E, Vargas EM. 2010. Aprovechamiento de cilantro (*Coriandrum sativum*) y perejil (*Petroselinum crispum*) aplicando procesos combinados de deshidratación. **Resultados de Investigación** 3: 1 - 32.
- Gordillo MC, Vega M. 2018. **Guía práctica para la educación en el consumo de frutas y hortalizas frescas y su manejo postcosecha**. Editora Agroecológica, La Habana, Cuba.
- He Z, Zhang D, Cheng HN. 2021. Modeling and thermodynamic analysis of the water sorption isotherms of cotton seed products. **Foundations** 1: 32 - 44. <https://doi.org/10.3390/foundations1010005>
- Hernández YO, Socorro A, Calderón SF, Vega M. 2022. Isoterma de adsorción de moléculas de agua en hojas secas de *Plecthranthus amboinicus* (Lour) Spreng. **Rev Agrotecn Cuba** 46: 29 - 39.
- Hernández YO, Sáenz L, Vega M, Aguilera O, Yañez L, Díaz C. 2023. Caracterización del proceso de desorción de humedad en hojas frescas de plantas medicinales, a través de modelos matemáticos. **Revista CNIC** 54: 242 - 251.
- Jolkili M, Shaari AR, Razak NA. 2020. Moisture adsorption isotherm of dried cassia alata herbal leaves at different temperatures. **IOP Conf Ser Mater Sci Eng** 932: 012036. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/932/1/012036>
- Manayay D, Taramona LA, Jordan O. 2019. Contenido de vitamina C en hojas de perejil (*Petroselinum crispum*) secado por flujo de aire a diferentes velocidades y temperaturas. **Rev Invest ULCB** 6: 87 - 99. <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2019v6n1.007>
- Tecante A. 2020. **Desorción. Fenómenos de histéresis. Importancia durante el secado de alimentos**. https://drive.google.com/file/d/1K82B-65ieeJps8HMdH_rxyh-FIOyCC6d/view