

Artículo científico**CINÉTICA DEL SECADO SOLAR DE LAS HOJAS DE ORÉGANO (*PLECTRANTUS AMBUINICUS* (LOUR.) SPRENG)**

Yaisely Orquídea Hernández Fernández, Michely Vega León, Alfredo Socorro García, Susana Calderón Piñar, Luis E. Lara Fernández y Joshuan Veitía Santana.

RESUMEN

El secado solar, es una de las tecnologías más difundidas en la Agricultura Urbana, Suburbana y Familiar para especies que requieren preservar sus características organolépticas. Sin embargo, aún se requieren consolidar los conocimientos en esta temática para adaptarlos a los diferentes materiales vegetales, en función del intercambio de masa y energía que se genera en este proceso. El objetivo de esta investigación fue determinar la influencia de la temperatura y la humedad relativa en el interior de la cámara de secado, en la dinámica de salida del agua de las hojas de orégano. En diferentes intervalos de tiempo durante la deshidratación, se monitoreo la temperatura, la humedad relativa y la pérdida de humedad. Se utilizó el modelo de Henderson y Pabis para la descripción matemática. A través de una solución analítica se correlacionó la constante de secado obtenida con el coeficiente de difusión y para obtener la energía de activación se empleó la ecuación de Arrhenius. Los resultados demostraron que en el secado solar con flujo de aire por convección natural, se logra entre 94 y 145 h, disminuir la humedad por debajo de $0,16 \text{ g.g ms}^{-1}$. Se comprobó que los parámetros termodinámicos del aire, el contenido de humedad inicial y las características morfológicas, condicionan la dinámica de extracción del agua. Además se constató que el gradiente térmico obtenido al interior de la cámara, genera un ambiente muy húmedo para el cual se necesita de una elevada energía de activación para realizar la deshidratación.

Palabras clave: dinámica de extracción, orégano, secado solar

Drysolarkinetics of the leaf oregano (*Plectrantus ambuinicus* (Lour.) Spreng)**ABSTRACT**

Dry solar, is one of the technologies more diffused for the Urban, Suburban and Familiar Agriculture for species that require preserving its organoleptics characteristic. However is necessary to consolidate the knowledge in this thematic, for to adapt them to the different vegetable materials in function of the exchange of mass and energy that it is generated in this process. The objective in this investigation was to determine the influence of the temperature and the relative humidity inside the dry camera, in the extraction dynamics of the water of the oregano leaf. The temperature, the relative humidity and the loss of humidity, was overlook during the dehydration in different intervals of time. It was used the Henderson and Pabis

MSc. Yaisely Orquídea Hernández Fernández, Aspirante a investigador del Departamento de Manejo de Cultivos del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt", (INIFAT) MINAG. Calle 188 #38754 e/ 397 y Linderos, Santiago de las Vegas, Boyeros. La Habana, Cuba.
Email: quimicapost@inifat.co.cu

model for the mathematical description. Through of an analytic solution it was to relationship the dry constant obtained with diffusion coefficient and it for to obtain the activation energy used the Arrhenius equation. The results demonstrated that in the dry solar with flow of air for natural convection, is possible between 94 and 145 h, to reduce the moisture below 0,16 g.g ms⁻¹. It was determined that the thermodynamics parameters, the content of initial humidity and the morphological characteristic, condition the extraction dynamics of the water. It was also verified that the thermal gradient obtained to the interior of the camera, generate a very humid atmosphere for which is needed of a high activation energy for to realize the dehydration.

Key words: extraction dynamic, oregano, solar dry

INTRODUCCIÓN

El orégano es una de las plantas que se ha extendido en la Agricultura Urbana, Suburbana y Familiar (AUASUF) como planta repelente, sin embargo, otra de sus aplicaciones es como condimento seco (GNAUS, 2016). En algunas unidades productivas este cultivo se desperdicia por no contar con una técnica de conservación que permita su aprovechamiento, prolongue su vida útil de anaquel y contribuya a la diversificación de la oferta en los puntos de venta de estas entidades (Acosta de la Luz y Tillán, 2016).

Las características del orégano, tales como su turgencia y elevado contenido de agua, favorecen la proliferación de microorganismos en las hojas en condiciones ambientales. Debido a esto, el secado es uno de los métodos más empleados durante la etapa postcosecha para la conservación de esta planta.

Por otra parte, el secado solar es una de la tecnologías más difundidas en la deshidratación de productos que requieren preservar los principios activos y las características organolépticas, además de constituir un aporte importante en el empleo de fuentes de energía renovable (Chinappi et al., 2012). Este

procesamiento es altamente dependiente del clima, por lo cual es importante tener en cuenta el intercambio de masa-energía que se genera durante el proceso y las características de la planta a deshidratar.

El objetivo de esta investigación fue determinar la influencia de la temperatura y la humedad relativa en el interior de la cámara de secado, en la dinámica de salida del agua de las hojas de orégano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Postcosecha del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT). El flujo de trabajo se estableció en función de la planta como se muestra en la Figura 1.

El órgano a cosechar fueron las hojas, a las cuales se les determinó la humedad inicial mediante el método gravimétrico. El secador solar empleado es de construcción artesanal, está ubicado en el área del lixímetro del INIFAT y orientado técnicamente hacia la dirección del sol para un mejor aprovechamiento de la energía electromagnética. El flujo de aire circulante es por convección natural.

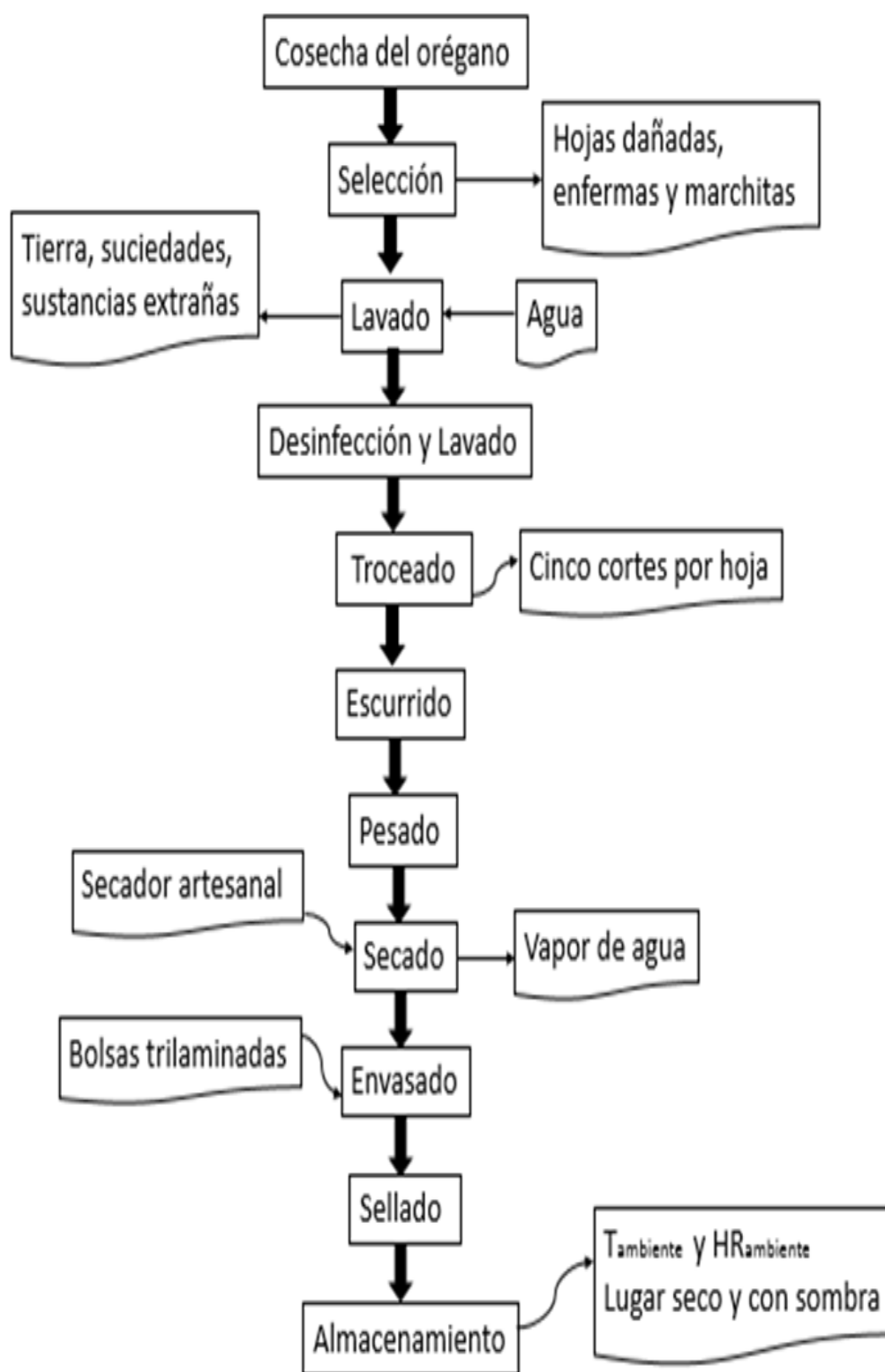


Figura 1. Flujo de proceso de secado solar para el orégano

La cámara de secado consta de paredes dispuestas en forma vertical, hechas con láminas de metal y contiene en su interior un carro movable que admite hasta nueve bandejas de madera con fondo de malla metálica. Las bandejas de secado tienen 0,59 x 0,4 x 0,075 m de dimensión y un área total de 0,24 m², estas se distribuyen de manera ascendente, separadas cada 0,15 m y colocadas tres por cada nivel, para una capacidad de secado de 0,18 m³ de material por proceso. La cantidad de orégano fue de 500 g aproximadamente por bandeja, en capas de 0,3 m de espesor.

Durante el proceso se tomaron muestras en distintos intervalos de tiempo para evaluar la

pérdida de humedad y paralelamente se realizaron mediciones de las variables termodinámicas temperatura y la humedad relativa con el empleo de un psicrómetro.

El tiempo de secado se estableció como el período transcurrido desde la determinación de la humedad inicial hasta la obtención de la humedad final.

Cinética del proceso

Para la caracterización cinética del proceso se utilizó el modelo de Henderson y Pabis (Ecuación 1) a través del cual se ajustaron los valores de pérdida de humedad (MR) en el tiempo (t):

$$MR = a e^{-kt} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

MR: contenido de humedad (g.g ms⁻¹)

t: tiempo de secado (h)

k: constante de secado (h⁻¹)

a: constante del modelo (g.g ms⁻¹)

Coefficiente de difusión y Energía de Activación

En la determinación del coeficiente de difusión (D) se consideró que el movimiento difusional del agua en las hojas de esta planta, se efectúa de manera plana como se muestra en la Figura 2.

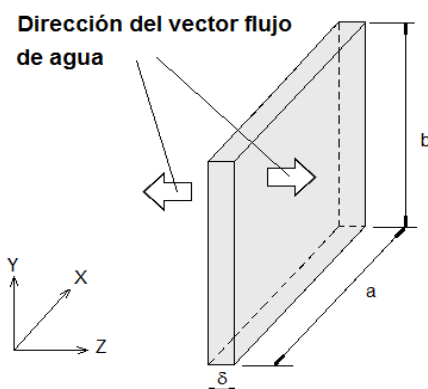


Figura 2. Esquema que representa una porción de tejido foliar plana y rectangular

El diagrama muestra la sección rectangular fina del tejido foliar, donde el largo "a" está ubicado en el eje X, la altura "b" en el eje Y, y el espesor "δ" en el eje Z. Debido a que el flujo solo se consideró en el eje Z, la Ley de Fick tomó la forma siguiente:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = D \Delta \eta = D \frac{\partial^2 \eta}{\partial z^2} \quad \text{Ecuación (2)}$$

La ecuación (2) indicó que inicialmente (orégano fresco) existe un valor de máxima distribución de las moléculas de agua (n_M) hacia la capa central ($z=\delta/2$) y que n_M tiende a cero en los extremos $z=0$ y $z=\delta$ (condiciones de frontera).

Al integrar la ecuación (2) por el método de separación de las variables, se aplicaron las condiciones de frontera y se asumió que en los materiales vegetales la pérdida de humedad describe un comportamiento exponencial (Socorro *et al.*, 2015). Se realizó el análisis matemático siguiente para obtener el coeficiente de difusión (D):

$$\eta(t, z) = n_M e^{-kt} \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{\delta} z\right) \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$\eta(t, z) = W(z) e^{-kt} \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$W(z) e^{-kt} = n_M e^{-kt} \operatorname{sen}\left(\frac{\pi}{\delta} z\right) \quad \text{Ecuación (5)}$$

$$M(t) = \frac{m_A}{m_S} e^{-kt} \int_V W(z) dV \quad \text{Ecuación (6)}$$

$$M_0 = \frac{2m_A a b \delta n_M}{\pi m_S} \quad \text{Ecuación (7)}$$

$$M(t) = M_0 e^{-kt} \quad \text{Ecuación (8)}$$

$$D = \frac{k}{\lambda^2} \quad \text{Ecuación (9)}$$

Donde:

$\left(\frac{\pi}{\delta}\right)$: constante (λ)

D: coeficiente de difusión ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

M_0 : contenido de humedad inicial ($\text{g} \cdot \text{g} \cdot \text{ms}^{-1}$)

M_t : contenido de humedad final ($\text{g} \cdot \text{g} \cdot \text{ms}^{-1}$)

a, b, δ : dimensiones de la hoja (m)

m_S : masa seca (g)

m_A : masa de cada una de las moléculas que se describen por la función η

V: volumen del material.

k: constante de secado (h^{-1})

λ : constante

t: tiempo de secado (h)

n_M : coeficiente de máxima distribución de las moléculas de agua

Las dimensiones de la hoja (largo, ancho y espesor) se determinaron a partir de 50

muestras colectadas y medidas con el empleo de un micrómetro.

A través de la ecuación de Arrhenius se estableció la dependencia del coeficiente de difusión (D) con la temperatura y de ahí se obtuvo la energía de activación (E_a):

$$D = D_0 e^{\frac{E_a}{RT}} \quad \text{Ecuación (10)}$$

Donde:

D_0 : factor de Arrhenius (kJ.mol^{-1})

R: constante universal de los gases

T: temperatura absoluta (K)

E_a : energía de activación (kJ.mol^{-1})

El ajuste de los datos experimentales se evaluó mediante el cálculo del coeficiente de determinación (R^2) y el error medio relativo (%E). Posteriormente se realizó una correlación entre las variables medidas y calculadas, a través del paquete estadístico de STATGRAPHICS Plus, versión 5,0 para Windows 2000.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1 se muestran los valores promedios de la temperatura y humedad relativa del aire en el interior de la cámara de secado en cada variante.

Tabla 1. Valores promedios de la temperatura y humedad relativa del aire en el interior de la cámara de secado

Variantes de secado	Temperatura (°C) (Media $\pm$ ES)	Humedad Relativa (%) (Media $\pm$ ES)
1	36,0 $\pm$ 0,7	92,5 $\pm$ 2,0
2	34,8 $\pm$ 1,3	87,0 $\pm$ 2,0
3	35,9 $\pm$ 1,0	88,0 $\pm$ 1,0
4	38,6 $\pm$ 1,9	86,0 $\pm$ 2,4
5	38,8 $\pm$ 0,6	75,0 $\pm$ 2,4
6	33,5 $\pm$ 1,1	90,0 $\pm$ 2,0

En el interior de la cámara de secado, la temperatura fluctuó entre 25 y 42 °C, valores que han sido reportados como favorables para el secado de las especies que requieren conservar las propiedades organolépticas (GNASU, 2016).

El amplio rango de temperaturas evaluado condicionó el proceso, lo cual se debe a que las variaciones en las propiedades termodinámicas del aire, rigen el intercambio de masa-energía y éstas a su vez modificaron el tiempo y la

velocidad de salida del agua del material vegetal en estudio.

Acosta de la Luz y Tillán (2016) plantean que el intervalo de temperaturas a emplear para plantas medicinales y aromáticas fluctúa entre 30 y 45 °C. Es por ello, que si el secador solar empleado, no cuenta con un sistema de ventilación adecuado, y la temperatura mínima al interior de la cámara no alcanza los 30 °C, no es recomendable secar productos agrícolas con elevado contenido de agua, como por ejemplo: rizomas, ya que se requeriría de un mayor tiempo de secado, con lo que se expone el producto al deterioro.

En esas condiciones es necesario suministrar una corriente de aire al proceso, o bajas humedades relativas, como ocurre en países con clima seco. Esto se debe a la proporcionalidad que existe entre el tiempo y el contenido de humedad que presenta la planta a secar.

Durante cada variante se constataron oscilaciones importantes en la humedad relativa en el transcurso del día, marcada por la ocurrencia de los fenómenos de adsorción y desorción en un mismo proceso. Los valores máximos estuvieron por encima del 90 % en horarios de la mañana y las mínimas se encontraron alrededor de 60 %, medidos entre las 12:00 m y 2:00 pm.

Las curvas de secado ajustadas se muestran en la Figura 3. El modelo obtuvo un R^2 que osciló entre (0,65 y 0,93) y un %E entre (6 y 50). Se corroboró que el contenido de humedad disminuyó con el tiempo, lo cual coincide con lo obtenido por Alves *et al.* (2015) para el deshidratado de esta planta.

Se evidenció una disminución brusca de la pendiente al inicio del secado en poco tiempo, lo cual evidenció que durante el proceso la primera agua que se extrae del materia vegetal es el agua libre, mientras que la extracción del agua fuertemente ligada es más lenta, por lo que se requiere de un mayor tiempo (Martínez *et al.*, 2013).

El comportamiento descrito en las curvas sugiere que el secado de esta planta presenta un fuerte control interno y coincide con lo planteado por Torrez y Giner (2013), quienes plantean que el mecanismo difusivo del transporte de agua es característico de productos tales como semillas, granos y vegetales.

Por otra parte, se constató que la deshidratación se lleva a cabo principalmente en el período de velocidad decreciente, dado que la pérdida de humedad es controlada por el mecanismo de difusión, iguales resultados obtuvieron Martínez *et al.* (2013) durante el secado del nopal.

Se observó la existencia de un punto de inflexión cuando la planta alcanzó un contenido de humedad cercano a los 5 g.g ms⁻¹ (≈50%). Este punto coincide con el contenido de humedad crítico y divide la curva en dos zonas: una región de alta velocidad de secado y una de tasa decreciente (Corrêa *et al.*, 2012). En este momento se había evaporado casi toda la capa de humedad de la superficie, por lo que el tiempo de culminación dependió de las condiciones externas, la disposición del secador y de la transferencia de masa.

Posterior a este punto, se observaron diferencias en los tiempos de secado (Tabla 2). Se constató que al aumentar la temperatura del aire, no disminuyó el tiempo en cada uno de estas variantes como plantean Pineda *et al.* (2009) para la morera y Alves *et al.* (2015) para las hojas de mororó.

Este resultado se debe a que los autores antes mencionados deshidrataron cada una de esas plantas bajo parámetros termodinámicos controlados. En este estudio la dependencia de las condiciones climáticas fueron determinantes, por lo que no siempre una misma temperatura generó igual humedad relativa.

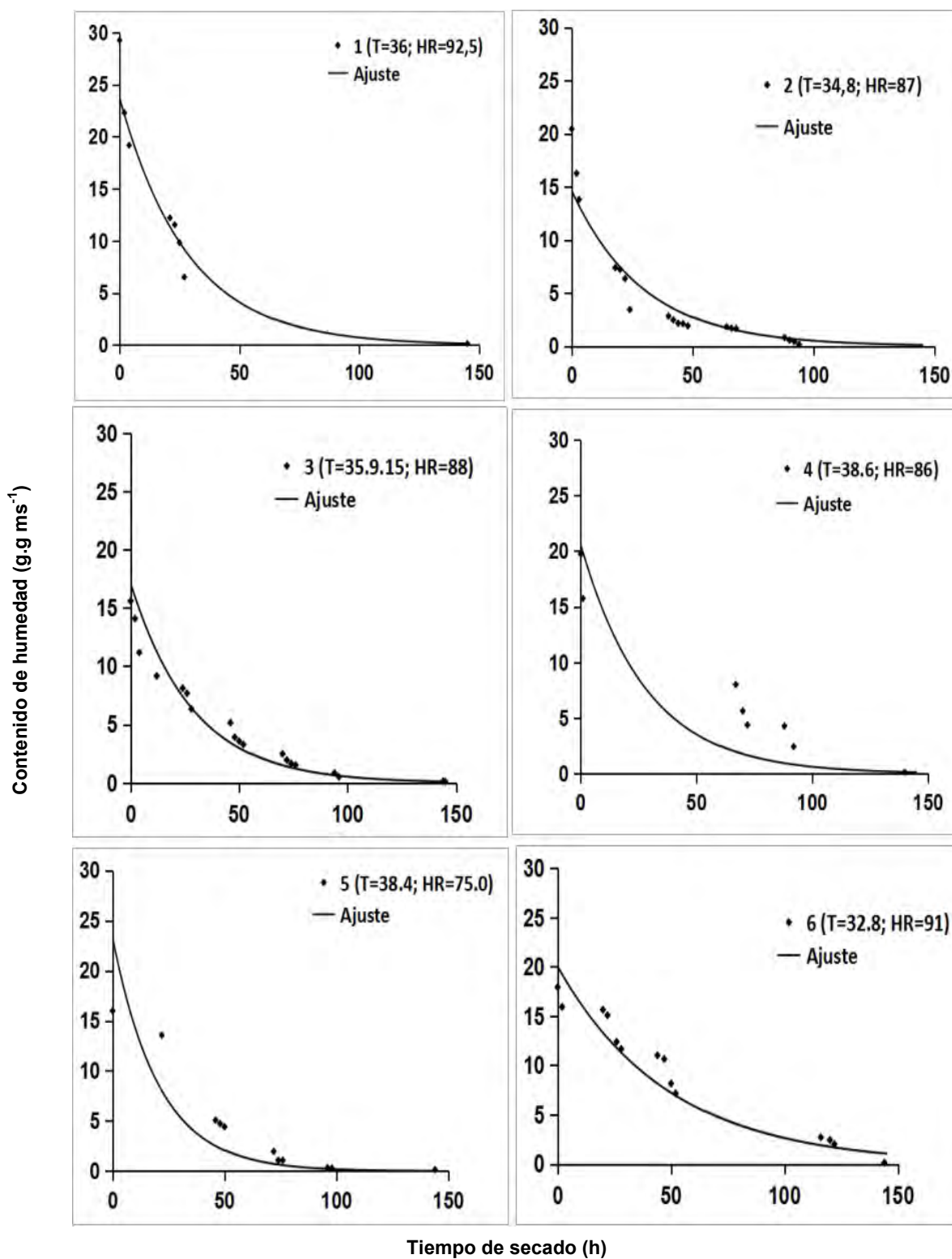


Figura 3. Curvas de secado ajustadas al modelo Henderson y Pabis

Tabla 2. Coeficientes de cada una de las curvas obtenidas

Variantes de secado	a (g.gms ⁻¹)	k (h ⁻¹)	Tiempo (h)
1	23,7310	0,0351	145
2	14,6238	0,0338	94
3	17,1295	0,0349	145
4	20,5958	0,0353	140
5	23,3317	0,0485	144
6	20,0199	0,0204	144

Esto significó que la cantidad de vapor de aire presente fue variable y no siempre incrementos de temperatura se asociaron a mayor velocidad de secado.

El contenido de humedad del material decreció lentamente luego del punto de inflexión, lo que indicó el comienzo de fenómenos difusionales de las capas de líquidos adsorbidas en la fase sólida.

Esto demostró que una vez eliminada el agua libre del material vegetal, se hace más difícil la salida del agua ligada a la estructura de los tejidos, por lo que el secado continua a menor velocidad (Martínez *et al.*, 2013) y su duración depende de los parámetros termodinámicos del aire y del contenido de humedad inicial de la planta (González *et al.*, 2014).

A partir de las 10 horas en cada una de las curvas comienza el periodo nocturno e independientemente del horario continuó la pérdida de humedad, lo cual fue resultado de la acumulación de energía en el interior de la cámara. Resultados análogos obtuvieron

Chinappi *et al.* (2012) cuando estudiaban el secado solar de albahaca (*Ocimum basilicum* L.), malojillo (*Cymbopogon citratus*) y toronjil (*Melisa officinalis* L.).

En el horario nocturno el grado de deshidratación del material constituye un elemento a considerar, ya que pudiera iniciarse la adsorción de moléculas de agua, debido a que en ese momento la planta puede presentar una menor presión de vapor con respecto a la presión de vapor del aire en el interior de la cámara. Lo cual tiene su fundamento en la isoterma de equilibrio de la especie e indica la necesidad de almacenar o empacar inmediatamente una vez concluido el proceso.

El análisis estadístico correlacionó significativamente la temperatura con la constante de secado "k" (Tabla 3).

Autores como P. da Rochal *et al.* (2012), concluyeron que este coeficiente está relacionado con la difusión líquida que controla el proceso y varía de acuerdo con la temperatura y la cantidad de agua inicial del producto.

Tabla 3. Correlaciones entre las variables medidas y calculadas.

		Temperatura	Humedad Relativa	Tiempo	H _{INICIAL}	k	a	H _{FINAL}
Temperatura	Correlación de Pearson	1						
	Sig. (bilateral)	.						
	N	6						
Humedad Relativa	Correlación de Pearson	-,677	1					
	Sig. (bilateral)	,140	.					
	N	6	6					
Tiempo	Correlación de Pearson	,298	-,032	1				
	Sig. (bilateral)	,566	,952	.				
	N	6	6	6				
H_{INICIAL}	Correlación de Pearson	-,125	,581	-,050	1			
	Sig. (bilateral)	,813	,227	,926	.			
	N	6	6	6	6			
k	Correlación de Pearson	,828(*)	-,768	,046	-,106	1		
	Sig. (bilateral)	,042	,075	,931	,842	.		
	N	6	6	6	6	6		
a	Correlación de Pearson	,480	-,217	,730	,352	,329	1	
	Sig. (bilateral)	,336	,680	,099	,494	,524	.	
	N	6	6	6	6	6	6	
H_{FINAL}	Correlación de Pearson	,034	-,214	-,491	,495	,400	,173	1
	Sig. (bilateral)	,949	,684	,322	,318	,432	,743	.
	N	6	6	6	6	6	6	6

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Leyenda

H_{inicial}: Humedad inicial (g.g ms⁻¹)

H_{final}: Humedad final (g.g ms⁻¹)

t: tiempo de secado (h)

k: constante de secado (h⁻¹)

a: constante del modelo (g.g ms⁻¹)

Se comprobó en la Tabla 4, que los valores de los coeficientes de difusión oscilaron entre 3,25 y 6,18e10-12 m².s-1. Análogos resultados obtuvo P. da Silva *et al.* (2017) durante el secado de hojas de *Bauhinia forficata*. Estos valores pertenecen al rango de 10-12 y 10-8 m².s-1, reportado por diferentes autores para materiales biológicos diversos (Torrez y Giner, 2013).

El menor coeficiente de difusión se obtuvo para la variante 6. Estas muestras se caracterizaron por presentar la temperatura más baja. También este resultado puede deberse a una mayor contracción del material con respecto a las demás. Esta modificación puede producir cambios en la estructura microscópica de los tejidos e incremento de la resistencia a la difusión del agua.

Tabla 4. Coeficientes de difusión

Variantes de secado	Temperatura (°C) (Media±ES)	Coeficientes de difusión (10 ⁻¹² m ² .s ⁻¹)
1	36,0 ± 0,7	5,5965
2	34,8 ± 1,3	5,3892
3	35,9 ± 1,0	5,5646
4	38,6 ± 1,9	5,6284
5	38,8 ± 0,6	7,7331
6	33,5 ± 1,1	3,2527

Pineda *et al.* (2009) demostraron que los materiales coloidales y fibrosos como las hojas, se contraen al eliminarse la humedad, y desarrollan una capa superficial dura e impermeable al flujo de líquido o de vapor, debido a que cuando se difunde hacia la superficie, arrastra materiales solubles como los azúcares y las sales, que al evaporarse dificultan el secado y disminuyen la difusividad del agua.

Se obtuvo que la difusión aumentó con la temperatura de trabajo y la variante que presentó la mayor "k", fue en el que mayor cantidad de agua se difundió. El coeficiente de difusión indica la velocidad de salida del agua,

esto a su vez asociado al incremento de la temperatura que provoca una mayor capacidad de adsorción del aire de secado debido al aumento de la presión parcial de vapor de agua, favorece el movimiento de agua a través de los capilares de las hojas (Goneli *et al.*, 2014).

Este resultado se corroboró a través de un análisis estadístico, el cual correlacionó significativamente la temperatura y la constante de secado con este coeficiente (Tabla 5).

En la Figura 4, se relacionaron los valores de difusión en función de la temperatura absoluta del aire de secado.

Tabla 5. Correlaciones entre las variables medidas y calculadas.

		Temperatura	Humedad Relativa	Tiempo	H _{INICIAL}	a	H _{FINAL}	D	k
Temperatura	Correlación de Pearson	1							
	Sig. (bilateral)	.							
	N	6							
Humedad Relativa	Correlación de Pearson	-,677	1						
	Sig. (bilateral)	,140	.						
	N	6	6						
Tiempo	Correlación de Pearson	,298	-,032	1					
	Sig. (bilateral)	,566	,952	.					
	N	6	6	6					
H _{INICIAL}	Correlación de Pearson	-,125	,581	-,050	1				
	Sig. (bilateral)	,813	,227	,926	.				
	N	6	6	6	6				
a	Correlación de Pearson	,480	-,217	,730	,352	1			
	Sig. (bilateral)	,336	,680	,099	,494	.			
	N	6	6	6	6	6			
H _{FINAL}	Correlación de Pearson	,034	-,214	-,491	,495	,173	1		
	Sig. (bilateral)	,949	,684	,322	,318	,743	.		
	N	6	6	6	6	6	6		
D	Correlación de Pearson	,828(*)	-,768	,046	-,106	,329	,400	1	
	Sig. (bilateral)	,042	,075	,931	,842	,524	,432	.	
	N	6	6	6	6	6	6	6	
k	Correlación de Pearson	,828(*)	-,768	,046	-,106	,329	,400	1,000(**)	1
	Sig. (bilateral)	,042	,075	,931	,842	,524	,432	,000	.
	N	6	6	6	6	6	6	6	6

* La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Se observó que la difusión presentó un comportamiento lineal con la temperatura del aire, mostrando la dependencia de Arrhenius. De esta forma se obtuvo 87,3 kJ.mol⁻¹ de energía de activación. Por otra parte, la elevada E_a obtenida en comparación con otros autores

como Ramírez et al. (2014), puede deberse al ambiente húmedo durante el cual se realizó la deshidratación de esta planta. Esto indicó que el flujo de agua hacia la atmósfera exterior se dificultó, por lo que se requirió de más energía en la deshidratación.

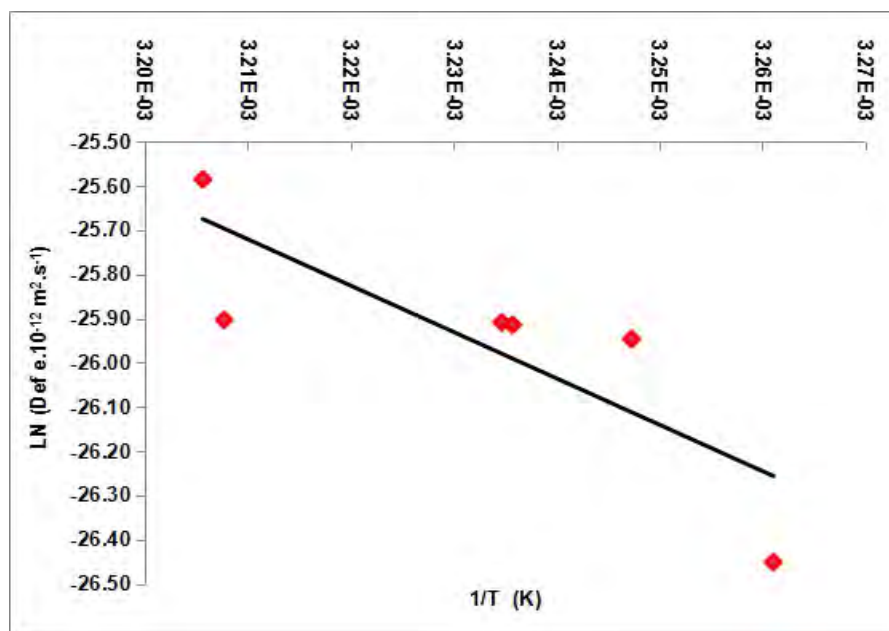


Figura 4. Dependencia de Arrhenius

CONCLUSIONES

- En el secado solar, la temperatura, la humedad relativa, el contenido de humedad inicial y las características morfológicas de la especie, condicionan la dinámica de extracción del agua.
- El gradiente de temperatura al interior de la cámara en esta tecnología con flujo de aire por convección natural, propicia un ambiente muy húmedo en el que se genera una elevada energía de activación para la deshidratación del producto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves Martins, J.J.; Cordeiro de Sousa, F.; Trindade Rocha, A.P.; Nobre Martins, J. y

Palmeira Gomes, J. (2015). Estudo da cinética de secagem de folhas de *Bauhinia Cheilantha* (Bong.) Steud. (mororó). Revista Cubana de Plantas Medicinales, 20(4):397- 408.

Acosta de la Luz, L. y Tillán, J. (2016). Agroecología en la producción de plantas medicinales. En Avances de la Agroecología en Cuba. 1^{ra} Ed. La Habana, 313-324 pp. ISBN 978-959-7138-21-1.

Chinappi, C.I.; Jerez, C.A y Uzcategui, M.C. (2012). Secado solar de plantas medicinales. Revista Academia, 11(23): 235-242. ISSN 1690-3226.

Corrêa, P.C.; Horta de Olivera, G.H.; Machado Baptestini, F.; Martins Silva Diniz, M.D y Almeida da Paixão, A. (2012). Tomato Infrared

- Drying: Modeling and some Coefficients of the Dehydration Process Chilean journal of agricultural research. Chilean Journal of Agricultural Research., 72(2). ISSN 0718-5839.
- Goneli, A.L.; Vieira, M.C.; Vilhasanti, H.C.B.; Gonçalves, A.A. (2014). Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. Pesquisa Agropecuária Tropical, 44: 56-64. ISSN 1983-4063.
- González, M.I.; Porras, L.D.; Agudelo, A.C.; Quintero, O.A y Diosa, C.F. (2014). Determinación de isothermas de desorción en jamón de cerdo cocido almacenado entre 4°C y 12 °C. Alimentos: Ciencia, Tecnología e Ingeniería, 21(2). ISSN 0121-4004.
- GNAUS. Grupo Nacional de la Agricultura Urbana y Suburbana (2016). Lineamientos de la Agricultura Urbana y Suburbana. 20 ed.
- Martínez, G.; Flores, A.; Mercado, J. y López, M. (2013). Características de secado de nopal (*Opuntia ficus-indica*) por lecho fluidizado. Acta Universitaria, 20(3):70-77.
- P. da Silva, F.; Siqueira, V.; Martins, E.A.; Miranda, F.M y Melo, R.M. (2017). Thermodynamic properties and drying kinetics of *Bauhinia forficata* Link leaves. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 21(1): 61-67. ISSN 1415-4366.
- P. da Rochal, R.; Meloll, E; Corbín, J.B.; Berbert, P.A.; Donzeles, L.; Sérgio, M. y Tabar, J.A. (2012). Cinética del secado de tomillo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 16(6): 675-683. ISSN: 1807-1929.
- Pineda, M.L.; Chacón, A. y Cordero, G. (2009). Efecto de las condiciones de secado sobre la cinética de deshidratación de las hojas de morera (*Morus alba*). Agronomía Mesoamericana. 20(2): 275-283. ISSN 1021-7444.
- Ramírez, M.; Cruz, M.; Vizcarra, M.G y Anaya, I. (2014). Determinación de las isothermas de sorción y las propiedades termodinámicas de harina de maíz nixtamalizada. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 13(1):14.
- STATGRAPHICS Plus. (2000). Versión 5.0 para Windows. Versión estándar.
- Socorro, A.; Vega, M. y Calderón, S. (2015). Morphological Characteristics Effects of Soybean and Maize Seeds on Dry-Kinetic. Process Biological and Physical Sciences, 5(1): 9. ISSN: 2249 -1929.
- Torrez, R.M. y Giner, S.A. (2013). Cinética de secado-tostado en lecho fluidizado de quinoa remojada. Asociación Argentina de Ingenieros Químicos. 3da JASP. 19 pp.

Fecha de recepción: 27 febrero 2018

Fecha de aceptación: 25 octubre 2018