

# CARACTERIZACIÓN DE LA CINÉTICA DEL SECADO SOLAR EN HOJAS DE TILO (JUSTICIA PECTORALIS JACQ VAR. PECTORALIS)

## CHARACTERIZATION OF THE SOLAR DRYING KINETIC IN TILE LEAVES (JUSTICIA PECTORALIS JACQ VAR. PECTORALIS)

Y.O. HERNÁNDEZ, A. SOCORRO<sup>†</sup>, S. CALDERÓN Y M. VEGA

Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" INIFAT, dpfisiologia@inifat.co.cu<sup>†</sup>

<sup>†</sup> autor para la correspondencia

Recibido 24/7/2018; Aceptado 24/9/2018

En el secado solar las propiedades físico-químicas y la geometría del producto, son factores determinantes en la cinética de secado e influyen en la velocidad del proceso. Este trabajo presenta un modelo para evaluar la cinética del secado solar, en hojas de tilo (*Justicia pectoralis* Jacq var. *pectoralis*) y su validación experimental. El ajuste matemático de las curvas corroboró que el modelo propuesto, describe la dinámica de extracción. Se comprobó que en este tipo de tecnología, a pesar de los bajos valores de los coeficientes de difusión y la energía de activación, se genera un gradiente térmico en el interior de la cámara, que permite la deshidratación de las hojas sin afectar sus propiedades medicinales.

In solar drying, the physical-chemical properties and the geometry are determining factors in the drying kinetics and they influence in process speed. A model to evaluating the solar drying kinetic process was presented for tile leaves (*Justicia pectoralis* Jacq var. *pectoralis*), as well as its experimental validation. The mathematical fitting of the curves corroborated that the proposed model describes the water extraction kinetic. Despite low values of diffusion coefficients and activation energy, this technology allows to prove the adequate thermal gradient into the chamber to contributing the leaf dehydration without the medical properties affectation.

PACS: Flow through (Flujo a través), 47.63.Jd; Molecular dynamics calculations in biological physics (Cálculos de dinámica molecular en física biológica), 87.10.Tf, 87.15.ap; Partial differential equations (Ecuaciones diferenciales parciales en aspectos matemáticos de la física biológica); Water transportation (Transporte de agua), 89.40.Cc

### I. INTRODUCCIÓN

El secado solar es una de las técnicas más difundidas en la deshidratación de plantas medicinales y aromáticas, ya que constituyen una importante herramienta para facilitar su conservación [1]. Es una de las operaciones unitarias más comunes en la preservación de fuentes nutricionales y principios activos de estas especies, la cual implica simultáneamente una transferencia de calor y masa [2]. Por otra parte, las propiedades físico-químicas y la geometría del producto, son factores determinantes en la cinética de secado e influyen en la velocidad del proceso [3].

Tradicionalmente en el secado solar se combina la ventilación natural con la temperatura del aire. Esta técnica es ampliamente utilizada por los pequeños productores en la conservación de plantas medicinales y semillas. En dicha tecnología el material a secar se debe colocar en una capa fina, las cuales se remueven para evitar su sobrecalentamiento.

El principio del secado se basa en la extracción continua del agua desde el tejido hacia la atmósfera circundante, mediante la creación de un gradiente térmico entre el material biológico y el aire que lo rodea, manteniéndose éste a un mayor valor de temperatura.

La teoría de difusión es una de las vías para explicar este proceso, en ella se supone una velocidad de desplazamiento del agua hacia la interface, la cual está gobernada por las

mismas leyes que regulan el flujo de calor en un gas o de solutos en un disolvente [4]. Para el estudio de la eficiencia energética del proceso de dinámica de extracción de las moléculas de agua desde el tejido hacia la atmósfera exterior, se han desarrollado modelos basados en las mismas reglas de difusión que se aplican para los solutos en un medio [5] (leyes de Fick),

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = D \Delta \eta. \quad (1)$$

Donde  $\eta$  es la función que representa el número de moléculas de agua en el espacio por unidad de volumen (magnitud análoga a la concentración para el caso de los solutos) y  $D$  ( $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ) es el coeficiente de difusión que está relacionado con la capacidad del sistema de dejar fluir el agua durante el proceso.

Al existir un gradiente térmico en la capa exterior del tejido, está pierde el agua que pasa inmediatamente a la atmósfera en forma de vapor, produciéndose un gradiente de humedad en el sistema biológico, que permite el flujo del agua desde las capas interiores hacia las exteriores, hasta que el material pierde casi la totalidad del agua presente.

El agua contenida en los tejidos vegetales no se encuentra distribuida uniformemente, por lo que en algunos alimentos se crean zonas microscópicas que no permiten la presencia del agua y se distribuyen de forma heterogénea. Es por ello

que el agua contenida en un producto no tiene las mismas condiciones en todos los puntos, lo cual ha llevado a los conceptos de agua libre y agua ligada [2].

Por ejemplo el agua que fluye por los tejidos conductores del xilema y el floema en tallos, raíces y hojas, o los poros que se encuentran en varios tipos de semillas, se puede decir que se encuentra menos ligada al sistema, y se conoce como agua libre [2]. Ésta, es sensible a cambios en los parámetros físicos como: temperatura, presión, fuerzas de capilaridad, entre otros; los cuales determinan su distribución por el tejido.

En cambio, dentro de las células, el citoplasma contiene agua y dentro de él existen vacuolas que también almacenan este líquido, los cuales pueden llegar a formar sitios de adsorción con enlaces que pueden tornarse relativamente fuertes [6]. Esta suele ser denominada como agua ligada.

Durante los procesos de secado el agua libre tiende a ser extraída de forma inmediata, mientras que el agua ligada exige más tiempo de secado o un tratamiento térmico de mayor intensidad [7].

Esta investigación tiene como objetivo desarrollar un modelo teórico adaptado a la dinámica de secado de hojas de tilo y un estudio experimental que corrobore el ajuste de las curvas de secado para diferentes valores de temperatura y humedad relativa del aire, lo cual aportará criterios para el secado solar de esta planta, en el sistema productivo.

## II. PRESENTACIÓN DEL MODELO

La solución de la ecuación 1 dependerá de la forma matemática del Laplaciano  $\Delta\eta$  y este a su vez depende de la geometría del sistema.

La Figura 1 muestra una sección rectangular fina del tejido foliar, donde se tiene en cuenta la geometría del corte realizado a las hojas, donde el ancho  $a$  está ubicado en el eje  $x$ , la longitud  $b$  en el eje  $y$ , y el espesor  $\delta$  en el eje  $z$ .

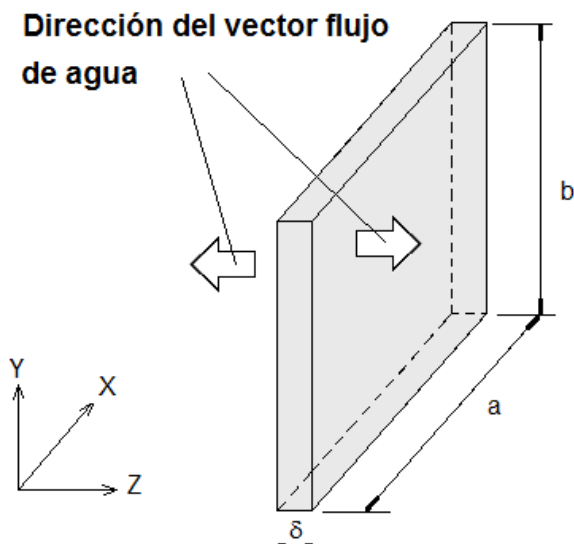


Figura 1. Esquema que representa una porción de tejido foliar plana y rectangular.

El diagrama que se muestra en la Figura 1 se ajusta a la morfología de la hoja, donde un segmento rectangular, posee un área superficial mucho mayor que el cuadrado de su espesor, es decir,  $(ab \gg \delta^2)$ . A partir de aquí, la ecuación 1 toma la forma:

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

Al integrar la ecuación 2 por el método de separación de las variables, se deduce una dependencia exponencial de  $\eta$  respecto al tiempo.

$$\eta(t, z) = W(z)e^{-kt}. \quad (3)$$

Donde  $k$  es una magnitud denominada constante de secado, que de acuerdo con la solución de 2 está relacionada con el parámetro  $\lambda$  y con el coeficiente de difusión  $D$ :

$$D = \frac{k}{\lambda^2}. \quad (4)$$

La ecuación 3 es la expresión que usualmente se utiliza por diferentes autores para caracterizar la dinámica de secado [3, 8], de acuerdo al modelo de Henderson y Pabis (también conocido como modelo de Newton).

La ecuación 4 indicó que inicialmente existe un valor de máxima distribución de las moléculas de agua ( $\eta_M$ ) hacia la capa central ( $z = \delta/2$ ) y que  $\eta$  tiende a cero en los extremos  $z = 0$  y  $z = \delta$  (condiciones de frontera).

Para establecer la variable "z", se emplearon las condiciones de frontera como se muestra:

$$\eta(t, z) = n_M e^{-kt} \sin \left[ \frac{\pi}{\delta} z \right]. \quad (5)$$

Por otra parte, el contenido de humedad  $M$  se define como la masa de agua por volumen  $V$  de tejido, dividida entre su masa seca  $m_s$ :

$$M(t) = \frac{m_A}{m_s} \int_V \eta(t, z) dV, \quad (6)$$

donde  $m_A$  es la masa de cada molécula de agua. Al combinar 5 y 6 se obtiene:

$$M(t) = M_0 e^{-kt}, \quad (7)$$

Donde  $M_0$  es considerado como el contenido de humedad inicial:

$$M_0 = \frac{2m_A a b \delta n_M}{\pi m_s} \quad (8)$$

## III. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El secador solar utilizado es de construcción artesanal y se encuentra ubicado en el área del Lixímetro del INIFAT (Figura 2). La cámara de secado consta de paredes dispuestas en forma vertical, construidas con láminas de metal y alberga

en su interior un carro móvil, que admite hasta nueve bandejas de madera con fondo de malla metálica.

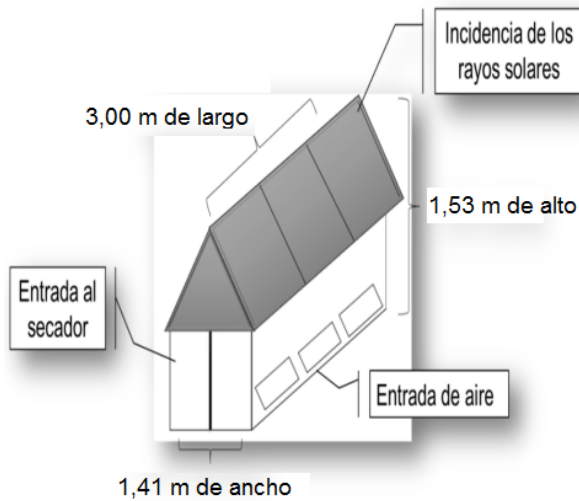


Figura 2. Secador solar.

Las variables termodinámicas del aire (temperatura y humedad relativa) dentro y fuera de la cámara durante el secado, fueron monitoreadas a través de un psicrómetro. En la cosecha se eliminaron las hojas marchitas y con presencia de daños físicos, luego se lavaron y desinfectaron con agua e hipoclorito de sodio al 2 %, antes de ser sometidas al proceso de secado [9].

Este proceso se llevó a cabo en diferentes meses del año. Los experimentos se agruparon en ocho variantes para garantizar diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa del aire (Tabla 1).

Cada hoja fue cortada en forma rectangular y determinada su largo, ancho y espesor. En el contenido de humedad se empleó el método gravimétrico, a partir de sus valores de masa húmeda ( $m_H$ ) y seca ( $m_S$ ):

$$M = \frac{m_H - m_S}{m_S} \quad (9)$$

Tabla 1. Condiciones experimentales utilizadas durante el secado (claves A-H), con sus respectivos valores de temperatura, ubicadas en dos grupos según los valores de humedad relativa.

Clave	T(°C)	HR (%)
A	28.3±1.1	84.7±1.9
B	31.6±1.2	
C	36.3±1.0	
D	39.5±0.9	
E	25.2±1.3	89.4±1.2
F	30.8±1.0	
G	33.5±1.4	
H	35.0±1.7	

Todas las muestras fueron introducidas dentro del secador y se recopiló la información en diferentes momentos, para obtener los valores de  $M$  respecto al tiempo de secado. Estos datos fueron ajustados por medio de la ecuación 7, obteniéndose así las constantes de secado  $k$  para cada variante.

Posteriormente, con la dependencia de  $k$  con respecto a la temperatura (ecuación de Arrhenius), se calculó la energía de activación  $E_A$ , necesaria para extraer una molécula de agua, mediante la expresión:

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_A}{RT} \quad (10)$$

Donde  $R$  es la constante universal de los gases ( $8.31 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) y  $k_0$  es una constante comúnmente denominada factor pre-exponencial o de frecuencia.

El espesor  $\delta$  de la hoja fue determinado a partir de 50 muestras colectadas y evaluadas por medio de un micrómetro. Posteriormente se calculó el valor del coeficiente  $\lambda$  y la difusión  $D$  mediante la ecuación 10.

La determinación cualitativa de principios activos se realizó mediante la técnica de tamizaje fitoquímico y la metodología empleada fue la descrita en la literatura para el reconocimiento de diferentes compuestos [10].

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 3 muestra las curvas de secado ajustadas mediante el modelo de Henderson y Pabis (ecuación 7).

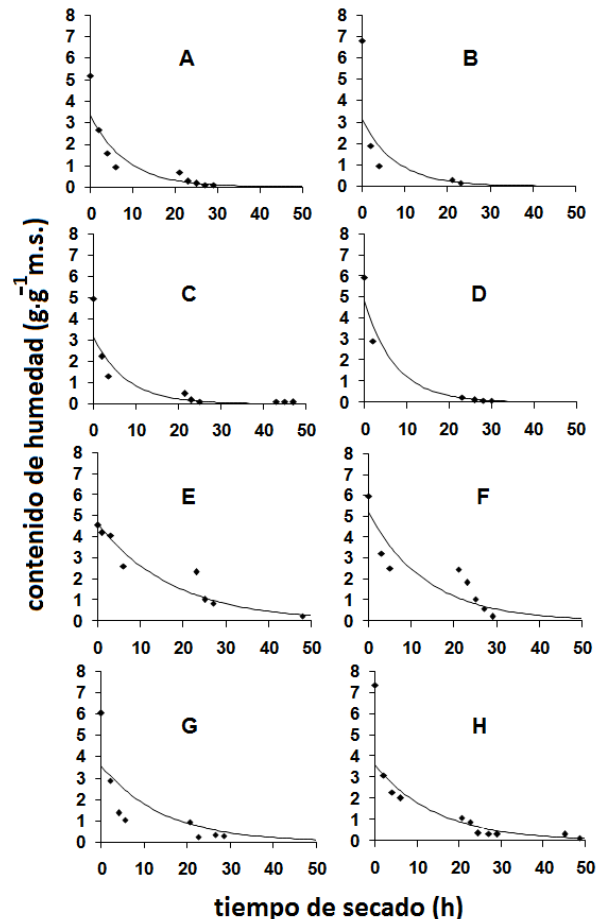


Figura 3. Curvas de secado obtenidas para las diferentes variantes experimentales ajustadas al modelo de Henderson y Pabis (Newton). Los puntos representan los valores experimentales y las líneas continuas describen el ajuste por medio de la ecuación 7.

Se corroboró que el contenido de humedad expresado en  $g \cdot g^{-1}ms$ , disminuye con el tiempo mediante un comportamiento exponencial, lo cual coincide con lo planteado por diversos autores en la deshidratación de las plantas medicinales [7, 11]. En el interior de la cámara de secado, la temperatura fluctuó entre 22-43 °C, intervalo que ha sido informado como favorable en el secado de plantas medicinales, y donde los valores no deben exceder los 45°C para conservar el principio activo de la planta [1].

Se constataron también variaciones importantes de la humedad relativa durante el transcurso del día, marcada por la ocurrencia de los fenómenos de adsorción y desorción en un mismo proceso de secado. Los valores máximos estuvieron por encima del 90% en horarios de la mañana y las mínimas alrededor de 60%, medidos entre las 12:00 y 2:00 de la tarde. A partir de este horario comienzan nuevamente los cambios en la tasa de secado, en correspondencia con el intercambio que se establece entre el material vegetal y el ambiente del aire de secado.

En cada una de las curvas ajustadas se muestra entre las 10 y 20 h el periodo nocturno. Se constató que a pesar de las condiciones que caracterizan ese horario (bajas temperaturas y alta humedad relativa) el porcentaje de humedad disminuyó, debido a la acumulación de calor dentro de la cámara de secado. Sin embargo, este comportamiento puede variar en dependencia de los cambios de temperatura y humedad relativa durante el día. Resultados similares se han obtenido durante el secado solar de la albahaca (*Ocimum basilicum* L.), el malojillo (*Cymbopogon citratus*) y el toronjil (*Melisa officinalis* L.) [12].

La Figura 3 muestra un mayor alejamiento del modelo durante el periodo nocturno, lo cual puede deberse a la adsorción de humedad por parte del material y/o a la baja transferencia de masa en ese tiempo.

El grado de deshidratación del material constituye un elemento a considerar durante el horario nocturno, ya que pudiera iniciarse la adsorción de moléculas de agua por parte del material, debido a que en ese momento presenta una menor presión de vapor con respecto a la presión de vapor del aire, lo cual tiene su fundamento en la isoterma de equilibrio propia de la especie. Por esta razón, se recomienda que una vez culminado el secado se empaque y almacene inmediatamente.

Estudios anteriores han mostrado que la ecuación de Midilli describe correctamente el secado de las hojas de mororó [13], en el intervalo de temperatura de 30 a 60°C, sin embargo, el modelo exponencial (al que refiere), fue empleado para las hojas de salvia [14], con temperaturas entre 40 a 90°C. Es por ello que se plantea que el ajuste matemático depende de las características químicas y botánicas de la especie vegetal en estudio, por lo que se debe realizar la cinética de manera individual para cada planta.

Los modelos matemáticos son representaciones de los procesos reales con distintos niveles de descripción que relacionan siempre el carácter del fenómeno y en el secado intervienen diversos factores como son las características de

la planta. Por ejemplo, el tilo al igual que la morera, tiene las hojas en forma aplanada y esta particularidad provoca que estas se adhieran unas a otras y se limite el espacio para el paso del aire, Ésta pudo ser la causa por la cual se produjo la variabilidad en la velocidad del proceso [15], y por tanto, del cambio del modelo descriptivo, con respecto a otros materiales.

El ajuste matemático del secado de las semillas, es totalmente diferente, debido a que la migración de la humedad del material depende de la geometría del sistema, que es radial por la forma esférica que presentan estos materiales [3]. En el tilo debido a que el espesor de la hoja es muy pequeño comparado con el resto de las dimensiones ( $\delta \ll a \ll b$ ), el flujo migratorio solo se considera en un solo eje.

En la Figura 3 no se observó el periodo de velocidad constante al ajustar los datos experimentales, lo cual indica que la difusión es el principal mecanismo físico que gobierna el movimiento de la humedad durante el secado de esta planta. Diversos autores plantean que las curvas que presentan este comportamiento, se caracterizan por presentar una velocidad de secado con período decreciente controlado por difusión [11]. En el secado solar es importante prestar atención a los valores de humedad del aire. Los resultados muestran que aunque el material esté sometido a un ambiente de alta temperatura, que favorezca la extracción de agua, un valor alto de humedad relativa del aire ejerce una mayor presión de vapor en el tejido, lo cual dificulta el proceso de secado. Los ajustes realizados, con valores de R<sup>2</sup> por encima de 0.69 en todos los casos, corroboran esta dependencia (Tabla ??).

La misma muestra los coeficientes de difusión obtenidos para los dos valores de humedad relativa del aire. Se observó que los resultados que corresponden a la humedad más alta (89.4%) representaron los menores coeficientes de difusión estadísticamente significativos. Ello indica que para un ambiente más húmedo, el flujo de agua hacia la atmósfera exterior se dificulta, retrasándose así el proceso de secado de la hoja.

Tabla 2. Valores de las constantes de secado obtenidos por medio del ajuste de la ecuación 7, con sus respectivos valores del coeficiente de bondad de ajuste y el de difusión calculado a través de la ecuación 8.

Clave	$k(10^{-6}s^{-1})$	$D(10^{-10}m^2s^{-1})$	R <sup>2</sup>
A	32,89	0,721	0,906
B	35,81	0,784	0,863
C	33,30	0,730	0,841
D	39,05	0,836	0,942
E	16,03	0,351	0,910
F	21,56	0,472	0,696
G	23,44	0,514	0,806
H	26,10	0,572	0,804

Los valores obtenidos para hojas de tilo, se encontraron en el orden de  $10^{-10} m^2s^{-1}$ , resultado por encima de lo obtenido para tomillo y hojas de *Bauhinia forficata* [16, 17]. Estas diferencias se deben a que la difusividad efectiva depende de las características del aire de secado y de las demás propiedades físico-químicas del producto [18].

Además, en la Tabla 2 se muestra que la constante de secado ( $k$ ) aumenta en función de la temperatura del aire.



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. Por lo que el proceso que presenta mayor valor de  $k$ , será el de mayor coeficiente de difusión [18].

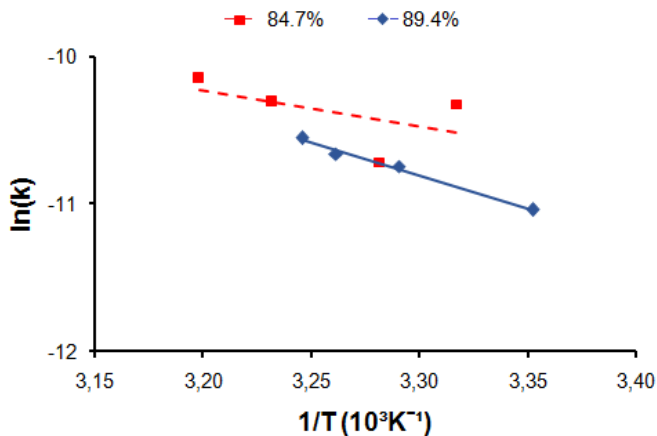


Figura 4. Ajuste de la ecuación de Arrhenius 10 para dos valores de humedad relativa del aire.  $R_2 = 0.50$  y  $R_2 = 0.99$ , para las humedades 84.7% y 89.4%, respectivamente.

La difusión aumenta con el incremento de la temperatura del aire de secado, lo cual favorece la transferencia de masa, evidenciándose la reducción de las resistencias internas al flujo del agua [18].

La Figura 4 representa la ecuación 10, obtenida para las dos humedades relativas del aire que se utilizaron en el experimento, y a partir de ella se pudieron calcular dos valores de energía de activación  $E_A$ . De esta forma, se obtuvieron valores de  $E_A$  de 6.95 y 36.8 kJmol<sup>-1</sup>, para humedades en el interior del secador de 84.7% y 89.4%, respectivamente. Estos valores se encuentran en el intervalo de 15 a 40 kJmol<sup>-1</sup> propuestos para diferentes materiales vegetales [19].

Aunque el gradiente térmico aplicado sobre el material, fue lo suficientemente alto como para extraer casi la totalidad del agua presente en las hojas en 40 horas, los valores del coeficiente de difusión, infieren que el material no fue destruido y que además conservó sus propiedades terapéuticas. En la práctica, durante el secado artesanal, los productores utilizan las diferentes épocas del año para poder obtener combinaciones de temperatura y humedad que resulten más factibles para tales propósitos.

Tabla 3. Valores de las constantes de secado obtenidos por medio del ajuste de la ecuación 7, con sus respectivos valores del coeficiente de bondad de ajuste y el de difusión calculado a través de la ecuación 8.

Clave	Alcaloides	Cumarinas	Azúcares	Quinonas	Taninos	Aminoácidos libres	Flavonoides
A	2	2	3	3	3	2	3
B	1	2	3	1	3	0	3
C	3	3	3	3	3	3	3
D	2	3	3	2	3	3	3
E	1	2	3	1	3	1	3
F	1	2	3	1	3	0	3
G	2	2	3	1	3	3	3
H	3	3	3	3	3	3	3

El empleo de este método de secado tiene sus desventajas. Una de ellas es el sobre calentamiento prolongado, que puede causar daños en el material. Además, se corre el riesgo del re-humedecimiento de la droga durante el período lluvioso, debido a la ocurrencia de precipitaciones, independientemente de que el secador esté correctamente cerrado. Sin embargo, en el período de poca lluvia (octubre-marzo), el secado tiende a dificultarse debido a las bajas temperaturas y las variaciones en la humedad relativa.

En general, las características morfológicas de esta especie, facilitan el secado, ya que se realiza relativamente rápido y sin pérdidas de la cumarina, metabolito secundario al que se le atribuyen las propiedades sedativas a esta planta [20] (Tabla 3).

En la Tabla 3 se muestran los resultados de los análisis de los extractos fluidos de las hojas secas, para cada una de las 8 variantes experimentales. Se apreció que para ambos ambientes con diferente humedad relativa del aire, una variabilidad en los compuestos asociados a las propiedades terapéuticas del material, después de aplicar las diferentes variantes de secado.

La mayoría de los extractos mostraron la misma composición química a excepción del B y el F donde no se identificaron aminoácidos libres.

Se evidenció la presencia de cumarina independientemente de las condiciones de secado, sin embargo la evaluación cualitativa de la intensidad en las diferentes reacciones colorimétricas del tamizaje, infirió variabilidad en la concentración de este metabolito, el cual pudo haber disminuido de acuerdo al momento de cosecha o como respuesta a los cambios en los parámetros termodinámicos del proceso.

Este resultado no es concluyente, ya que el tamizaje solo brinda una visión de la composición química de la planta, pero no determina las cantidades que presentan cada uno de estos compuestos en el extracto.

## V. CONCLUSIONES

Las curvas ajustadas al modelo propuesto, validan la utilización de este tipo de secador para las hojas de tilo. Los cálculos realizados a través de la ecuación de Fick para las

moléculas de agua, describen la dinámica de extracción, en la cual se obtienen valores de coeficiente de difusión y energía de activación, inferiores a los reportados para otras especies. El tamizaje fitoquímico corrobora que con el gradiente térmico generado al interior de la cámara, es posible el secado solar de la planta, sin afectar cualitativamente sus propiedades terapéuticas.

## REFERENCIAS

- [1] L. Acosta de la Luz y J. Tillán, En *Avances de la Agroecología en Cuba* **1**, 313 (2016).
- [2] M.C. Figueredo-Rondón y R.R. González-Gutiérrez, *Tecnología Química* **37**, 339 (2017).
- [3] A. Socorro, M. Vega y S. Calderón, *J. Chem., Biol. Phys. Sci. Section B* **5**, 520 (2015).
- [4] J.M. Coulson, J.F. Richardson y J.R. Backhurst, *Ingeniería Química. Operaciones básicas*. (Ed Reverte, Barcelona 1981), pp 950.
- [5] M. Golmohammadi, M. Assar, M. Rajabi-Hamaneh y S.J. Hashemi, *Food Bioprod. Process.* **94**, 275 (2015).
- [6] A. Socorro, M. Vega, y S. Calderón, *Int. Agrophys* **24**, 313 (2010).
- [7] M.I. González-Hurtado, L.D. Porras-Barrientos, A.C. Agudelo-Flores, O.A. Quintero-Cardona y C.F. Diosa-Quintero, *Vitae Rev. De la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias*, **21**, 97 (2014).
- [8] B. Chinè-Polito, *Tecnología en Marcha*, **29**, 62 (2015).
- [9] H. Harrak, M. Lebrun, M.M.I. Alaoui, S. Sarter y A.Hamouda, *Botany (John KiogoraMworia, Rijeka, Croacia, 2012)* pp 85. (2012)
- [10] M.Miranda y A. Cuellar, *Manual de prácticas de laboratorio. Farmacognosia y productos naturales*, 62 (2000).
- [11] K.O. Falade y A. O. Solademi, *Int. J. Food Sci. Tech.* **45**, 278 (2010).
- [12] I.J. Chinappi, C. Alonso, T. Uzcategui y C. Mary, *Revista Academia* **11**, 235 (2012).
- [13] J.J. Alves, F. Cordeiro de Sousa, A.P. Trindade, J. Nobre y J. Palmeira, *Revista Cubana de Plantas Medicinales* **20**, 397 (2015).
- [14] M.A. Radunz, C.A. Zakrzewski, A.S. Amaral y L. Grassmann, *Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **14**, 979 (2010).
- [15] M.L. Pineda, A. Chacón y G. Cordero, *Agronomía Mesoamericana* **20**, 275 (2009).
- [16] R.M. P. da Rocha, E. C. Melo, J.B. Corbín, P.A. Berbert, S.M.L. Donzeles y J.A. Tabar, *Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **16**, 675 (2012).
- [17] F.P. da Silva, V.Siqueira, E.A.Martins, F.M. Miranda y R.M. Melo, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **21**, 61 (2017).
- [18] A. L. Goneli, M. C. Vieira, C. B. Vilhasanti, y A. A. Gonçalves, *Pesquisa Agropecuária Tropical* **44**, 56 (2014).
- [19] G. Martínez, A. Flores, J. Mercado y M. López, *Acta Universitaria* **20**, 70 (2013).
- [20] J. Rodríguez y C.Rodríguez, *Revista Cubana de Farmacología*, **48**, 3 (2014).

---

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0, <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) license.

