

Caracterización cinética del secado de flores de *Matricaria recutita* L. (manzanilla)

Characterization of the drying kinetics of flowers of *Matricaria recutita* L.
(chamomile)

Yaisely Orquídea Hernández Fernández^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-4941-539X>

Michely Vega León¹ <https://orcid.org/0000-0001-9174-0829>

Mirian Catalina Gordillo Orduño¹ <https://orcid.org/0000-0002-7272-8098>

Leonor Pérez Rodríguez¹ <https://orcid.org/0000-0003-0926-4224>

Yurisleisy Duarte Morales¹ <https://orcid.org/0000-0003-4599-7847>

¹Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical “Alejandro de Humboldt” (INIFAT). La Habana, Cuba.

* Autor para la correspondencia: quimicapost@inifat.co.cu

RESUMEN

Introducción: La *Matricaria recutita* L. (manzanilla) es una de las especies medicinales utilizadas por la industria farmacéutica. Cuando en la elaboración de un fitoproducto se utilizan las flores secas el secado constituye un punto crítico ya que influye directamente en la calidad.

Objetivo: Caracterizar la dinámica de salida del agua durante el secado natural y artificial de la *Matricaria recutita* L. (manzanilla).

Métodos: En la tecnología de manejo poscosecha se utilizaron las etapas de cosecha, pesado, secado, envasado, sellado y almacenamiento. En el proceso artificial la temperatura y la humedad relativa promedio fueron 40 °C y 50 %, respectivamente. En el proceso natural los parámetros termodinámicos promedios fueron 27,1±5,5 °C y 77,4±5,0 %. En ambos casos se evaluó el intercambio masa-energía y los mecanismos de difusión.

Conclusiones: La caracterización cinética del secado de la manzanilla describe el comportamiento de la dinámica de extracción de una especie con un sistema

heterogéneo conformado por pétalo, receptáculo y flor. A su vez, le proporciona a la base productiva los elementos técnicos que pueden ser decisivos para la selección de la tecnología artificial o natural.

Palabras clave: cinética; manzanilla; deshidratación; difusión.

ABSTRACT

Introduction: *Matricaria recutita* L. (chamomile) is one of the medicinal species used by the pharmaceutical industry. When dry flowers are used in the manufacture of a phytoproduct, the drying process is critical, for it has a direct impact on quality.

Objective: Characterize water outlet dynamics during natural and artificial drying of *Matricaria recutita* L. (chamomile).

Methods: Postharvest management technology considered harvest stages, weighing, drying, packaging, sealing and storage. In the artificial process, average temperature and relative humidity were 40°C and 50%, respectively. In the natural process, average thermodynamic parameters were $27.1 \pm 5.5^\circ\text{C}$ and $77.4 \pm 5.0\%$. Both processes included an evaluation of mass-energy exchange and diffusion mechanisms.

Conclusions: Characterization of the drying kinetics of chamomile describes the behavior of the extraction dynamic of a species with a heterogeneous system consisting of petal, receptacle and flower. It also provides production with technical elements that may be decisive to choose artificial or natural technology.

Keywords: kinetics; chamomile; dehydration; diffusion.

Recibido: 28/07/2021

Aceptado: 20/12/2021

Introducción

El secado consiste en la remoción del agua presente en los materiales biológicos con el objetivo de prolongar su vida útil puesto que la humedad presente es la causante del crecimiento de los microorganismos.⁽¹⁾ La deshidratación natural y artificial son los dos métodos que existen para llevar a cabo el secado. Sin embargo, en cualquiera de estos

casos, el agua es el líquido evaporado y el aire es el agente secante que se emplea comúnmente.

Por otra parte, la *Matricaria recutita* L. (manzanilla) perteneciente a la familia Asteraceae es una de las especies medicinales reconocidas en el Cuadro Básico de Salud de Cuba por sus amplias aplicaciones en el tratamiento de diferentes dolencias. Sus flores secas se utilizan con frecuencia en la fabricación de fitoproductos. La técnica de secado es un punto crítico en el procesamiento y el manejo en esta etapa e influye directamente en la calidad del producto final.⁽²⁾

La deshidratación resulta más o menos sencilla dependiendo del órgano a secar. A su vez, los factores temperatura y espesor de la cama también determinan el secado en función de la parte de la planta. Los órganos más frágiles como las flores, las ramas y las hojas se secan a temperaturas entre los 20 °C y los 40 °C.⁽³⁾ Cuanto menor sea el espesor de la capa, más rápida será la remoción de humedad. El grosor de estas capas varía desde 3 cm para flores hasta 20 cm para sumidades y ramas.⁽⁴⁾

Por lo antes expuesto, el objetivo de esta investigación fue caracterizar la dinámica de salida del agua durante el proceso de secado natural y artificial de las flores de manzanilla (*Matricaria recutita* L.).

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. En una primera etapa se establecieron los semilleros para la obtención de las posturas de manzanilla. Estas fueron trasplantadas cuando la plántula alcanzó los 10 cm de altura. La siembra se efectuó en el mes de diciembre en parcelas experimentales que contaban con canteros y surcos de 7 x 1 m de dimensión.

El manejo postcosecha utilizado se describe a continuación:

-Cosecha. Se inició a partir de los 105 días de establecido el cultivo según las instrucciones descritas en el Manual de Cultivo.⁽⁴⁾ El criterio de poda empleado fue la cosecha de las inflorescencias o capítulos enteros (flores). Este procedimiento se efectuó de forma escalonada a medida que las flores se abrían y cuando se había eliminado el rocío.

-Pesado. Todas las flores cosechadas fueron pesadas en una balanza técnica digital y se determinó la humedad inicial mediante el método gravimétrico.⁽⁵⁾

-Secado. Se emplearon dos tecnologías (natural y artificial).

Los ensayos de secado artificial se realizaron a través del empleo de una estufa de marca MEMMERR, con flujo de aire axial a 40 °C y una humedad relativa promedio de 50 %. En el estudio se empleó una masa total de 69,3 g de flores, distribuidas por 3,012±0,0 g por cada frasco de pesada.

En el secado natural se emplearon bandejas con fondo de malla metálica de 1 mm de abertura. En estas se extendieron 402,4 g de flores y se colocaron en un lugar con semisombra. La temperatura ambiental promedio fue de 27,1±5,5 °C y la humedad relativa fue de 77,4±5,0 %.

En los procesos de secado artificial y natural se evaluó la pérdida de peso a intervalos de 2 y 24 h, respectivamente. Para ello se utilizó una balanza de marca OHAUS Explorer con una sensibilidad de 0,001±2 g. El tiempo de secado se midió con un cronómetro y se estableció a partir de la colocación de las muestras en la cámara de secado y la finalización del proceso, definido cuando las muestras llegaron al peso constante durante dos pesadas consecutivas.

-Pesado. Todas las flores deshidratadas fueron pesadas en una balanza técnica digital y se determinó la humedad final mediante el método gravimétrico.⁽⁵⁾

-Envasado y sellado. Se realizó inmediatamente al concluir el proceso de secado y se garantizó que el sellado fuese hermético. Los envases utilizados fueron bolsas de permeabilidad selectiva y frascos de vidrio.

-Almacenamiento. Se almacenó en condiciones de temperatura y humedad relativa ambiental, a la sombra y separada de otras plantas con las que pudiera intercambiar olores.

Cinética del proceso

La caracterización cinética del proceso se describió a partir del modelo de Dos términos según la ecuación 1.

$$MR = ae^{-k_1t} + be^{-k_2t} \quad \text{Ecuación 1}$$

MR: pérdida de peso (g); t: tiempo de secado (h); k_1 y k_2 : constantes de secado (h^{-1}); a y b: constantes del modelo (g).

Coeficiente de difusión

En la determinación del coeficiente de difusión (D) se consideró que el movimiento difusional del agua en las flores se efectúa de manera plana, por lo cual se empleó la Ecuación 2.⁽⁶⁾

$$D_{eff} = \frac{k4\delta^2}{\pi^2} \quad \text{Ecuación 2}$$

D : coeficiente de difusión ($m^2 \cdot s^{-1}$); k : constante de secado (s^{-1}); δ : espesor de la flor (m); J_1 : constante; t : tiempo de secado (s)

El espesor de las flores se determinó a partir de 50 flores colectadas y medidas con el empleo de un pie de rey. El ajuste de los datos experimentales se evaluó mediante el cálculo del coeficiente de determinación (R^2) y el error medio relativo (% E).⁽⁷⁾

Resultados

Las curvas experimentales del secado natural y artificial se muestran en la Fig. 1 A y B, respectivamente.

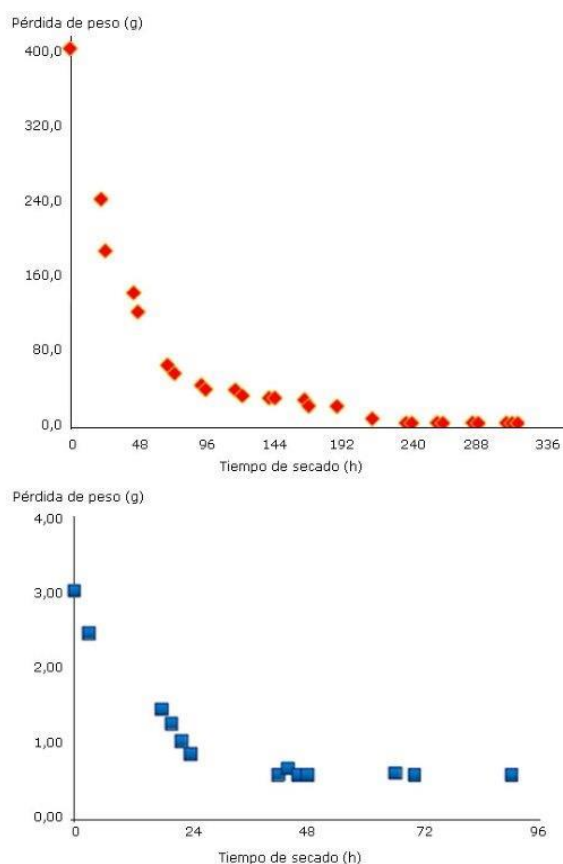


Fig. 1 - Curvas experimentales de secado. **A.** Natural. **B.** Artificial.

En la Fig. 2 A y B se muestran las curvas ajustadas al modelo Dos Términos. Para el secado natural, el modelo obtuvo 0,98 de R^2 y un % E de 25,6, mientras que para el proceso artificial el R^2 fue de 0,95 y el % E de 18,5.

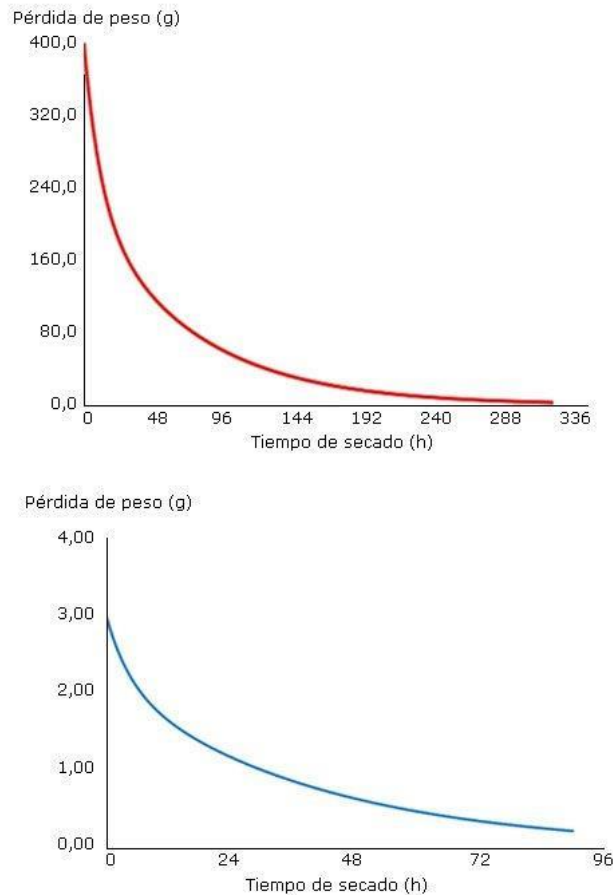


Fig. 2 - Curvas de secado ajustadas al modelo Dos términos. **A.** Natural. **B.** Artificial.

La tabla 1 muestra los coeficientes de cada una de las curvas de proceso.

Tabla 1 - Coeficientes de cada una de las curvas obtenidas

Coeficientes	Secado artificial	Secado natural
H (% bh)	80,4	83,6
P _{inicial} (g)	3,012	402,4
δ (m)	0,006	
a (g)	2,130	230,0
b (g)	0,827	180,0
k ₁ (h ⁻¹)	0,025	0,014
k ₂ (h ⁻¹)	0,218	0,090

P _{final} (g)	0,591	4,250
H (% bs)	1,350	1,650
T (h)	90	317
D ₁ (10 ⁻¹⁰ m ² .s ⁻¹)	1,02	0,57
D ₂ (10 ⁻¹⁰ m ² .s ⁻¹)	8,87	3,66

H (% bh): humedad en base húmeda; P_{inicial}: peso inicial en g; δ : espesor en m; a y b: constantes del modelo en g; k₁ y k₂: constantes de secado en h⁻¹; P_{final}: peso final en g; H (% bs): humedad en base seca; T: tiempo en h; D₁ y D₂: coeficientes de difusión.

Discusión

El gradiente térmico en la capa exterior del tejido generado en cada uno de los métodos de secado favorece la pérdida de agua en las flores hacia la atmósfera en forma de vapor.⁽⁸⁾ Esto produce un gradiente de humedad en el sistema biológico, que permite el flujo del agua desde las capas interiores hacia las exteriores hasta que la manzanilla pierde casi la totalidad del agua presente.

La disminución brusca de la pendiente al inicio de los procesos de secado en poco tiempo evidencia la extracción del agua libre.^(9,10) Esta agua se encuentra menos ligada al sistema biológico y como es sensible a los cambios de temperatura, presión y fuerzas de capilaridad, puede extraerse con facilidad.⁽¹¹⁾

Las condiciones constantes de temperatura y humedad en el secado artificial propician la rápida remoción del agua libre durante este proceso. Sin embargo, en el secado natural la presión de vapor de agua en el aire a la temperatura evaluada genera una humedad relativa alta que deriva en una menor capacidad de adsorción del aire. Como resultado durante la extracción del agua de las flores el aire se satura rápidamente y la remoción del agua es más lenta.

Al igual que en flores de la misma familia como el *Tagetes erecta* L. (tagete) y la *Cynara cardunculus* L. (flor de cardo), las curvas no presentan un periodo de estabilización.^(6,9) En la curva típica de secado este es un periodo de calentamiento inicial que no se evidencia en la mayoría de los materiales vegetales debido a su corta duración. En cambio, estas curvas muestran un punto de inflexión que demuestra la existencia de una región de alta velocidad de secado (zona lineal de la curva) y una de tasa decreciente (zona exponencial de la curva).

En el secado natural a las 48 h ocurre la inflexión, en ese momento las flores han perdido el 69,5 % del peso inicial. Sin embargo, en el proceso artificial el cambio en la pendiente se encuentra a las 24 h, cuando ya se ha extraído el 71,3 % del peso. Posterior

a ese momento en cada proceso la pérdida de peso decrece lentamente, lo que indica el comienzo de fenómenos difusionales y la extracción del agua ligada a la estructura de los tejidos. El secado continúa a menor velocidad y su duración está asociada a los parámetros termodinámicos del aire y a los contenidos de humedad remanente en equilibrio.^(11,12)

Las diferencias obtenidas en el tiempo se deben a que la tecnología de secado artificial es un proceso continuo, mientras que en la natural los tiempos se ven incrementados por las intermitencias climatológicas debido a que la energía solar llega irregularmente.^(8,9,13)

A su vez, la humedad relativa en el proceso natural es superior al 50 % y para la manzanilla, estas condiciones son desfavorables. Esto se debe a que la isoterma de adsorción de esta especie a partir de 0,5 de actividad de agua (50 %) muestra el comienzo de la ganancia de humedad. No obstante, a pesar de los factores termodinámicos las flores pudieron secarse hasta el contenido de humedad seguro de 0,0580 g.g⁻¹ ms (≈6 %) reportado por el modelo de Guggenheim, Anderson y de Boer (GAB), aunque se alcanzara un mayor tiempo de proceso.⁽⁸⁾

La descripción matemática del proceso difusivo en la manzanilla consta de dos coeficientes de difusión. Las diferencias con otros estudios corroboran que el ajuste matemático depende de la especie vegetal, su composición química y aspectos botánicos, por lo cual la cinética debe realizarse de manera individual.

En el secado intervienen diversos factores como son las características de la planta. En la manzanilla, el órgano a deshidratar está compuesto por una inflorescencia en forma de capítulo, lo cual hace que se forme un sistema heterogéneo conformado por pétalo, receptáculo y flor. Por tanto, el ajuste matemático y el modelo descriptivo también cambian con respecto a otros materiales.⁽¹⁴⁾

La difusión aumenta proporcionalmente con la temperatura del aire de secado debido a que se favorece la capacidad del aire de adsorber moléculas de agua procedentes del material biológico, a la vez que se reduce la resistencia interna de la estructura a la remoción del agua.

Es por ello, que cuando el ambiente al interior de la cámara es muy húmedo, como en el secado natural, el flujo de agua hacia la atmósfera exterior se dificulta y los coeficientes de difusión disminuyen.⁽¹⁰⁾ En la práctica, este resultado implicaría la prolongación del proceso, el aumento de los costos y de los riesgos asociados a la inocuidad y la calidad.

Se obtuvo coeficientes de difusión menores a los reportados por Jha y otros (2021)⁽⁶⁾ para flores de banana (*Musa spp.*) y superiores a los obtenidos Garnai y otros (2017)⁽¹⁵⁾ para flores de marigol (*Tagetes erecta* L.). Esto confirma que la variabilidad en la difusividad depende de las condiciones de secado (temperatura y humedad inicial), la estructura anatómica y la composición del material vegetal.

Los resultados de este trabajo abren una nueva línea de investigación que aporta datos importantes para conocer la dinámica de salida de agua en las flores de manzanilla.

La caracterización cinética del secado de la manzanilla describe el comportamiento de la dinámica de extracción de una especie con un sistema heterogéneo conformado por pétalo, receptáculo y flor, y le proporciona a la base productiva los elementos técnicos que pueden ser decisivos para la selección de la tecnología artificial o natural.

Referencias bibliográficas

1. Abbas AM, Seddik MA, Gahory AA, Salaheldin S, Soliman WS. Differences in the aroma profile of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) after different drying conditions. Sustainability. 2021;13:9. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13095083>
2. Pantoja D, Osorio O, Mejía DF, Váquiro HA. Procesamiento de arvejas (*Pisum sativum* L.). Parte 1: Modelado de la Cinética de secado por capa delgada de arveja, variedades Obonuco, Andina y Sureña. Rev Infor Tecnol. 2016;27(1):69-80. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000100009>
3. Thamkaew G, Sjöholm I, Gómez F. A review of drying methods for improving the quality of dried herbs. Critic Rev Food Sci Nut. 2020;61(11):1763-86. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1765309>
4. Fuentes V, Lemes C, Rodríguez C, Germosén L. Manual de cultivo y conservación de plantas medicinales. 2d. Ed. La Habana: Centenario S.A.; 2000.
5. Association of Analytical Communities. Association of official analytical chemists, No. 934.06. 15th. Ed. Washington: AOAC international; 1990.
6. Garnai M, Borda DD, Vizireanu C, Mihalcea LI. Temperature influence on the *Tagetes erecta* L. Flowers dehytration process. J Agroalim Process Technol. 2017 [acceso: 12/04/2021];23(1):52-8. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/339228952>

7. López N, Andrade MM, Martínez HA. Modelamiento matemático de la cinética de secado de espagueti enriquecido con pulpa de zapallo deshidratada (*Cucurbita moschata*). U.D.C.A. 2019;22(1):11. DOI: <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1151>
8. Khater ES, Bahnasawy AH, Hamouda RM. Dehydration of chamomile flowers under different drying conditions. J Food Process Technol. 2019;10(803):1-7. DOI: <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000803>
9. Guiné RP, Fontes L, Reis MJ. Drying kinetics and mass transfer properties in the drying of thistle flower. Brazil J Food Technol. 2019;22:1-13. DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.05119>
10. Hernández YO, Socorro A, Calderón S, Vega M. Caracterización de la cinética del secado solar en hojas de tilo (*Justicia pectoralis* J. var. *pectoralis*). Rev Cubana Fis. 2018 [acceso: 12/04/2021];35(2):102-7. Disponible en: <http://www.revistacubanadefisica.org/index.php/rcf/index>
11. Łyczko J, Jałoszynski K, Surma M, García Garví JM, Carbonell Barrachina AA, Szumny A. Determination of various drying methods. Impact on odour quality of true lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) Flow Molecul. 2019;24:1-15. DOI: <http://doi.org/10.3390/molecules24162900>
12. Hernández YO, Vega M, Socorro A, Calderón S, Lara LE, Veitía J. Cinética del secado solar del orégano (*Plecthrantus amboinicus* Lour. Spreng). Rev Agrotec Cuba. 2018 [acceso: 12/04/2021];42(2):72-85. Disponible en: <http://www.grupoagricoladecuba.gag.cu/>
13. Matouk AM, El Kholy MM, Tharwat A, Marwa S. Drying of pot marigold whole flowers and petals under controlled drying air temperature and relative humidity. J Soil Sci Agric Eng. 2016;7(2):221-30. DOI: <http://doi.org/10.21608/jssae.2016.39372>
14. Alves JJ, Cordeiro de Sousa F, Trindade AP, Nobre J, Palmeira J. Estudo da cinética de secagem de folhas de *Bauhinia Cheilantha* Bong. Steud. (mororó). Rev Cubana Plant Medic. 2015 [acceso: 12/04/2021];20(4):397-408. Disonible en: <http://www.revplantasmedicinales.sld.cu/index.php/pla/article/view/241>
15. Jha P, Meghwal M, Prabhakar PK, Singh A. Exploring effects of different pretreatments on drying kinetics, moisture diffusion, physico-functional and flow properties of banana flower powder. J Food Process Preserv. 2021;00:e15356. DOI: <http://doi.org/10.1111/jfpp.15356>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Conceptualización: Yaisely Orquídea Hernández Fernández.

Investigación: Yaisely Orquídea Hernández Fernández, Leonor Pérez Rodríguez, Yurisleisy Duarte Morales.

Metodología: Michely Vega León.

Supervisión: Mirian Catalina Gordillo Orduño.

Redacción del borrador original: Yaisely Orquídea Hernández Fernández, Mirian C. Gordillo Orduño, Michely Vega León.

Redacción, revisión y edición: Yaisely Orquídea Hernández Fernández.