

SECADO POR CONVECCIÓN CON AIRE CALIENTE DE MANZANILLA (*Matricaria chamomilla L*) - ANÁLISIS DESDE LA PERSPECTIVA DE PROGRAMACIÓN EN PYTHON

HOT AIR CONVECTION DRYING OF MATRICARIA (*Matricaria chamomilla L*) - ANALYSIS FROM A PYTHON PROGRAMMING PERSPECTIVE

María Fernanda Rojas Vallejo¹, María Isabel Uvidia Fassler², Andrea Fernanda Hidrobo Nina³,
Pablo Martí Méndez Naranjo⁴

{mfrojas@unach.edu.ec¹, muvidia@unach.edu.ec², andrea.hidrobo@unach.edu.ec³, pmendez@unach.edu.ec⁴}

Fecha de recepción: 23 de abril de 2024 / Fecha de aceptación: 13 de junio de 2024 / Fecha de publicación: 14 de julio de 2024

RESUMEN: El objetivo de este estudio fue investigar el proceso de secado por convección con aire caliente, utilizando manzanilla (*Matricaria chamomilla L*). Experimentalmente se determinó el comportamiento del Porcentaje de Humedad Remanente (PHR) con respecto al tiempo de secado, para lo cual se emplearon tres temperaturas (40, 50 y 60 °C) a una velocidad constante correspondiente a 2 m/s. Los resultados experimentales del Porcentaje de Humedad Remanente se ajustaron a los modelos de secado Newton-Lewis, utilizando el programa Python (en tasa constante y tasa decreciente) para la modelación matemática de secado entre el índice de humedad residual, el tiempo y la temperatura de secado, realizando un control óptimo del proceso y garantizando la conservación de las propiedades composicionales de la manzanilla. La simplicidad del modelo de Newton-Lewis ilustra metódicamente una manera de controlar de manera óptima y precisa la deshidratación de manzanilla (*Matricaria chamomilla L*). Los resultados obtenidos en este estudio demuestran la viabilidad del modelo y su aplicación inmediata no solo en el proceso de secado de manzanilla sino también en plantas con similar contenido de agua en su composición. La aplicación de este modelo matemático permitirá controlar parámetros, para no sobre secar el producto, manteniendo la composición fisicoquímica de la manzanilla, además se mejora la eficiencia, calidad y sostenibilidad en los procesos de secado que desarrollan diversas industrias sin necesidad de realizar numerosos experimentos físicos, ahorrando tiempo y recursos. El método de Newton-Lewis es una técnica efectiva y simple para modelar la cinética de secado de plantas aromáticas como la manzanilla. La implementación en Python facilita en la cinética de secado permite ajustar parámetros y condiciones para optimizar los procesos de secado.

¹Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0000-0002-7105-5530>

²Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0000-0001-7862-4460>

³Universidad Nacional de Chimborazo, <https://orcid.org/0009-0007-8573-1353>

⁴Universidad Nacional de Chimborazo, <http://orcid.org/0000-0002-3967-3718>

Palabras clave: *Proporción de humedad remanente, manzanilla (Matricaria chamomilla L), modelo de secado de Newton, Python*

ABSTRACT: The objective of this study was to investigate the convection drying process with hot air, using chamomile (*Matricaria chamomilla* L). Experimentally, the behavior of the Percentage of Remaining Humidity (PHR) was determined with respect to the drying time, for which three temperatures (40, 50 and 60 °C) were used at a constant speed corresponding to 2 m/s. The experimental results of the Remaining Moisture Percentage were adjusted to the Newton-Lewis drying models, using the Python program (in constant rate and decreasing rate) for the mathematical modeling of drying between the residual moisture index, time and temperature of drying, carrying out optimal control of the process and guaranteeing the conservation of the compositional properties of chamomile. The simplicity of the Newton-Lewis model methodically illustrates a way to optimally and precisely control the dehydration of chamomile (*Matricaria chamomilla* L). The results obtained in this study demonstrate the viability of the model and its immediate application not only in the chamomile drying process but also in plants with similar water content in their composition. The application of this mathematical model will allow controlling parameters, so as not to overdry the product, maintaining the physical-chemical composition of the chamomile, in addition, the efficiency, quality and sustainability of the drying processes carried out by various industries is improved without the need to carry out numerous experiments. physical, saving time and resources. The Newton-Lewis method is an effective and simple technique to model the drying kinetics of aromatic plants such as chamomile. The implementation in Python facilitates drying kinetics and allows parameters and conditions to be adjusted to optimize drying processes.

Keywords: *Proportion of remaining moisture, chamomile (Matricaria chamomilla L), Newton drying model, Python*

INTRODUCCIÓN

La manzanilla (*Matricaria chamomilla* L) es una planta herbácea que pertenece a la familia de las asteráceas, conocida por sus propiedades nutricionales y medicinales, que son aprovechadas en la industria alimentaria, química y farmacéutica (1). Es una planta que se encuentra en varias partes del mundo resaltando su producción en países como Alemania, Inglaterra, España, Estados Unidos, Canadá, México, India, China, Egipto e Irán (2). La manzanilla es una planta que se adapta a diferentes condiciones, lo que ha contribuido a su distribución global (3). En Ecuador la manzanilla se cultiva en diferentes regiones, su cultivo puede variar según las condiciones climáticas y la altitud. Es conocida por ser resistente a diferentes tipos de suelos y climas (4).

La manzanilla en su composición posee un alto contenido de humedad que oscila entre el 80% y el 95% de agua, esta particularidad contribuye a que después de su cosecha la planta se marchite con facilidad, ocasionando el ataque de microorganismos, afectando su turgencia y apariencia y de esta manera acortando la vida útil de la planta (5). Es necesario buscar métodos de conservación de la manzanilla que permitan alargar su vida útil y su disponibilidad. Existen

diferentes métodos de conservación de plantas entre ellos se destaca la deshidratación (perdida de agua), método que permite prolongar la estabilidad de las plantas, prolongando la vida útil del producto, conservando sus propiedades nutricionales, reducción del peso y volumen del producto, versatilidad en el consumo y reducción de pérdidas económicas (6).

La deshidratación se refiere al proceso de eliminación de agua de las células y tejidos de una planta (7). Este proceso puede ocurrir naturalmente, como parte del ciclo de vida de la planta, o puede ser inducido artificialmente con fines específicos, como la conservación de alimentos, la preparación de hierbas secas o la producción de productos medicinales (8). Es importante destacar que la deshidratación debe realizarse cuidadosamente para preservar las propiedades composicionales de las plantas; métodos de secado inadecuados o excesivamente rápidos pueden afectar negativamente la calidad de las plantas secas y reducir sus beneficios (9). Es esencial considerar el método de deshidratación adecuado para cada planta y propósito específico, métodos como el secado al sol, la deshidratación por aire caliente, el uso de deshidratadores o la liofilización se seleccionan según la planta y el resultado deseado (10).

La calidad del secado de las plantas depende de varios factores que influyen en la retención de sus características organolépticas, compuestos beneficiosos y apariencia general (11). Es importante considerar el método de secado, la temperatura de secado, velocidad de secado y la humedad ambiental (12). La calidad del secado se refiere a la eficacia con la que se ha eliminado la humedad de un material o producto durante el proceso de secado (13). La importancia de la calidad del secado varía según el tipo de material o producto, ya que diferentes aplicaciones requieren niveles específicos de humedad residual (14). Es necesario controlar la cinética de secado, para esto se pueden implementar modelos matemáticos, utilizando diferentes ecuaciones matemáticas que permitan determinar el comportamiento de la planta durante el proceso de deshidratación. En la Tabla 1 se describen distintos modelos matemáticos que permiten determinar la cinética del secado.

Tabla 1: Modelos matemáticos para determinar la cinética del secado

Modelo	Ecuación
Page Modificado	$MR = \exp[-(k \cdot t)^n]$
Newton Lewis	$MR = \exp(-k \cdot t)$
Henderson and Pabis	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t)$
Logarítmico	$MR = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$
Curva característica	$Y = Ax + B$
Wang and Singh	$MR = at + bt + 1$
Thompson	$t = a \cdot [n \cdot (MR)] + b \cdot \ln(MR)$

Investigaciones realizadas indican los comportamientos de las plantas en la cinética del secado, sin embargo, no se encuentran reportes sobre el secado por convección con aire caliente de la manzanilla (*Matricaria chamomilla L*). Esta deficiencia de información restringe severamente el secado óptimo y preciso que se debe realizar a la manzanilla. El objetivo de esta investigación fue estudiar el secado por convección con aire caliente de manzanilla, determinando relaciones matemáticas entre la PHR, tiempo y temperatura de secado que permitan un control adecuado y preciso del proceso de deshidratación sin causar alteraciones en las propiedades composicionales del producto. Para este estudio se aplicó el modelo de Newton Lewis en Python como lenguaje de alto nivel de programación utilizado en la ciencia de datos y el machine learning.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación empleo un método experimental para analizar la cinética de secado, estudiando sistemáticamente los comportamientos de la Manzanilla (*Matricaria chamomilla. L*) para obtener datos precisos durante el proceso de secado en consideración al tiempo y temperatura. En este estudio se utilizó el programa Python, para obtener datos experimentales más eficientes, ajustando modelos matemáticos cinéticos y visualizando resultados más eficientes y contralados.

Secado en el laboratorio: En este estudio se utilizaron ramas de manzanilla (15 cm), recolectadas en la provincia de Chimborazo- Cantón Alausí. El proceso de secado se efectuó en un secador eléctrico, compuesto por un sistema de ventilación con flujo de aire y temperatura controlada. Con el fin de conservar su calidad composicional y turgencia la velocidad del secado se incrementa elevando la temperatura tanto como sea admisible para el producto y su calidad final, el aumento excesivo de temperatura podría comprometer las propiedades físicas, químicas o biológicas de la planta (15). El secador es capaz de suministrar un flujo de aire con una temperatura controlada desde 30 a 100 °C y con una velocidad en el rango de 0,1 a 3,0 m/s $\pm 0,05$ (determinadas por un anemómetro). El pesaje de las muestras se efectuó en una balanza electrónica de precisión 0,01.

Determinación de la de humedad remanente: La proporción de humedad remanente se refiere a la cantidad de humedad que queda en la manzanilla después de un proceso de secado o deshidratado (16). Esta proporción es importante en diversas industrias, ya que la presencia de humedad residual puede afectar las propiedades y la calidad del producto final (17). La determinación de la humedad remanente se expresa generalmente como un porcentaje del peso del material.

$$\text{Humedad Remanente (\%)} = (\text{Peso Inicial} - \text{Peso Seco}) \times 100$$

(1)

Peso Inicial: Es el peso en gramos de la manzanilla antes del proceso de secado.

Peso Seco: Es el peso en gramos de la manzanilla después de completar el proceso de secado.

En la Figura 1 se ilustran los pasos seguidos para determinar la PHR. Las ramas de manzanilla fueron secadas con aire caliente a una velocidad de 2 m/s, a temperaturas de 40, 50 y 60 °C, se realiza un pesaje antes y después durante un tiempo determinado.

SECADO POR CONVECCIÓN CON AIRE CALIENTE DE MANZANILLA (*Matricaria chamomilla L*) - ANÁLISIS DESDE LA PERSPECTIVA DE PROGRAMACIÓN EN PYTHON

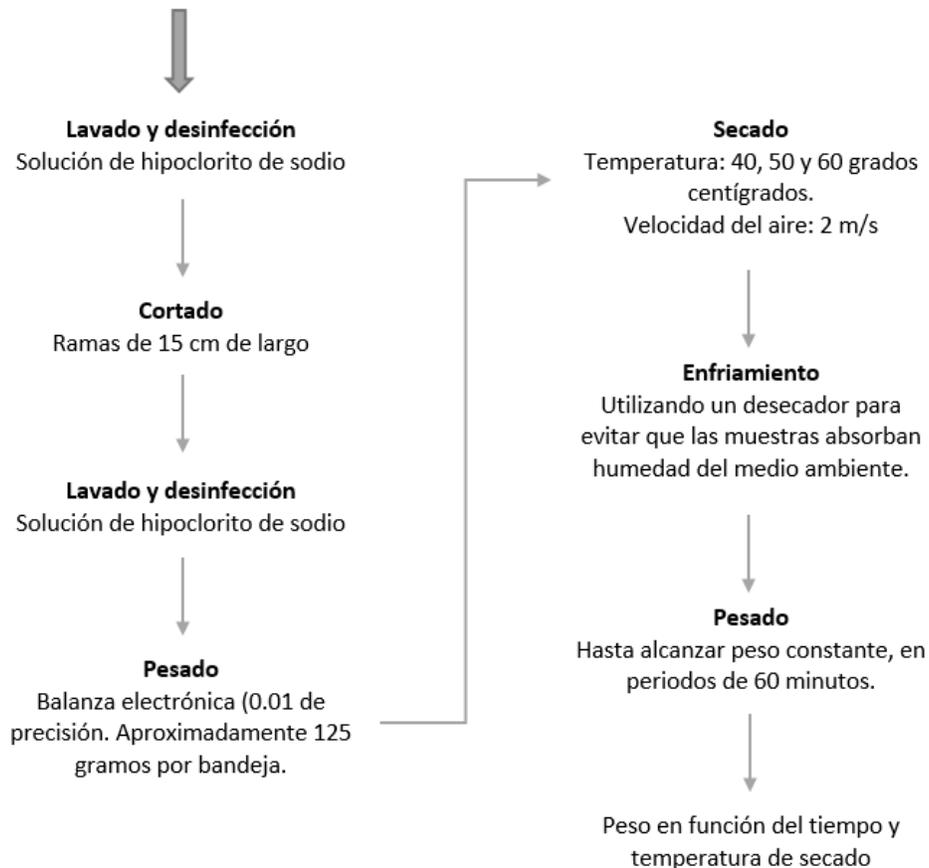


Figura 1: Secuencia de eventos ejecutados para obtener la proporción de humedad remanente

Es crucial determinar la humedad remanente para garantizar que la manzanilla esté dentro de los límites aceptables para su aplicación específica. Demasiada humedad remanente puede provocar problemas como deterioro, presencia de microorganismos y pérdida de estabilidad. Por otro lado, un secado excesivo puede resultar en la pérdida de propiedades importantes de la manzanilla. La medición precisa de la humedad remanente se logra a través de técnicas como el uso de instrumentos de medición de humedad, como los analizadores de humedad.

Estos dispositivos permiten obtener resultados más precisos y rápidos que los métodos tradicionales, como el secado en estufa y el pesaje constante. Es importante ajustar el proceso de secado según los requisitos del material y la aplicación final para garantizar que se alcance la humedad remanente deseada (18).

Velocidad de secado: La velocidad de secado se refiere a la rapidez con la que se elimina la humedad de la manzanilla durante el proceso de secado. Esta velocidad es un parámetro clave en numerosas industrias, ya que afecta la eficiencia del proceso y puede tener un impacto directo en la calidad del producto final (19). El tipo de manzanilla, humedad relativa, temperatura, flujo de aire, espesor del material y propiedades del agua son factores que influyen en la velocidad del secado. La velocidad de secado debe ser gestionada cuidadosamente para evitar problemas como la formación de grietas, la pérdida de propiedades del material o la variación de calidad. Un

equilibrio adecuado entre la velocidad de secado y la preservación de las características del material es esencial para obtener resultados óptimos (20).

La velocidad o rapidez del secado puede determinarse aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Velocidad de Secado} \left[\frac{\text{gramos de agua}}{\text{unidad de tiempo}} \right] = \frac{dh(t)}{dt} \approx \frac{h(t + \Delta t) - h(t)}{\Delta t} \quad (2)$$

dh: proporción remanente de agua; *t*: tiempo; *k*: constante; *h*: humedad

Modelado del secado: El modelado del secado implica la formulación de ecuaciones matemáticas que describan cómo la humedad de un material disminuye con el tiempo durante el proceso de secado. Estos modelos son herramientas valiosas para entender y optimizar el proceso de secado. Es crucial validar estos modelos con datos experimentales para asegurar su aplicabilidad y precisión. Los parámetros del modelo se ajustan utilizando datos reales de secado (21). La elección del modelo depende del material y las condiciones específicas del proceso de secado. Es común utilizar modelos combinados o modificados para abordar características particulares del material y del sistema de secado (22). Los modelos son herramientas valiosas para diseñar y optimizar procesos de secado en diversas industrias.

Estudios evidencian un gran número de modelos matemáticos que se han ajustado a datos experimentales de la PHR durante el secado de plantas aromáticas (23,24). En este estudio se utiliza el modelo de Newton (25). Este modelo teóricamente derivado al asumir consideraciones que simplifican las soluciones en series de la segunda ley de Fick, además de considerar que existe una relación directa entre el contenido promedio de agua y el tiempo de secado (26).

$$PHR(t) = \exp\left(-\frac{t}{k_N}\right)$$
$$PHR(t) = a_M \exp(-b_M t^n) + c_M t \quad (3)$$

a_M , b_M , c_M y k_N : constantes derivadas del ajuste estadístico

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La determinación de la proporción de humedad remanente con respecto al tiempo se determinó experimentalmente empleando tres temperaturas de secado: 40 °C, 50 °C y 60 °C, para lo cual se realizó un pesaje de las muestras de manzanilla antes de iniciar el proceso de secado y posteriormente se realizó un pesaje hasta que el peso no disminuya significativamente (peso constante). El proceso de secado concluye cuando el peso de la muestra se mantiene constante

SECADO POR CONVECCIÓN CON AIRE CALIENTE DE MANZANILLA (*Matricaria chamomilla* L) - ANÁLISIS DESDE LA PERSPECTIVA DE PROGRAMACIÓN EN PYTHON

en varias mediciones sucesivas. En la Tabla 2 se indican los datos utilizados para el modelado del secado y la relación entre el tiempo y la temperatura de secado.

Tabla 2: Registros experimentales de los valores de la PHR durante el secado

Temperatura (°C)	Tiempo (horas)	Peso De La Humedad (gramos)	Humedad (gramos)	Humedad (%)
40	0	50,58	0,00	100,00
	1	37,77	12,82	74,66
	2	26,23	24,35	51,86
	3	15,30	35,28	30,25
	4	9,37	41,22	18,52
	5	8,48	42,10	16,77
50	0	50,53	0,00	100,00
	1	19,60	30,93	38,79
	2	8,43	42,10	16,69
	3	7,90	42,63	15,63
60	0	50,43	0,00	100,00
	1	13,30	37,13	26,37
	2	8,88	41,55	17,61

Modelamiento de secado: El modelamiento de secado implicó la formulación de ecuaciones que describen cómo cambia la humedad en un material a lo largo del tiempo durante el proceso de secado, para lo cual se empleó el modelo matemático de Newton-Lewis como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3: Modelamiento de secado

MODELO	TEMPERATURA	K	R2	RMS
Newton-Lewis	40	0,30682	0,99081655	1,47910
	50	1,22650	0,99763636	0,84281
	60	2,12829	1	4,59E-15

Modelamiento de secado mediante Python: De acuerdo con la aplicación del modelo de Newton en el secado de manzanilla (*Matricaria chamomilla*) se indican las curvas correspondientes para los valores del porcentaje de humedad remanente. Se recomienda usar los resultados determinados con cautela, pues las estimaciones del tiempo son sobreestimaciones y son el resultado de usar el modelo de Newton-Lewis, el cual a su vez representa una aproximación al proceso de secado de una rama de 15 cm de manzanilla.

En la Figura 2 se observan los porcentajes de humedad remanente, porcentajes que fueron ajustados al modelo de secado de Newton, se determina que la constante k_N derivada de cada uno de los ajustes que varía en concordancia con la temperatura de secado T_S . Para estimar el

tiempo del proceso de secado (t_s) de acuerdo con el porcentaje de humedad remanente, determinamos $t = t_s$ y calculamos.

$$t_s = (a_0 + a_1 T_s + a_2 T_s^2) \ln[PRH(t_s)]$$

t_s : tiempo proceso de secado; T_s : temperatura de secado; k_N : constante

(4)

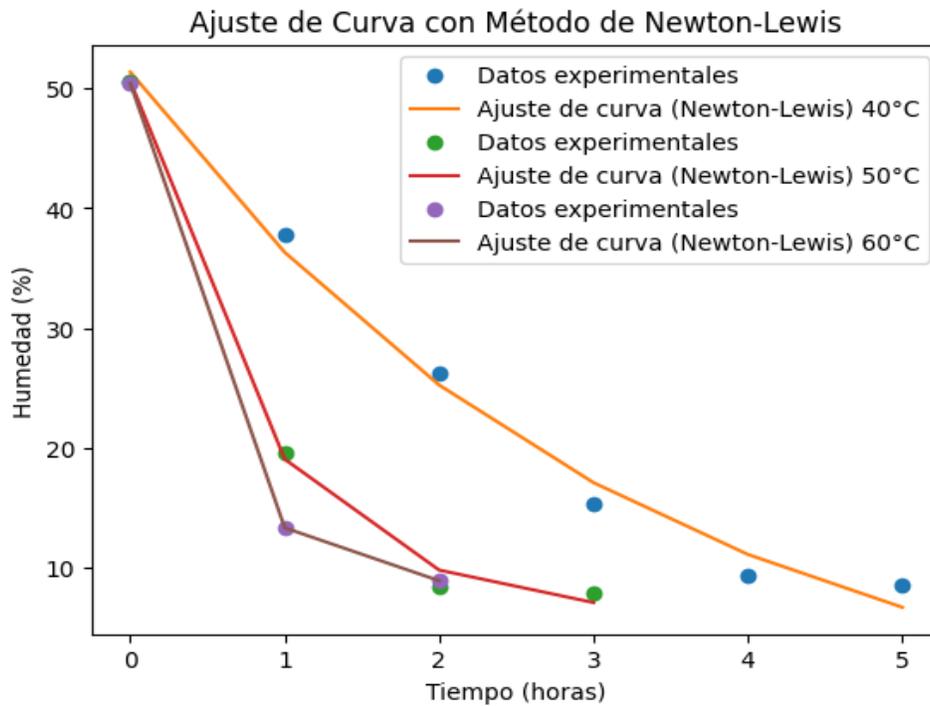


Figura 2: Modelo de secado de Newton a los valores experimentales de la PHR - Python

Discusión: En este estudio la determinación de la proporción de humedad remanente con respecto al tiempo se determinó experimentalmente empleando tres temperaturas de secado: 40, 50 °C y 60 °C, estas temperaturas de secado concuerdan con (27) quienes realizaron el estudio de la cinética de secado de tomillo utilizando temperaturas bajas para mantener las propiedades fisicoquímicas de la planta. Los datos obtenidos en esta investigación son similares a los resultados obtenidos de (28) donde podemos notar que existe una pérdida de humedad y peso de las muestras en las primeras tres horas del proceso de secado, llegando a un peso constante de aproximadamente 10 gramos.

Se utilizó la ecuación del modelo de Newton-Lewis para ajustar nuestros datos experimentales. Según (29) el modelo de Newton-Lewis es un modelo matemático simplificado que describe la cinética de secado de un producto, para lo cual asume que la tasa de secado es proporcional a la diferencia entre el contenido de humedad del producto y el contenido de humedad de equilibrio, para lo cual en este estudio se definieron datos experimentales del peso de muestras de manzanilla (*Matricaria chamomilla L*) con respecto al tiempo y determinando el contenido de

humedad de las muestras de manzanilla. La aplicación del modelo matemático en Newton-Lewis para la cinética de secado en Python, permite ajustar modelos de manera eficiente y precisa, reduciendo la necesidad de cálculos manuales. Los algoritmos numéricos en Python son precisos y confiables, lo que garantiza que los resultados del ajuste de modelos sean robustos y reproducibles.

CONCLUSIONES

En este artículo se ha determinado el comportamiento de ramas de manzanilla (*Matricaria chamomilla L*), durante el proceso secado por convección con aire caliente, empleando tres temperaturas de secado (40, 50 y 60 °C) y aplicando una velocidad constante del aire de secado igual a 2 m/s. Los resultados determinados al aplicar el modelo matemático de Newton con respecto al Porcentaje de Humedad Remanente (PHR) estadísticamente son aceptables, demostrando su efectividad y aplicabilidad en el proceso de secado.

La aplicación de este modelo ha permitido determinar una modelación matemática simple entre la PHR, tiempo y temperatura de secado, lo que resulta ser importante en la industria del secado de plantas, endosando un proceso de secado óptimo y preciso que garantice la conservación de las propiedades composicionales, organolépticas y texturales de la manzanilla.

La aplicación de modelos matemáticos mediante la programación en Python es una práctica común y eficiente. Python es un lenguaje de programación versátil y ampliamente utilizado que ofrece diversas bibliotecas científicas y herramientas para trabajar con modelos matemáticos, definiendo una función de modelo exponencial que representa el modelo matemático exponencial de secado, generando datos experimentales de humedad en función del tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rígola Mateo. (2019). Manzanilla: 7 propiedades y beneficios de esta planta. *Vida Saludable*, 7, 1–15. Recuperado de <https://psicologiyamente.com/vida/manzanilla>
2. López Gamboa, Y., Arteaga Yanez, Y., & Ortega Guevara, NM (2023). Educación Sanitaria en una Comunidad Vulnerable mediante el uso de Plantas Medicinales. Caso Sabanilla. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7 (2), 3913–3926. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i2.5618
3. Srivastava, JK, Shankar, E. y Gupta, S. (2010). Manzanilla: una medicina herbaria del pasado con un futuro brillante. *Informes de medicina molecular*, 895–901. Obtenido de <https://www.spandidos-publications.com/mmr/3/6/895>
4. Bermúdez del Sol, E., Pazmiño, C., & Neira, J. (2022). Uso tradicional de las plantas medicinales por la población del Cantón Salcedo, Cotopaxi, Ecuador. *Zenodo*, 41 (3), 208–215. Obtenido de <http://doi.org/10.5281/zenodo.6743038>
5. Melo-Guerrero, MM, Ortiz-Jurado, DE y Hurtado-Benavides, AM (2020). Comparación de la composición y de la actividad antioxidante del aceite esencial de manzanilla (*Matricaria chamomilla L.*) obtenida mediante extracción con fluidos supercríticos y otras técnicas

- verdes. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* , 44 (172), 845–856. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.862>
6. Herrera Velázquez, M. del R., Rodríguez Palmero, O., & Torregrosa Cortiñas, L. (2017). Plantas popularmente antihipertensivas en Jipijapa, Manabí. Mito y realidad. *Revista Amazónica. Ciencia y Tecnología* , 6 (2), 113–125. <https://doi.org/10.59410/racyt-v06n02ep03-0081>
 7. Hilbay, R., Chamoro Armas, SE, González Escudero, MA y Palacios Cabrera, TA (2016). Reingeniería en los procesos de secado, molienda y tamizado de plantas aromáticas para mejorar la calidad de los derivados, caso: Empresa JAMBI KIWA. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo* , 1 (1), 89–99. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.47>
 8. Peña Cruz, Sc, & Parra Gutiérrez, He (2015). Diseño Y Construcción De Un Liofilizador Para El Secado De Plantas Aromáticas. *Universidad Santo Tomás* , 8 (diciembre), 1–143.
 9. Vargas Corrales, V. (2012). Elaboración de té aromático a base de plantas cedrón (*aloysiacitrodora*) y toronjil (*mellisaofficinalis*) procesado con stevia (*steviarebaudiana bertonii*) endulzante natural, utilizando el método de deshidratación. *Universidad Técnica De Cotopaxi Unidad Académica De Ciencias Agropecuarias Y Recursos Naturales* , 123.
 10. Ramírez, J., Cortés, M., & Hincapié, CA (2019). Optimización del proceso de liofilización y comparación con el secado por convección de estragón ruso (*Artemisia dracunculus* L.). *Acta Agronómica* , 68 (3), 167-174.
 11. Ramírez, J., Cortés, M., & Hincapié, CA (2019). Optimización del proceso de liofilización y comparación con el secado por convección de estragón ruso (*Artemisia dracunculus* L.). *Acta Agronómica* , 68 (3), 167-174.
 12. López-Mejía, N., Andrade-Mahecha, MM, & Martínez-Correa, HA (2019). Modelamiento matemático de la cinética de secado de espagueti enriquecido con pulpa de zapallo deshidratada (*Cucurbita moschata*). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica* . <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1151>
 13. Marulanda-Meza, S. y Burbano-Jaramillo, JC (2021). Evaluación energética de un deshidratador solar tipo túnel para frutas. *Revista UIS Ingenierías*, 20 (2). <https://doi.org/10.18273/revuin.v20n2-2021003>
 14. Espinoza Calderón, GA, Taipe Lucas, C., & Taipe Yalli, M. (2021). Modelamiento matemático del proceso de deshidratado de china konoca (*Xenophyllum poposum*) por aire caliente. *Revista Alfa*, 5 (13), 98–108. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i13.102>
 15. Saiz Jiménez, J. Á., & Cornejo Royo, L. (2014). SECADO DE ALIMENTOS MEDIANTE ENERGÍA SOLAR. *3C Tecnología_Glosas de Innovación Aplicadas a La Pyme*, 3(4), 234–244. <https://doi.org/10.17993/3ctecno.2014.030411.234-244>
 16. Mendoza, S., Mercado, B., José, L., Vanegas, B., Fernández, Q., Vertel, M., & Melba, L. (2014). Cinética de secado de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad CORPOICA M-tai en función de la temperatura y velocidad del aire. *ION* , 27 (2), 29–42.
 17. Vega Gálvez, A., Tello Irlanda, C., & Lemus Mondaca, R. (2007). Simulación Matemática Del Proceso De Secado De La Gracilaria chilena (*Gracilaria Chilensis*). *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 15 (1). <https://doi.org/10.4067/s0718-33052007000100008>
 18. Romero y Otiniano, P., & Vicuña Galindo, E. (2008). Determinación de las curvas de secado mediante un secador de bandeja, en el proceso de bentonita activada con H₂SO₄) a nivel piloto. *TECNIA*, 18 (1), 49–58. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v18i1.362>

19. Alvis Celis, R. (2020). Efecto de temperatura y velocidad de secado en la actividad antioxidante de la mashua (*Tropaeolum tuberosum*) en el secado en bandejas. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3 (1), 16. <https://doi.org/10.25127/ucni.v3i1.587>
20. Urbina, J. F., Escobedo, M. J., & Zavaleta, B. L. (2018). Estudio experimental para el diseño y evaluación de un secador de bandejas móvil. *Big Bang Faustiniiano*, 0(0), 7–10. Retrieved from <http://revistas.unjfsc.edu.pe/index.php/BIGBANG/article/view/237/235>
21. Córdova, J. S., Juárez, J. R., & Cerrón, L. M. (2013). C-Pisum sativum L. (arveja verde) variedad USUI. *Ciencia e Investigación*, 16(2), 61–63. <https://doi.org/10.15381/ci.v16i2.9957>
22. Bazarro-Vera, K., Cevallos-Cedeño, M., & Vilcacundo-Alcívar, A. (2020). Cinética de deshidratación de la uva (*Vitis Vinifera* L.). *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 3(6), 23–32. <https://doi.org/10.46296/ig.v3i6.0016>
23. Akpınar, E. K., Bicer, Y. y Midilli, A. 2003a. Modelind and Experimental Study on Drying of Apple Slices in a Convective Cyclone Dryer. *Journal of Food Process Engineering*, 26(6), 515–541. <http://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2003.tb00654.x>
24. Akpınar, E., Midilli, A. y Bicer, Y. 2003b. Single layer drying behaviour of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling. *Energy Conversion and Management*, 44(10), 1689-1705. [http://doi.org/10.1016/S0196-8904\(02\)00171-1](http://doi.org/10.1016/S0196-8904(02)00171-1)
25. Ayensu, A. 1997. Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar Energy*, 54(4-6), 121-126
26. Motevali, A., Minaei, S., Khoshtaghaza, M. H., Kazemi, M. y Mohamad Nikbakht, A. 2010. Drying of Pomegranate Arils: Comparison of Predictions from Mathematical Models and Neural Networks. *International Journal of Food Engineering*, 6(3), 1-20. <http://doi.org/10.2202/1556-3758.1889>
27. Rocha, RP da, Melo, E. de C., Corbín, JB, Berbert, PA, Donzeles, SML, & Tabar, JA (2012). Cinética del secado de tomillo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16 (6), 675–683. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662012000600013>
28. Hilbay, R., Chamoro Armas, SE, González Escudero, MA y Palacios Cabrera, TA (2016). Reingeniería en los procesos de secado, molienda y tamizado de plantas aromáticas para mejorar la calidad de los derivados, caso: Empresa JAMBI KIWA. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1 (1), 89–99. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.47>
29. Villalba Vidales, J., & Arzola de la Peña, N. (2019). Estudio experimental sobre el secado de bagazo de caña de azúcar panelera. *Scientia et Technica* , 24 (1), 25. <https://doi.org/10.22517/23447214.18541>