




Rendimiento de extracción por hidrodestilación del aceite esencial de *Piper aduncum* L. (matico) mediante un modelo cinético

Extraction yield by hydrodistillation of *Piper aduncum* L. (matico) essential oil using a kinetic model

Rendimento da extração por hidrodestilação do óleo essencial de *Piper aduncum* L. (matico) usando um modelo cinético

Frank Fernández Rosillo¹ , Lenin Quiñones Huatangari¹ , Telemia Sarai Ojeda Gaona¹, Daniela del Pilar Alfaro Montero¹, Royler Jeimis Yalta Meza² , Eliana Milagros Cabrejos Barrios¹ , Alexander Huamán Mera³ 

DOI: <https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v5i1.208>

RESUMEN

Los aceites esenciales tienen demanda en la industria de alimentos, farmacéutica y cosméticos. La investigación tuvo como objetivo estimar el rendimiento de extracción por hidrodestilación de aceite esencial de *Piper aduncum* L. (matico) mediante un modelo cinético. La metodología consistió en procesar el material vegetal (recolectar, secar bajo sombra y triturar hojas de matico), extraer aceite esencial (hidrodestilación mediante dos equipos clevenger bajo cuatro escenarios) y modelar la cinética de extracción por hidrodestilación del matico. El rendimiento del aceite esencial de matico en los cuatro escenarios planteados se ajusta al modelo matemático de la cinética sigmoideal. Por tanto, los modelos determinados brindan una evolución cualitativa y aproximada del comportamiento de la cinética de extracción y del rendimiento del aceite esencial de matico.

Palabras claves: Modelamiento matemático, extracto de plantas, metabolitos secundarios, métodos de extracción.

ABSTRACT

Essential oils are in demand in the food, pharmaceutical and cosmetic industries. The research aimed to estimate the extraction yield by hydrodistillation of *Piper aduncum* L. (matico) essential oil using a kinetic model. The methodology consisted of processing the plant material (harvesting, shade-drying and crushing matico leaves), extracting essential oil (hydrodistillation using two clevenger units under four scenarios) and modelling the kinetics of matico hydrodistillation extraction. The yield of matico essential oil in the four scenarios is in accordance with the mathematical model of sigmoidal kinetics. Therefore, the models determined provide a qualitative and approximate evolution of the behaviour of the extraction kinetics and the yield of matico essential oil.

Keywords: Mathematical modelling, plant extract, secondary metabolites, extraction methods.

¹ Instituto de Investigación de Ciencia de Datos de la Universidad Nacional de Jaén, Perú; frank.fernandez@unj.edu.pe, lenin.quinones@unj.edu.pe, telemia.ojeda@est.unj.edu.pe, daniela.alfaro@est.unj.edu.pe, eliana.cabrejos@unj.edu.pe.

² Centro de Producción de Bienes y Servicios de la Universidad Nacional de Jaén, Perú; jeimis.yalta@unj.edu.pe

³ Instituto de Investigación Interfacultades de Cambio Climático y Paisajes de la Universidad Nacional de Jaén, Perú; alexander.huaman@unj.edu.pe

RESUMO

Os óleos essenciais são muito procurados nos setores alimentício, farmacêutico e cosmético. A pesquisa teve como objetivo estimar o rendimento da extração por hidrodestilação do óleo essencial de *Piper aduncum* L. (matico) usando um modelo cinético. A metodologia consistiu no processamento do material vegetal (colheita, secagem à sombra e trituração das folhas de matico), na extração do óleo essencial (hidrodestilação usando duas unidades de clewenger em quatro cenários) e na modelagem da cinética da extração por hidrodestilação do matico. O rendimento do óleo essencial de matico nos quatro cenários está de acordo com o modelo matemático da cinética sigmoidal. Portanto, os modelos determinados fornecem uma evolução qualitativa e aproximada do comportamento da cinética de extração e do rendimento do óleo essencial de matico.

Palavras-chave: Modelagem matemática, extrato vegetal, metabólitos secundários, métodos de extração.

INTRODUCCIÓN

Los compuestos fitoquímicos contenidos en las plantas son fuentes de sustancias químicas que se utiliza en la industria alimentaria y otras industrias químicas (Haqqyana et al., 2020). Sin embargo, el aceite esencial (AE) es un fitoquímico importante que se obtiene a partir de material vegetal; debido a estas características, el mercado del AE está creciendo (Irshad et al., 2019). Son fracciones líquidas volátiles que proporcionan aromas y sabores característicos a las plantas (León et al., 2015). Su actividad biológica (propiedades antibacterianas, antioxidantes, antiinflamatorias, antisépticas o larvicidas), es una alternativa natural (Firenzuoli et al., 2014) para el desarrollo de aplicaciones, debido a la creciente preferencia por aditivos naturales (Lainez-Cerón et al., 2022). La extracción de los AE se puede realizar por métodos convencionales como la destilación con arrastre de vapor, hidrodestilación (HD) y espacio de cabeza “Head-space” (HS); adquiere importancia la extracción con fluidos supercríticos utilizando dióxido de carbono (CO₂) como solvente, y extracción por hidrodestilación asistida por radiación microondas (León et al., 2015). La HD utiliza agua como solvente, lo cual es una ventaja porque no deja residuos tóxicos al final de la extracción (Souza et al., 2020).

Estudios destacan la variabilidad genética de la especie *Piper aduncum* de acuerdo con sus patrones de distribución espacial (Negreiros & Miqueloni, 2015). *P. aduncum* es considerada especie prioritaria para la conservación de los recursos genéticos en Brasil debido al interés comercial de su AE (Potzernheim et al., 2012), utilizada en la medicina popular en Brasil (Silva et al., 2013). De la misma forma es empleada en la medicina tradicional ecuatoriana por sus propiedades antisépticas y antibióticas (Scalvenzi, 2014). Por lo tanto, se ha recopilado las actividades biológicas y constituyentes químicos activos que han sido aislados de *P. aduncum*

(Morais et al., 2023), también, se realizó el estudio fitoquímico y la concentración de flavonoides de las hojas (Vásquez, 2015). De igual importancia el AE posee acción insecticida, fungicida y bactericida, con una amplia utilización en el sector agrario y medicinal (Dousseau et al., 2014): Desarrollaron un acaricida botánico para el manejo integrado de varroosis (Pino et al., 2011), como agente de control biológico de hongos fitopatógenos (Scalvenzi et al., 2016), para desórdenes gastrointestinales y genitourinarios (Arroyo et al., 2014), actividad insecticida sobre *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus* y *Culex quinquefasciatus* Say (Leyva et al., 2020), efecto de reducción e inhibición en el desarrollo del hongo *M. roleri* (Huaman & Cabezas, 2019) y efecto protector de la cirrosis inducida en ratas (Arroyo et al., 2012).

La modelización matemática de la hidrodestilación se utiliza para simular la extracción de AE sin necesidad de procedimientos experimentales para conocer el comportamiento. Por lo tanto, en base a los resultados se plantea estrategias para evaluar la selección de condiciones a través de las variables del proceso (Borges et al., 2022). En consecuencia, se han desarrollado modelos matemáticos para explicar la extracción de AE por hidrodestilación (Benyoussef & Saibi, 2013), (Stanisavljević et al., 2010); sin embargo, se han reportado diversos enfoques matemáticos que abordan el objeto de estudio: Se ha descrito los efectos de las variables de extracción sobre el rendimiento del AE a través de la metodología de superficie de respuesta para optimizar condiciones de extracción (Labri et al., 2022), (Teixeira et al., 2016), (Haloui et al., 2018), (Moreno et al., 2010a), (Haqqyana et al., 2021). También, se han desarrollado modelos que explican el mecanismo físico del proceso de extracción basados en los fundamentos de la transferencia de masa (Franco-Vega et al., 2016). En suma, para seleccionar un modelo matemático para la simulación del proceso, se utiliza conocimientos sobre

la distribución del AE en los materiales vegetales y los resultados experimentales sobre la cinética de producción (Katiyar, 2017). En este contexto, el objetivo fue determinar rendimiento de extracción por hidrodestilación del aceite esencial de *Piper aduncum* L. mediante un modelo cinético.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección y procesamiento del material vegetal

Recolección e identificación

Las hojas de *Piper aduncum* L. se recolectaron de sus hábitats silvestres en el distrito de Jaén, departamento de Cajamarca en el Perú; ubicadas en el sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) con X=741031, Y= 9370222 a los 1151 m.s.n.m. Además, se tomó en cuenta la época de recolección (julio 2023).

Corte y traslado del material vegetal

El corte del material vegetal se realizó evitando contaminantes, residuos de otras especies de plantas, polvo y tierra, se etiquetó y trasladó el material en bolsas plásticas herméticas (Teixeira et al., 2016) al lugar de procesamiento de las muestras.

Secado bajo sombra

Fueron utilizadas hojas sin presencia de golpes, cortes o lesiones (Moreno et al., 2010). Se tendió el material vegetal permitiendo el intercambio de aire, de esta manera evitar incremento de humedad y contaminación por hongos. Se colocó en un lugar con sombra a temperatura ambiente durante 72 horas.

Trituración y molienda de hojas

Las hojas secas se molieron utilizando un molino para granos adaptado con motor eléctrico durante un periodo suficientemente corto para obtener una distribución uniforme al tamaño de las partículas.



Figura 1. Recolección y procesamiento del matico

Hidrodestilación de aceite esencial de matico

El AE de hojas de matico se extrajo por hidrodestilación en dos aparatos Clevenger (Figura 2) durante 2 horas. Cada 15 minutos después de la primera gota se estimó el volumen para cada uno de los cuatro escenarios y con la proporción de masa vegetal con agua destilada de 1/11 (Tabla 1). Para la separación del AE obtenido en los tubos de ensayo, se retiró con una jeringa de 5 ml la cual está adaptada a un conducto de plástico para extraer la mayor cantidad de aceite y colocarlo en frascos de color oscuro con tapa. Los cuales se rotularon identificándose el: Nombre del material vegetal, volumen de AE obtenido, tiempo de extracción y fecha. Finalmente se almacenó los frascos a temperatura inferior a 20°C (Cordova & Velasquez, 2021).

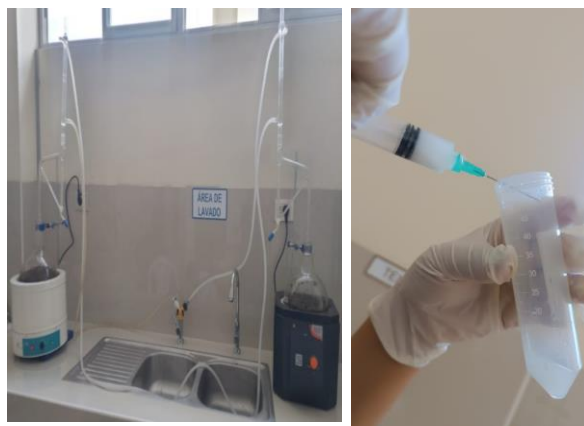


Figura 2. Hidrodestilación y separación de matico

Tabla 1. Características de cuatro escenarios

| Escenarios | Descripción |
|------------|---|
| E1 | 150 g de masa vegetal, 450°C temperatura máxima del equipo, 1650 mL de agua destilada |
| E2 | 200 g de masa vegetal, 450°C temperatura máxima del equipo, 2200 mL de agua destilada |
| E3 | 250 g de masa vegetal, 400°C temperatura máxima del equipo, 2750 mL de agua destilada |
| E4 | 300 g de masa vegetal, 400°C temperatura máxima del equipo, 3300 mL de agua destilada |

La ecuación (1) se utilizó para estimar el rendimiento del aceite de Matico (Phat et al., 2020):

$$Y = \frac{V * 100}{W} \quad (1)$$

Y es el rendimiento obtenido de los AE (%), V es el volumen aceite de matico extraído; (mL), y W es la cantidad de contenido vegetal que se utiliza (g) (Radivojac et al., 2021).

Modelamiento de la cinética en el proceso de extracción

La cinética de la hidrodestilación de los AE de algunos materiales vegetales se desvía de los modelos cinéticos exponenciales. De hecho, se observa una variación sigmoidea del rendimiento del aceite esencial con el tiempo. El modelo sobre cinética de extracción de aceites empleado es dado por la ecuación (2) (Ait et al., 2019).

$$q(t) = \frac{q_{\infty}}{1 + e^{(K_{Th}C - q_{\infty}K_{Th}t)}} \quad (2)$$

Donde $q(t)$ es el rendimiento de aceite esencial en el tiempo de destilación después de la primera gota de evaporación t , q_{∞} es el rendimiento asintótico a tiempo infinito, K_{Th} es la constante de Thomas y " C "

una constante que depende de parámetros operativos como la masa de material vegetal y el caudal de vapor. La determinación de q_{∞} , K_{Th} y C fueron determinados a través de regresión no lineal empleando el software Origin versión 2023b.

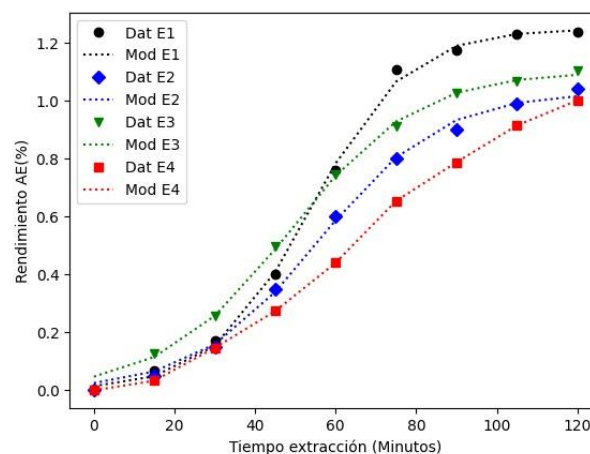
RESULTADOS

En la Tabla 2, se muestran los valores ajustados por la ecuación (2), para cada uno de los cuatro escenarios. Además de los estadísticos empleados para validar el modelo de cinética sigmoideal.

Tabla 2. Valores de los parámetros del modelo cinético sigmoideal

| Escenarios | q_{∞} | K_{Th} | C | R^2 | Error |
|------------|--------------|----------|--------|-------|-------|
| E1 | 1.247 | 0.067 | 66.916 | 0.998 | 0.024 |
| E2 | 1.029 | 0.063 | 57.395 | 0.998 | 0.022 |
| E3 | 1.100 | 0.058 | 53.480 | 0.998 | 0.025 |
| E4 | 1.040 | 0.051 | 68.575 | 0.997 | 0.024 |

R^2 es el coeficiente de determinación entre los datos modelados y los obtenidos en el experimento.

**Figura 3.** Rendimiento del aceite esencial de matico obtenido en cuatro escenarios.

El comportamiento del modelo de cinética en los cuatro escenarios es reflejado en la Figura 3. Sin embargo, se presentan un comportamiento sigmoideal de las curvas y estas no sobrepasan el 1.3% del

rendimiento de extracción.

DISCUSIÓN

Se ha obtenido el AE a través del método de extracción de hidrodestilación a través del aparato tipo Clevenger de las hojas de *P. aduncum* que es la parte de la planta más utilizada (Durofil et al., 2021). El trabajo de investigación ratifica la influencia del pretratamiento en el rendimiento y la cinética de extracción del AE (Marković et al., 2018), por lo tanto, el estado del material vegetal influye en la cantidad de aceite obtenido y en la cinética de extracción (Meyer et al., 2018). Incluso el tipo de material vegetal de la misma planta podrá presentar diferente cinética (Rincón et al., 2012).

El rendimiento de extracción de AE para el primer escenario (1.25%) es superior o igual a otros trabajos, que han empleado diferentes métodos de extracción o diferente tipo de extracción. Por ejemplo, cuando las hojas se secaron al aire y se hidrodestilaron en un aparato de tipo Clevenger durante 5 horas obtuvieron un rendimiento de 0.96%. El rendimiento del aceite esencial osciló entre 0.7% y el 1.3% (Potzernheim et al., 2012). Mediante destilación por arrastre de vapor de agua con un rendimiento de 1.1% (Ingaroca et al., 2019). Se extrajo de hojas y espigas utilizando las técnicas de arrastre con vapor de agua e hidrodestilación, donde el mejor rendimiento (2.15%) fue obtenido por el método de hidrodestilación aplicado a las espigas del material (Albarracín & Gallo, 2003). Se obtuvieron los AE de hojas y espigas mediante hidrodestilación obteniéndose rendimientos menores de 0.57% para hojas (Ciccio & Ballester, 1997). El mejor rendimiento fue de 0.8843% y se obtuvo cuando el tiempo fue de 120 minutos y la relación masa/disolvente fue de 1:5 kg/ L (Bedón & León, 2022).

El modelamiento cinético de la curva de extracción, difiere a los modelos cinéticos presentados en (Sovová

et al., 2006), el modelo de desorción propuesto por Tan y Liou (Tan & Liou, 1989), formulación modificada para la cinética de pseudo primer orden (Shahwan, 2015). Además, el valor del coeficiente de determinación es mayor que 0.997 para los cuatro escenarios y de igual manera el error es menor que 0.022; lo que permite afirmar que el modelo cinético se ajusta satisfactoriamente a los datos experimentales del proceso de extracción de aceites esenciales de *P. aduncum*. De la Figura 3, se infiere que hasta los 120 minutos del proceso de extracción después de la primera gota de evaporación, el rendimiento se estabiliza.

Una comprensión profunda de la cinética juega un papel clave en la mejora de procesos industriales existentes (Dao et al., 2021), es así, que la cinética del proceso de extracción de aceites esenciales fue estudiada a través de modelos cinéticos de primer y segundo orden (Phat et al., 2020), (Dao et al., 2022). Sin embargo, algunas plantas, sólo el modelo sigmoidal se ajusta a los datos experimentales (Milojević et al., 2013). Se construyó una base de datos de 132 cinéticas de extracción a partir de trabajos; este análisis mostró dos tipos de cinéticas que se diferencian por la presencia o no de un punto de inflexión (Ait et al., 2019), (Benyoussef et al., 2005). Deberían realizarse estudios con diversas variables operativas para obtener un modelo general aplicable a todos los materiales vegetales, desde el laboratorio hasta escala industrial.

CONCLUSIONES

El rendimiento de extracción de aceite esencial obtenido por el método de hidrodestilación de las hojas de *Piper aduncum* colectados en la Provincia de Jaén, Perú presenta un comportamiento sigmoidal y se ajusta a un modelo cinético. Al determinar el rendimiento de extracción de los cuatro escenarios durante dos horas después de la caída de la primera gota; el escenario donde se obtuvo mayor rendimiento

de AE fue cuando se consideró 150 g de masa vegetal, 1650 mL de agua destilada y 450°C temperatura máxima del equipo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento de la Vicepresidencia de Investigación de la Universidad Nacional de Jaén, Proyecto de Investigación PROINTEC 2020. Además, a la Oficina de Centros de Producción de bienes y servicios por el apoyo logístico en la parte experimental del estudio. A los ingenieros forestales Jhon Franklin Oblitas Troyes y Jorge Antonio Fernández Jibaja por su colaboración en la recolección e identificación de la especie.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ait, I., Bali, N., Belblidia, N.-B., Abatzoglou, N., & Benyoussef, E.-H. (2019). The first-order model in the simulation of essential oil extraction kinetics. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 15, 100226. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2019.10.0226>
- Albarracín, G. C., & Gallo, S. G. (2003). Comparación de dos métodos de extracción de aceite esencial utilizando Piper Aduncum (Cordoncillo) procedente de la zona cafetera (Tesis para título, Universidad Nacional de Colombia). Universidad Nacional de Colombia, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2624>
- Arroyo, J., Almora, Y., Quino, M., Ruez, E., Martínez, J., Buendía, J., ... Hañari, R. (2012). Efecto protector en cirrosis hepática inducida en ratas del extracto etanólico de las hojas de Piper aduncum comparado con silimarina. *Anales de la Facultad de Medicina*, 73(2), 85-91. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S102555832012002000002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Arroyo, J., Herrera-Calderón, O., Chávez-Asmat, R., Ventura, E., Buendía, J., Pacheco, J., & Palomino, R. (2014). Efecto antitumoral in vitro del aceite esencial de Piper aduncum L. (matico) y su toxicidad oral en ratones. *Anales de la Facultad de Medicina*, 75(1), 13-18. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S102555832014001000003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Bedón, K. A., & León, N. I. (2022). Extracción del aceite esencial de matico (Piper aduncum), mediante el método de arrastre de vapor. (bachelorThesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)). Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). Recuperado de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/2700/9349>
- Benyoussef, E.-H., & Saibi, S. (2013). Influence of essential oil composition on water distillation kinetics. *Flavour and Fragrance Journal*, 28(5), 300-308.
- Benyoussef, E.-H., Yahiaoui, N., Khelfaoui, A., & Aid, F. (2005). Water distillation kinetic study of spearmint essential oil and of its major components. *Flavour and Fragrance Journal*, 20(1), 30-33. <https://doi.org/10.1002/ffj.1406>
- Borges, K., Carcho, M., Finimundy, T., Resende, O., Célia, J. A., Gomes, F. P., ... Ferreira Junior, W. N. (2022). Analysis of

- Volatiles of Rose Pepper Fruits by GC/MS: Drying Kinetics, Essential Oil Yield, and External Color Analysis. *Journal of Food Quality*, 2022.
- Ciccio, J. F., & Ballester, C. M. (1997). Constituyentes volátiles de las hojas y espigas de *Piper aduncum* (Piperaceae) de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 45(2), 783-790. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/rbt/article/view/20868>
- Cordova, Y. L., & Velasquez, J. M. (2021). Cinética de extracción de aceite esencial por arrastre de vapor a escala piloto de la naranja, mandarina, lima y limón. Repositorio Institucional - UNSA. Recuperado de <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2794675>
- Dao, P. T., Nguyen, M. V., Tran, Q. N., Truong Le, D., Nhi Tran, & Lam, T. V. (2022). Experimental and Kinetic Modeling Studies on Extraction of Essential Oil from Vietnamese Calamondin (*Citrus microcarpa*) by Hydro-Distillation Process. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.30492/ijcce.2022.530134.4724>
- Dao, T. P., Dao, T. P., Bach, L. G., Dao, T. P., Bach, L. G., Phong, H. X., ... van Muoi, N. (2021). Kinetic Modeling of Essential Oil Hydro-Distillation from Peels of Pomelo (*Citrus grandis* L.) Fruit Grown in Southern Vietnam. *Sains Malaysiana*, 50(11), 3251-3261. Scopus. <https://doi.org/10.17576/jsm-2021-5011-09>
- Dousseau, S., De Souza, I., De Castro, E. M., Alves, A., Alves, E., Pereira, J. E. B., ... Bastos, V. (2014). Caracterización del limbo de *Piper aduncum* L. (Piperaceae): Análisis estructurales, histoquímicos y de sus aceites esenciales. *Gayana. Botánica*, 71(1), 147-162. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432014000100015>
- Durofil, A., Radice, M., Blanco-Salas, J., & Ruiz-Téllez, T. (2021). *Piper aduncum* essential oil: A promising insecticide, acaricide and antiparasitic. *A review. Parasite*, 28, 42. <https://doi.org/10.1051/parasite/2021040>
- Firenzuoli, F., Jaitak, V., Horvath, G., Bassolé, I. H. N., Setzer, W. N., & Gori, L. (2014). Essential Oils: New Perspectives in Human Health and Wellness. Evidence-based Complementary and Alternative Medicine: eCAM, 2014, 467363. <https://doi.org/10.1155/2014/467363>
- Franco-Vega, A., Ramírez-Corona, N., Palou, E., & López-Malo, A. (2016). Estimation of mass transfer coefficients of the extraction process of essential oil from orange peel using microwave assisted extraction. *Journal of Food Engineering*, 170, 136-143.
- Haloui, T., Farah, A., Lebrazi, S., Fadil, M., & Alaoui, A. B. (2018). Application of response surface methodology for the optimization of hydro-distillation extraction of *Pistacia lentiscus* L. essential oil. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 8(1), 050-054.
- Haqqyana, H., Altway, A., & Mahfud, M. (2021). Microwave-Assisted Hydrodistillation of

- Clove (*Syzgium aromaticum*) Stem Oil: Optimization and Chemical Constituents Analysis. *Indonesian Journal of Chemistry*, 21(6), 1358-1370. <https://doi.org/10.22146/ijc.64521>
- Haqqyana, H. H., Wiya, V. F., Mardinah, A., Septya, H., Altway, A., & Mahfud, M. (2020). Kinetic Study in the Extraction of Essential Oil from Clove (*Syzgium aromaticum*) Stem using Microwave Hydrodistillation. *Moroccan Journal of Chemistry*, 8(1), 8-071. <https://doi.org/10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v8i1.19126>
- Huaman, C. J., & Cabezas, O. E. (2019). Aceite de matico (*Piper aduncum*) en el control de *Moniliophthora roreri* agente causal de la moniliasis en cacao. *Peruvian Agricultural Research*, 1(2). <https://doi.org/10.51431/par.v1i2.583>
- Ingaroca, S., Castro, A., & Ramos, N. (2019). Composición química y ensayos de actividad antioxidante y del efecto fungistático sobre *Candida albicans* del aceite esencial de *Piper aduncum* L. «Matico». *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(2), 268-279. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1810634X2019000200013&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Irshad, M., Subhani, M. A., Ali, S., Hussain, A., Irshad, M., Subhani, M. A., ... Hussain, A. (2019). Biological Importance of Essential Oils. En *Essential Oils—Oils of Nature*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87198>
- Katiyar, R. (2017). Modeling and simulation of *Mentha arvensis* L. essential oil extraction by water-steam distillation process. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(6), 2793-2798.
- Labri, K., Moghrani, H., Ihadadene, R., Hamitouche, H., & Maachi, R. (2022). The application of the full factorial design and Response Surface Methodology in optimization conditions for essential oils extraction from *Lavandula stoechas*, *Carum carvi* and *Eucalyptus camaldulensis*: Effect of plants particle size on the extraction of essential oils. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 30, 100830. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100830>
- Lainez-Cerón, E., Ramírez-Corona, N., López-Malo, A., & Franco-Vega, A. (2022). An overview of mathematical modeling for conventional and intensified processes for extracting essential oils. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 178, 109032. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2022.109032>
- León, G., Osorio, M. del R., & Martínez, S. R. (2015). Comparación de dos métodos de extracción del aceite esencial de *Citrus sinensis* L. *Revista Cubana de Farmacia*, 49(4), 0-0. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0034-75152015000400014&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Leyva, M., Marquetti, M. del C., Montada, D., Payroll, J., Scull, R., Morejón, G., &

- Pino, O. (2020). Actividad insecticida de los aceites esenciales de *Piper aduncum* subsp. *Ossanum* y *Ocimum basilicum* sobre *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus* y *Culex quinquefasciatus*. *Novitates Caribaea*, (16), 122-132. <https://doi.org/10.33800/nc.vi16.231>
- Marković, M. S., Radosavljević, D. B., Pavićević, V. P., Ristić, M. S., Milojević, S., Bošković-Vragolović, N. M., & Veljković, V. B. (2018). Influence of common juniper berries pretreatment on the essential oil yield, chemical composition and extraction kinetics of classical and microwave-assisted hydrodistillation. *Industrial Crops and Products*, 122, 402-413. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.018>
- Meyer, G., Sarmiento, O. I., Ramírez, R. I., Guevara, O., Meyer, G., Sarmiento, O. I., ... Guevara, O. (2018). Evaluación del rendimiento del aceite esencial de caléndula (*Calendula officinalis* L) obtenido por OAHD. *Revista ION*, 31(1), 13-19. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018002>
- Milojević, S. Ž., Radosavljević, D. B., Pavićević, V. P., Pejanović, S., & Veljković, V. B. (2013). Modeling the kinetics of essential oil hydrodistillation from plant materials. *Hemijaska industrija*, 67(5), 843-859. Recuperado de <https://doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=0367-598X1300009M>
- Morais, V. P., Cabral, F. V., Fernandes, C. C., & Miranda, M. L. D. (2023). Brief Review on *Piper aduncum* L., its Bioactive Metabolites and its Potential to Develop Bioproducts. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 66. Scopus. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2023220314>
- Moreno, J., López, G., & Siche, R. (2010a). Modelación y optimización del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). *Scientia Agropecuaria*, 1(2), 147-154. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2010.02.05>
- Moreno, J., López, G., & Siche, R. (2010b). Modelación y optimización del proceso de extracción de aceite esencial de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). *Scientia Agropecuaria*, 1(2), 147-154. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357633695005>
- Negreiros, J. R. da S., & Miqueloni, D. P. (2015). Morphological and phytochemical characterization of *Piper hispidinervum* DC. and *Piper aduncum* L. populations in the state of Acre. *Revista Ceres*, 62, 78-86. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201562010010>
- Phat, D. T., Quyen, N. T. C., Minh, P. T. H., & Huyen, L. V. (2020). Modeling the kinetics of essential oil hydrodistillation from Vietnamese ginger (*Zingiber officinale*). 991, 012108. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/991/1/012108>
- Pino, O., Sánchez, Y., Rodríguez, H., Correa, T. M., Demedio, J., & Sanabria, J. L. (2011). Caracterización química y actividad

- acaricida del aceite esencial de *Piper aduncum* subsp. *Ossanum* frente a *Varroa destructor*. *Revista de Protección Vegetal*, 26(1), 52-61. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1010-27522011000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Potzernheim, M. C. L., Bizzo, H. R., Silva, J. P., & Vieira, R. F. (2012). Chemical characterization of essential oil constituents of four populations of *Piper aduncum* L. from Distrito Federal, Brazil. *Biochemical Systematics and Ecology*, 42, 25-31. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2011.12.025>
- Radivojac, A., Bera, O., Zeković, Z., Teslić, N., Mrkonjić, Ž., Bursać Kovačević, D., ... Pavlić, B. (2021). Extraction of Peppermint Essential Oils and Lipophilic Compounds: Assessment of Process Kinetics and Environmental Impacts with Multiple Techniques. *Molecules*, 26(10), 2879. <https://doi.org/10.3390/molecules26102879>
- Rincón, C. A., Castaño, J. C., & Ríos, E. (2012). Actividad biológica de los aceites esenciales de *Acmella ciliata* (Kunth) Cass. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 17(2), 160-171. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1028-47962012000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=en
- Scalvenzi, L. (2014). New frontiers of essential oils research: Biotransformation of the phytocomplex and its pure compounds by endophytic fungi. *Acta Horticulturae*, 1030, 125-132. Scopus. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1030.15>
- Scalvenzi, L., Yaguache-Camacho, B., Cabrera-Martínez, P., & Guerrini, A. (2016). Actividad antifúngica in vitro de aceites esenciales de *Ocotea quixos* (Lam.) Kosterm. Y *Piper aduncum* L. *Bioagro*, 28(1), 039-046. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1316-33612016000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Shahwan, T. (2015). Lagergren equation: Can maximum loading of sorption replace equilibrium loading? *Chemical Engineering Research and Design*, 96, 172-176. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2015.03.011>
- Silva, A. L., Chaves, F. C. M., Lameira, R. C., & Bizzo, H. R. (2013). Yield and composition of the essential oil from *Piper aduncum* L., cultivated in Manaus, AM, regarding plant density and cutting period. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 15, 670-674. <https://doi.org/10.1590/S1516-05722013000500007>
- Souza, E. T. de, Siqueira, L. M., Almeida, R. N., Lucas, A. M., Silva, C. G. F. da, Cassel, E., & Vargas, R. M. F. (2020). Comparison of different extraction techniques of *Zingiber officinale* essential oil. *Brazilian Archives of*

- Biology and Technology, 63, e20190213.
- Sovová, H., Aleksovski, S. A., Bocevska, M., & Stateva, R. P. (2006). Supercritical fluid extraction of essential oils: Results of joint research. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 12(3), 168-174.
<https://doi.org/10.2298/CICEQ0603168S>
- Stanisavljević, I. T., Lazić, M. L., Veljković, V. B., Stojičević, S. S., Veličković, D. T., & Ristić, M. S. (2010). Kinetics of Hydrodistillation and Chemical Composition of Essential Oil from Cherry Laurel (*Prunus laurocerasus* L. var. *serbica* Pančić) Leaves. *Journal of Essential Oil Research*, 22(6), 564.
Recuperado de https://www.academia.edu/18068979/Kinetics_of_Hydrodistillation_and_Chemical_Composition_of_Essential_Oil_from_Cherry_Laurel_Prunus_laurocerasus_L_var_serbica_Pan%C4%8Di%C4%87_L_eaves
- Tan, C.-S., & Liou, D.-C. (1989). Modeling of desorption at supercritical conditions. *AIChE Journal*, 35(6), 1029-1031.
<https://doi.org/10.1002/aic.690350616>
- Teixeira, S. D., Fiorio, J. L., Galvan, D., Sefstrom, C., Cogo, P. M., Sales, V., ... Benghi, T. G. S. (2016). Investigation on chemical composition and optimization of essential oil obtainment from waste *Pinus taeda* L. using hydrodistillation. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 59.
<https://doi.org/10.1590/1678-4324-2016150043>
- Vásquez, M. R. S. (2015). Estudio fitoquímico y cuantificación de flavonoides totales de las hojas de *Piper peltatum* L. y *Piper aduncum* L. procedentes de la región Amazonas. In *Crescendo*, 6(1), 33-43.
<https://doi.org/10.21895/incres.2015.v6n1.04>