



ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Modelación matemática de concentraciones de compuestos fenólicos en *Hibiscus sabdariffa* mediante el polinomio de Lagrange. Un análisis comparativo con datos experimentales

Mathematical modeling of concentrations of phenolic compounds in *Hibiscus sabdariffa* using the Lagrange polynomial. A comparative analysis with experimental data

Sting Brayan Luna-Fox

Universidad Estatal Amazónica Puyo, Ecuador, sb.lunaf@uea.edu.ec, 00000-0001-6058-7024

Jhoel Hernán Uvidia-Armijo

Universidad Estatal Amazónica Puyo, Ecuador, jh.uvidiaa@uea.edu.ec, 00000-0003-3519-6472

Néstor Augusto Estrada-Brito

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Riobamba, Ecuador, nestor.estrada@esepoch.edu.ec, 00000002-4100-7351

Luis Alberto Uvidia-Armijo

Universidad Estatal Amazónica Puyo, Ecuador, la.uvidiaa@uea.edu.ec, 0000-0002-1967-2494

Autor de Correspondencia: Sting Brayan Luna-Fox, sb.lunaf@uea.edu.ec

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 28 Febrero 2024 | **Aceptado:** 31 marzo 2024 | **Publicado online:** 01 abril 2024

CITACIÓN

Luna-Fox S., Uvidia-Armijo, J., Estrada-Brito, N., y Uvidia-Armijo. Modelación matemática de concentraciones de compuestos fenólicos en *Hibiscus sabdariffa* mediante el polinomio de Lagrange. Un análisis comparativo con datos experimentales *Revista Social Fronteriza* 2024; 4(2): e213. [https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4\(2\)213](https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4(2)213)



Esta obra está bajo una licencia internacional. [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).





RESUMEN

La modelación matemática constituye un campo de investigación de gran relevancia en la ciencia contemporánea. El objetivo del presente estudio fue desarrollar un modelo matemático basado en el polinomio de Lagrange para describir la variación de las concentraciones de compuestos fenólicos en *Hibiscus sabdariffa*. Se aplicó la extracción asistida por ultrasonido para obtener extractos acuosos de flores de jamaica, y el contenido de compuestos fenólicos se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu, estos resultados se utilizaron para determinar los coeficientes del polinomio de Lagrange. El modelo matemático fue validado mediante la comparación de datos experimentales y predichos, además se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) para determinar la fuerza de la relación entre los resultados de laboratorio y los predichos por el modelo matemático. El modelo matemático obtenido fue de grado 6 y el coeficiente de correlación de Pearson fue de 0,999 lo cual indicó la alta capacidad del modelo para cubrir todo el intervalo de los datos experimentales. El presente estudio subraya la relevancia crucial de los modelos matemáticos en la capacidad predictiva de datos experimentales, incluso en contextos donde los factores no han sido estudiados.

Palabras clave: Predicción, modelo matemático, polifenoles, jamaica.

ABSTRACT

Mathematical modeling constitutes a field of research of great relevance in contemporary science. The objective of the present study was to develop a mathematical model based on the Lagrange polynomial to describe the variation of the concentrations of phenolic compounds in *Hibiscus sabdariffa*. Ultrasound-assisted extraction was applied to obtain aqueous extracts of hibiscus flowers, and the content of phenolic compounds was determined by the Folin-Ciocalteu method; these results were used to determine the Lagrange polynomial coefficients. The mathematical model was validated by comparing experimental and predicted data, and the Pearson correlation coefficient (r) was calculated to determine the strength of the relationship between the laboratory results and those predicted by the mathematical model. The mathematical model obtained was of grade 6 and the Pearson correlation coefficient was 0.999, which indicated the high capacity of the model to cover the entire range of the experimental data. The present study highlights the crucial relevance of mathematical models in the predictive capacity of experimental data, even in contexts where the factors have not been studied.

Keywords: Prediction, mathematical model, polyphenols, jamaica





1. Introducción

La modelación matemática constituye un campo de investigación de gran relevancia en la ciencia contemporánea (Torres-Valenzuela et al., 2019). En particular, el análisis de las concentraciones de compuestos fenólicos en jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) mediante métodos matemáticos representa un desafío significativo y un área de interés creciente. Los compuestos fenólicos, destacados por sus propiedades antioxidantes (Ordoñez et al., 2019) y sus efectos beneficiosos para la salud (Mendoza-Isaza et al., 2020), poseen una importancia biológica y aplicativa considerable. Sin embargo, la variabilidad inherente en la producción de estos compuestos, influenciada por factores genéticos, ambientales y de manejo, plantea una problemática compleja que requiere aproximaciones analíticas precisas y rigurosas (Núñez et al., 2021).

En este contexto, el polinomio de Lagrange emerge como una herramienta matemática de gran utilidad para la modelación de datos experimentales en sistemas dinámicos (Loachamin-Chano et al., 2021). Su capacidad para interpolar y extrapolar datos con precisión lo convierte en una opción prometedora para abordar la modelación de las concentraciones de compuestos fenólicos en jamaica (Sabermahani et al., 2019). La aplicación de este método ofrece la posibilidad de analizar la dinámica de los compuestos fenólicos en función de múltiples variables, permitiendo una comprensión más profunda de los mecanismos subyacentes a su biosíntesis y regulación.

El presente estudio tiene como objetivo principal desarrollar un modelo matemático basado en el polinomio de Lagrange para describir la variación de las concentraciones de compuestos fenólicos en *Hibiscus sabdariffa*. Este modelo se fundamenta en datos experimentales obtenidos a partir de análisis químicos cuantitativos y técnicas de espectroscopia, combinados con información detallada sobre las condiciones de extracción. La validación y evaluación del modelo se llevó a cabo mediante comparaciones exhaustivas con datos experimentales independientes, con el fin de determinar su capacidad predictiva y su utilidad para el diseño de estrategias de producción y aprovechamiento de compuestos fenólicos en esta especie vegetal de interés científico y económico



2. Metodología

Ubicación y materia prima

El presente estudio fue realizado en el Laboratorio de Bromatología de la Universidad Estatal Amazónica localizada en el kilómetro 2 ½ de la vía a Tena, en el cantón y provincia de Pastaza, a una altitud de 940 metros sobre el nivel del mar. Las coordenadas geográficas del lugar son 00° 59' -1" de latitud y 77° 49'0" de longitud Oeste. Las flores de jamaica fueron adquiridas secas en el mercado local de la ciudad de Puyo-Pastaza, Ecuador.

Obtención de los extractos acuosos

Se empleó la técnica de extracción asistida por ultrasonidos mediante un equipo de la marca Wisd.23, modelo WUC-DO6H. Para cada experimento se pesó $5 \pm 0,4$ g de flores de jamaica en un balón de vidrio al que se le añadió 100 ml de agua destilada. Seguidamente las muestras se colocaron al equipo y las extracciones se realizaron por 30 min a 60% de potencia ultrasónica. Las temperaturas de extracción fueron: 20, 22,5, 25, 30, 32,5, 35, 40, 42,5, 45, 50, 52,5, 55, 60, 62,5, 65, 70, 72,5, 75 y 80°C. Después de cada extracción, los extractos fueron filtrados con papel Whatman No 4 y los análisis de laboratorio se realizaron de inmediato.

Cuantificación del contenido de polifenoles

Se colocaron 500 µL del extracto acuoso en un volumétrico de 10 mL, seguidamente se adicionaron 500 µL del reactivo Folin-Ciocalteu diluido previamente con agua destilada (1:1) y se dejó reposar por 10 min en la oscuridad. Después, se adicionaron 500 µL de carbonato de sodio al 20% y se completó el volumen con agua destilada, las muestras se dejaron en reposo por 2 h en ausencia de luz. Finalmente, la lectura de absorbancia fue leída a 765 nm en un espectrofotómetro ultravioleta visible de la marca Perkin Elmer. Los resultados fueron expresados en gramos equivalentes de ácido gálico por cada 100 g de materia seca (g EAG/ 100 g ms.) mediante la ecuación:

$$A=0.0734C-0.0028$$

Donde:

A: absorbancia leída en las muestras

C: concentración de las muestras (mg L^{-1})

Coefficientes del polinomio de Lagrange

El polinomio de Lagrange es una forma de interpolar un conjunto de puntos dados con un polinomio de grado $n - 1$, donde n es el número de puntos. Los resultados de las concentraciones de polifenoles conseguidos a las temperaturas de extracción de 20, 30, 40, 50, 60, 70 y 80°C, se utilizaron para obtener los coeficientes del polinomio de Lagrange, para ello se aplicó el siguiente procedimiento:

Sea $(T_0, C_0), (T_1, C_1); (T_2, C_2), \dots, (T_{n-1}, C_{n-1})$ el conjunto de puntos a interpolar, donde T y C representan respectivamente la temperatura (°C) y la concentración de polifenoles (g EAG/100 g ms), para cada punto T_i , se definió un polinomio de Lagrange $L_i(T)$ que es igual a 1 en T_i y 0 en todos los demás puntos. Estos polinomios se obtuvieron de la siguiente manera:

$$L_i(T) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n-1} \frac{T - T_j}{T_i - T_j}$$

De esta forma el polinomio interpolante $P(T)$ se obtuvo como la suma de los productos de los valores C_i por los polinomios base $L_i(T)$. El polinomio interpolante de Lagrange se puede escribir de la siguiente manera:

$$P(T) = \sum_{i=0}^{n-1} C_i \cdot L_i(x)$$

Validación del modelo matemático

Se determinó en el laboratorio la concentración de polifenoles a diferentes temperaturas (22,5, 25, 32,5, 35, 42,5, 45, 52,5, 55, 62,5, 65, 72,5 y 75°C) y los resultados fueron comparados con los obtenidos por el modelo de interpolación. Este modelo fue validado calculando el coeficiente de correlación de Pearson (r). El valor de r se determinó de la siguiente manera:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

Donde:

x_i y y_i representan los valores individuales de los resultados experimentales y los predichos por el modelo matemático.

\bar{x} y \bar{y} son las medias de los valores de x_i y y_i respectivamente.

3.Resultados

Los resultados de polifenoles extraídos de flores secas de jamaica se detallan en la tabla 1. Se observaron valores que variaron entre $0,262 \pm 0,009$ y $2,843 \pm 0,053$ g EAG/100 g ms, señalando un incremento en la concentración conforme aumentó la temperatura (Figura 1). Este aumento progresivo sugiere una relación directa entre la temperatura y la concentración de polifenoles en la muestra.

Tabla 1. Valores experimentales de polifenoles

Temperatura (°C)	Polifenoles (g EAG/ 100 g ms)
20	$0,262 \pm 0,009$
30	$0,594 \pm 0,002$
40	$0,914 \pm 0,023$
50	$1,453 \pm 0,006$
60	$2,239 \pm 0,050$
70	$2,782 \pm 0,001$
80	$2,843 \pm 0,053$

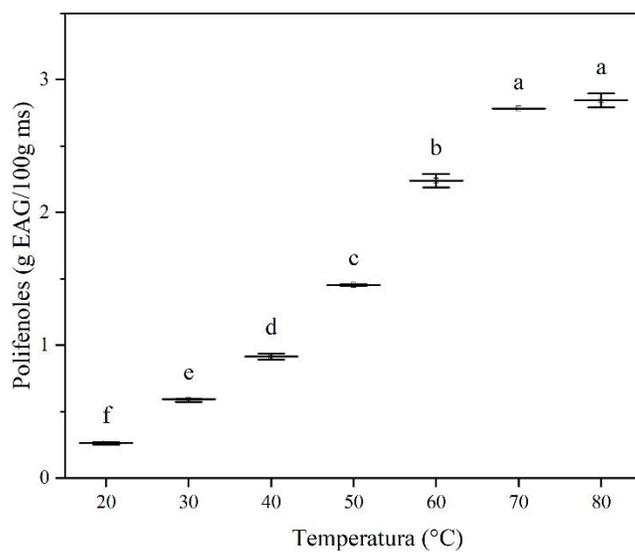


Figura 1. Efecto de la temperatura de extracción sobre la concentración de polifenoles

Polinomio de Lagrange

El modelo matemático obtenido a partir del polinomio de Lagrange fue de grado 6, y su expresión matemática se detalla a continuación. Este polinomio de grado 6 proporcionó una representación precisa de los datos experimentales, lo que sugiere una relación compleja entre las variables involucradas. La expresión matemática resultante proporcionó un marco sólido para el análisis y la predicción de concentraciones

de polifenoles en hojas secas de jamaica en un intervalo de temperatura que va desde 20 a 80 °C

$$P(20) = 0,262 \cdot \frac{(T - 30)(T - 40)(T - 50)(T - 60)(T - 70)(T - 80)}{(20 - 30)(20 - 40)(20 - 50)(20 - 60)(20 - 70)(20 - 80)}$$

$$P(30) = 0,594 \cdot \frac{(T - 20)(T - 40)(T - 50)(T - 60)(T - 70)(T - 80)}{(30 - 20)(30 - 40)(30 - 50)(30 - 60)(30 - 70)(30 - 80)}$$

$$P(40) = 0,914 \cdot \frac{(T - 20)(T - 30)(T - 50)(T - 60)(T - 70)(T - 80)}{(40 - 20)(40 - 30)(40 - 50)(40 - 60)(40 - 70)(40 - 80)}$$

$$P(50) = 1,453 \cdot \frac{(T - 20)(T - 30)(T - 40)(T - 60)(T - 70)(T - 80)}{(50 - 20)(50 - 30)(50 - 40)(50 - 60)(50 - 70)(50 - 80)}$$

$$P(60) = 2,239 \cdot \frac{(T - 20)(T - 30)(T - 40)(T - 50)(T - 70)(T - 80)}{(60 - 20)(60 - 30)(60 - 40)(60 - 50)(60 - 70)(60 - 80)}$$

$$P(70) = 2,782 \cdot \frac{(T - 20)(T - 30)(T - 40)(T - 50)(T - 60)(T - 80)}{(70 - 20)(70 - 30)(70 - 40)(70 - 50)(70 - 60)(70 - 80)}$$

$$P(80) = 2,843 \cdot \frac{(T - 20)(T - 30)(T - 40)(T - 50)(T - 60)(T - 70)}{(80 - 20)(80 - 30)(80 - 40)(80 - 50)(80 - 60)(80 - 70)}$$

Sumando $P(20) + P(30) + P(40) + P(50) + P(60) + P(70) + P(80)$, se obtuvo el siguiente modelo matemático:

$$P(T) = \frac{271T^6}{180000000000} - \frac{1731T^5}{4000000000} + \frac{35149T^4}{720000000} - \frac{66161T^3}{24000000} + \frac{2971373T^2}{36000000} - \frac{729691T}{600000} + \frac{7101}{1000}$$

Donde:

P-representa la concentración de polifenoles (g EAG/100 g ms) a una temperatura T (°C) en una intervalo de 20 a 80°C.

Validación del modelo matemático

Se llevó a cabo una comparación entre los valores experimentales y aquellos predichos por el modelo matemático propuesto. Los resultados de esta comparación se presentan en la tabla 2 y figura 2. Es esencial destacar que el coeficiente de correlación de Pearson alcanzó un

valor de 0,999. Este coeficiente de correlación sugiere una relación altamente estrecha y consistente entre los datos experimentales y los valores predichos por el modelo. Una correlación tan cercana a la unidad refleja la alta capacidad del modelo para explicar y predecir el fenómeno estudiado. Esta concordancia entre los datos experimentales y los predichos indica que el modelo matemático es altamente confiable y preciso en su capacidad para representar el comportamiento de las variables involucradas.

Tabla 2. Valores experimentales y predichos por el modelo matemático

Temperatura (°C)	Valores experimentales (g EAG/100 g ms)	Valores predichos (g EAG/100 g ms)
22,5	0,329	0,333
25	0,427	0,421
32,5	0,668	0,672
35	0,751	0,747
42,5	1,004	1,017
45	1,189	1,141
52,5	1,682	1,639
55	1,829	1,837
62,5	2,461	2,422
65	2,511	2,578
72,5	2,828	2,824
75	2,809	2,835

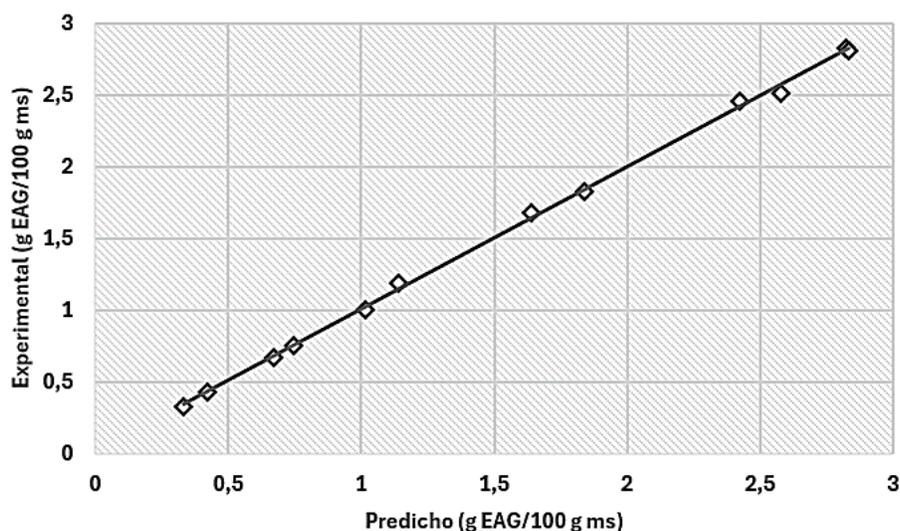


Figura 2. Comparación de los valores experimentales y los predichos por el modelo matemático

4. Discusión

El contenido de compuestos fenólicos presentes en las flores de jamaica ha sido objeto de estudio en diferentes investigaciones. Pacheco-Coello et al. (2019) reportaron valores de polifenoles de 0,610 a 1,03 g EAG/100 g ms en extractos obtenidos con metanol. Singh et al. (2021) en su investigación informaron concentraciones de polifenoles de 0,21-3,37 g EAG/100 g ms en extractos hidroalcohólicos de flores de jamaica, obtenidos mediante ultrasonido. Así mismo, Herranz-López et al. (2019) mediante el método de Folin-Ciocalteu encontraron concentraciones de 1 a 3,5 g EAG/100 g ms en extractos acuosos. Los resultados mencionados anteriormente concuerdan parcialmente a los reportados en el presente estudio. La variabilidad en la concentración de polifenoles puede verse afectada por una serie de factores; por ejemplo, Bielecka et al. (2019) en su investigación encontraron una alta variabilidad en el contenido de polifenoles en muestras vegetales con edades de dos, tres y cuatro años. Pía-Beker, Fernández y Guadalupe-Klich (2020) demostraron diferencias significativas en la concentración de polifenoles de la especie *Elaeagnus angustifolia* L. en muestras tomadas en diferentes estaciones y alturas de la planta.

La temperatura de extracción tuvo en efecto positivo en la concentración de polifenoles, mostrando un aumento progresivo de la cantidad de polifenoles con el aumento de la



temperatura. Comportamiento similares fueron reportados en los estudios de Peñafiel-Bonilla et al., (2023), Luna-Fox et al., (2023) y Arteaga-Crespo et al., (2020), sin embargo, otros autores como Singh et al., (2021) y Anila & Farid, (2022) informaron una disminución en la extracción de polifenoles con temperaturas de extracción superiores a los 60°C. Aunque los resultados del presente estudio sean positivos en términos de aumento de la concentración de polifenoles, es importante considerar que temperaturas muy altas podrían influir en la calidad de la extracción. En este sentido, Machado et al., (2019) han señalado que a temperaturas elevadas existe el riesgo de degradación de los compuestos bioactivos debido a la exposición al calor durante períodos prolongados. Además, Oreopoulou et al., (2019) han indicado que la temperatura óptima de extracción puede variar según el tipo de polifenol y la fuente de la materia prima. Dzah et al., (2020) demostraron que algunos polifenoles pueden ser más sensibles al calor que otros, lo que significa que podrían requerir condiciones de extracción específicas para preservar su integridad y maximizar su concentración.

En la presente investigación se desarrolló un modelo matemático de grado 6 que exhibe un coeficiente de correlación de 0,999. Este coeficiente de correlación es indicativo de la fuerte relación entre las variables en cuestión, en este caso, la concentración de polifenoles. La alta correlación sugiere que el modelo es altamente confiable y preciso en la predicción de los valores de concentración de polifenoles, dentro del rango de temperatura estudiada. Según Alsawaftah et al., (2021) la capacidad de un modelo matemático para interpolar valores de concentraciones de polifenoles dentro del rango de datos existentes es crucial para entender las relaciones entre las variables y para predecir con precisión los resultados en situaciones similares. Sin embargo, es importante recalcar que, a pesar de la alta capacidad del modelo para interpolar valores de concentraciones de polifenoles, existen limitaciones y consideraciones importantes a tener en cuenta. En este contexto, Mircioiu et al., (2019) han mencionado que, aunque el coeficiente de correlación es una medida de la fuerza y dirección de la relación entre las variables, no indica causalidad. Es decir, aunque el modelo pueda predecir con precisión las concentraciones de polifenoles, no necesariamente significa que se pueda comprender completamente los mecanismos subyacentes que impulsan esas relaciones. Por otro lado, Ren et al., (2019) manifiestan que la elección del grado del polinomio en el modelo puede influir en su capacidad predictiva y en su aplicabilidad en diferentes contextos. Un modelo de grado 6 puede capturar relaciones complejas entre las





variables, pero también podría ser más propenso a sobreajustarse a los resultados experimentales, lo que podría limitar su capacidad para generalizar a nuevos conjuntos de datos

5. Conclusiones

Se obtuvo un modelo matemático de grado 6 mediante el polinomio de Lagrange, respaldado por un coeficiente de correlación de Pearson de 0,999. El modelo demostró una sólida relación entre la temperatura de extracción y la concentración de polifenoles.

Referencias Bibliográficas

- Alsawaftah, N., Abuwatfa, W., Darwish, N., & Husseini, G. (2021). A Comprehensive Review on Membrane Fouling: Mathematical Modelling, Prediction, Diagnosis, and Mitigation. *Water*, 13(9), 13–27. <https://doi.org/10.3390/W13091327>
- Anila, A., & Farid, M. (2022). Effect of Temperatures on Polyphenols during Extraction. *Applied Sciences*, 12(4), 1–14. <https://doi.org/10.3390/APP12042107>
- Arteaga-Crespo, Y., Radice, M., Bravo-Sanchez, L. R., García-Quintana, Y., & Scalvenzi, L. (2020). Optimisation of ultrasound-assisted extraction of phenolic antioxidants from *Ilex guayusa* Loes. leaves using response surface methodology. *Heliyon*, 6(1), e03043. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03043>
- Bielecka, M., Zielińska, S., Pencakowski, B., Stafiniak, M., Ślusarczyk, S., Prescha, A., & Matkowski, A. (2019). Age-related variation of polyphenol content and expression of phenylpropanoid biosynthetic genes in *Agastache rugosa*. *Industrial Crops and Products*, 141. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2019.111743>
- Dzah, C. S., Duan, Y., Zhang, H., Wen, C., Zhang, J., Chen, G., & Ma, H. (2020). The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review. *Food Bioscience*, 35. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2020.100547>
- Herranz-López, M., Olivares-Vicente, M., Boix-Castejón, M., Caturla, N., Roche, E., & Micol, V. (2019). Differential effects of a combination of *Hibiscus sabdariffa* and *Lippia citriodora* polyphenols in overweight/obese subjects: A randomized controlled trial. *Scientific Reports* 2019 9:1, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39159-5>
- Loachamin-Chano, D. F., Freire-Luna, A. E., & Guerrero-Cuasapaz, D. P. (2021). Análisis técnico-económico de naves industriales mediante interpolación no lineal de Lagrange. *Revista*





- Tecnica, 44(2), 104–117.
<https://go.gale.com/ps/i.do?p=AONE&sw=w&issn=02540770&v=2.1&it=r&id=GALE%7CA659642739&sid=googleScholar&linkaccess=fulltext>
- Luna-Fox, S. B., Álvarez-Castro, R. R., Peñafiel-Bonilla, N. J., Radice, M., Scalvenzi, L., Arteaga-Crespo, Y., López-Hernández, O. D., & Bravo-Sánchez, L. R. (2023). Elaboración de un preparado hidrosoluble en forma de sólido pulverulento a partir de *Ilex guayusa* Loes. *La Técnica*, ISSN 1390-6895, ISSN-e 2477-8982, Vol. 13, No. 1, 2023 (Ejemplar Dedicado a: Enero - Junio), Págs. 47-56, 13(1), 47–56.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9035502&info=resumen&idioma=SPA>
- Machado, A. P. D. F., Sumere, B. R., Mekar, C., Martinez, J., Bezerra, R. M. N., & Rostagno, M. A. (2019). Extraction of polyphenols and antioxidants from pomegranate peel using ultrasound: influence of temperature, frequency and operation mode. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(9). <https://doi.org/10.1111/IJFS.14194>
- Mendoza-Isaza, N. A., Hoyos-Arbeláez, J. A., & Peláez-Jaramillo, C. A. (2020). Capacidad antioxidante y contenido de polifenoles totales de extractos de tallo de *Stevia rebaudiana* en varios modelos in vitro. *Revista EIA*, 17(34), 53–61.
<https://doi.org/10.24050/REIA.V17I34.1282>
- Mircioiu, C., Voicu, V., Anuta, V., Tudose, A., Celia, C., Paolino, D., Fresta, M., Sandulovici, R., & Mircioiu, I. (2019). Mathematical Modeling of Release Kinetics from Supramolecular Drug Delivery Systems. *Pharmaceutics*, 11(3).
<https://doi.org/10.3390/PHARMACEUTICS11030140>
- Núñez, P., Santana, M., Mejía, A., Cabral, C., Arias, J., López-Rodríguez, G., Leocadia Sánchez, Y., Calle, D. :, Augusto, R., N°, S., Morales, E., Domingo, S., & Dominicana, R. (2021). Presencia de residuos de organofosforados y carbamatos en vegetales orientales, La Vega, República Dominicana. *APF*, 10(1), 69–80.
<http://www.sodiasf.org.do/apf/index.php/apf/article/view/124>
- Ordoñez, E. S., Leon-Arevalo, A., Rivera-Rojas, H., & Vargas, E. (2019). Cuantificación de polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara y semilla de cacao (*Theobroma cacao* L.), tuna (*Opuntia ficus indica* Mill), uva (*Vitis Vinífera*) y uvilla (*Pourouma cecropiifolia*). *Scientia Agropecuaria*, 10(2), 175–183.
<https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2019.02.02>
- Oreopoulou, A., Tsimogiannis, D., & Oreopoulou, V. (2019). Extraction of Polyphenols From Aromatic and Medicinal Plants: An Overview of the Methods and the Effect of Extraction Parameters. *Polyphenols in Plants*, 243–259. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813768->





0.00025-6

- Peñañiel-Bonilla, N. J., Luna-Fox, S. B., García-Quintana, Y., & Arteaga-Crespo, Y. (2023). Optimización de la extracción de compuestos fenólicos y actividad antioxidante en hojas de *Annona muricata* L. mediante la metodología de superficie de respuesta. *Código Científico Revista de Investigación*, 4(2), 70–87. <https://doi.org/10.55813/GAEA/CCRI/V4/N2/232>
- Pía-Beker, M., Fernández, O., & Guadalupe-Klich, M. (2020). Seasonal and spatial variations in the concentration of phenols in *Elaeagnus angustifolia* L. *Pastos y Forrajes*, 43(1), 25–29. <https://orcid.org/0000-0001-8848-3307>,
- Ramírez-Azuaje, D., Pinto-Catari, I., & Peraza-Marrero, M. (2019). Comparación de compuestos fenólicos totales en *Hibiscus sabdariffa* L. Venezuela. *Revista Colombiana de Ciencias Químico - Farmacéuticas*, 48(3), 521–527. <https://doi.org/10.15446/RCCIQUIFA.V48N3.84956>
- Ren, J., Cao, J. P., Zhao, X. Y., Yang, F. L., & Wei, X. Y. (2019). Recent advances in syngas production from biomass catalytic gasification: A critical review on reactors, catalysts, catalytic mechanisms and mathematical models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2019.109426>
- Sabermahani, S., Ordokhani, Y., & Yousefi, S. A. (2019). Fractional-order Lagrange polynomials: An application for solving delay fractional optimal control problems. *Sage Journals Home*, 41(11), 2997–3009. <https://doi.org/10.1177/0142331218819048>
- Singh, M., Thrimawithana, T., Shukla, R., & Adhikari, B. (2021). Extraction and characterization of polyphenolic compounds and potassium hydroxycitrate from *Hibiscus sabdariffa*. *Future Foods*, 4, 100087. <https://doi.org/10.1016/J.FUFO.2021.100087>
- Torres-Valenzuela, L. S., Martínez, K. G., Serna-Jimenez, J. A., & Hernández, M. C. (2019). Secado de Pulpa de Café: Condiciones de Proceso, Modelación Matemática y Efecto sobre Propiedades Físicoquímicas. *Información Tecnológica*, 30(2), 189–200. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000200189>

Conflicto de Intereses

Los autores declaran que este estudio no presenta conflictos de intereses y que por tanto, se ha seguido de forma ética los procesos adaptados por esta revista, afirmando que este trabajo no ha sido publicado en otra revista de forma parcial o total.

