

## Polinomio de Newton en la modelación de la extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de *Piper aduncum* L.

Newton's polynomial in modeling ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Piper aduncum* L.

O polinómio de Newton na modelação da extração assistida por ultra-sons de compostos fenólicos de *Piper aduncum* L.

Hidalgo-Sánchez, Mónica Alexandra  
Universidad Estatal Amazónica

[ma.hidalgos@uea.edu.ec](mailto:ma.hidalgos@uea.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0001-4546-9836>



Pérez-Cuesta, Angélica Marina  
Universidad Estatal Amazónica

[am.perezc@uea.edu.ec](mailto:am.perezc@uea.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0004-9384-8111>



Montesdeoca-Eraza, Robinson Vladimir  
Universidad Estatal Amazónica

[rv.montesdeocae@uea.edu.ec](mailto:rv.montesdeocae@uea.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0006-4519-7363>



Luna-Fox, Sting Brayan  
Universidad Estatal Amazónica

[stingfox03@gmail.com](mailto:stingfox03@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-6058-7024>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/nE4/503>

### Como citar:

Hidalgo-Sánchez, M. A., Pérez-Cuesta, A. M., Montesdeoca-Eraza, R. V., & Luna-Fox, S. B. (2024). Polinomio de Newton en la modelación de la extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de *Piper aduncum* L. *Código Científico Revista De Investigación*, 5(E4), 453–465. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/nE4/503>.

**Recibido:** 02/08/2024

**Aceptado:** 08/09/2024

**Publicado:** 30/09/2024

## Resumen

El objetivo de esta investigación fue crear un modelo matemático utilizando el polinomio de Newton, que permita analizar cómo varían las concentraciones de compuestos fenólicos durante la extracción con ultrasonido de *Piper aduncum* L. Los extractos acuosos se prepararon por triplicado en un equipo de baño ultrasónico pesando  $3\pm 0,1$  g de muestra seca junto con 100 mL de agua destilada y 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. Los compuestos fenólicos totales se determinaron utilizando la técnica de Folin-Ciocalteu y estos datos se emplearon para calcular los coeficientes del polinomio de Newton. El modelo predictivo fue validado mediante el cálculo del coeficiente de Pearson. La temperatura de extracción tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento de compuestos fenólicos con valores que variaron entre  $0,17\pm 0,02$  y  $0,69\pm 0,04$  g EAG $\cdot 100\text{g}^{-1}$  ms. El modelo conseguido fue de grado 6 y tuvo un buen ajuste a los datos experimentales con un coeficiente de Pearson de 0,998. El presente estudio destaca la importancia del polinomio de Newton como herramienta para modelar el proceso de extracción de compuestos fenólicos, proporcionando una comprensión detallada del efecto de la temperatura en el rendimiento extracción, lo cual es esencial para mejorar la eficiencia en aplicaciones industriales y científicas.

**Palabras clave:** Folin Ciocalteu, matico, modelación matemática, ultrasonido.

## Abstract

The objective of this research was to create a mathematical model using Newton's polynomial to analyze how the concentrations of phenolic compounds vary during the ultrasound extraction of *Piper aduncum* L. Aqueous extracts were prepared in triplicate in an ultrasonic bath apparatus by weighing  $3\pm 0.1$  g of dry sample along with 100 mL of distilled water and the extraction temperatures were 20, 22.5, 25, 30, 32.5, 35, 40, 42.5, 45, 50, 52.5, 55, 60, 62.5, 65, 70, 72.5, 75 and 80°C. Total phenolic compounds were determined using the Folin-Ciocalteu technique and these data were used to calculate the Newton polynomial coefficients. The predictive model was validated by calculating Pearson's coefficient. The extraction temperature had a positive effect on the yield of phenolic compounds with values ranging from  $0.17\pm 0.02$  to  $0.69\pm 0.04$  g EAG $\cdot 100\text{g}^{-1}$  ms. The model achieved was of grade 6 and had a good fit to the experimental data with a Pearson's coefficient of 0.998. The present study highlights the importance of Newton's polynomial as a tool for modeling the extraction process of phenolic compounds, providing a detailed understanding of the effect of temperature on extraction yield, which is essential for improving efficiency in industrial and scientific applications.

**Keywords:** Folin Ciocalteu, matico, mathematical modeling, ultrasound.

## Resumo

O objetivo desta investigação foi criar um modelo matemático utilizando o polinómio de Newton para analisar a forma como as concentrações de compostos fenólicos variam durante a extração por ultra-sons de *Piper aduncum* L. Os extractos aquosos foram preparados em triplicado num aparelho de banho de ultra-sons, pesando  $3\pm 0,1$  g de amostra seca juntamente com 100 mL de água destilada e as temperaturas de extração foram 20, 22,5, 25, 30, 32,5, 35, 40, 42,5, 45, 50, 52,5, 55, 60, 62,5, 65, 70, 72,5, 75 e 80°C. Os compostos fenólicos totais foram determinados utilizando a técnica de Folin-Ciocalteu e estes dados foram utilizados para calcular os coeficientes polinomiais de Newton. O modelo preditivo foi validado através do cálculo do coeficiente de Pearson. A temperatura de extração teve um efeito positivo no

rendimiento dos compostos fenólicos com valores que variaram entre  $0,17\pm 0,02$  e  $0,69\pm 0,04$  g AGE-100g<sup>-1</sup> ms. O modelo obtido foi de grau 6 e teve um bom ajuste aos dados experimentais com um coeficiente de Pearson de 0,998. O presente estudo realça a importância do polinómio de Newton como ferramenta para modelizar o processo de extração de compostos fenólicos, proporcionando uma compreensão detalhada do efeito da temperatura no rendimento da extração, o que é essencial para melhorar a eficiência em aplicações industriais e científicas.

**Palavras-chave:** Folin Ciocalteu, matico, modelação matemática, ultra-sons.

## Introducción

*Piper aduncum* L., conocido comúnmente como matico, es una planta de notable relevancia tanto en el ámbito tradicional como en el científico debido a sus múltiples aplicaciones medicinales y farmacológicas (Rosillo et al., 2024). Originaria de Perú, esta especie se ha adaptado a diferentes regiones de América Latina, incluyendo las zonas interandinas de Colombia, México, Ecuador, Chile y Bolivia. Crece en una amplia gama de ambientes, desde la costa hasta la selva, a altitudes de hasta 3000 msnm (Barros et al., 2024). Tradicionalmente, se ha valorado por sus propiedades como antiséptico y cicatrizante, y ha sido ampliamente utilizada en la medicina alternativa para tratar heridas, infecciones y diversas afecciones gastrointestinales. Además, estudios previos han indicado que los aceites esenciales de *P. aduncum* poseen potentes propiedades biológicas, entre ellas actividades antibacterianas, citotóxicas, fungistáticas e insecticidas, lo que recalca su potencial para aplicaciones farmacéuticas e industriales (Oliveira et al., 2023; Lima et al., 2024)

Desde el punto de vista químico, *P. aduncum* es recurso abundante en compuestos fenólicos, tales como flavonoides, lignanos, chalconas y derivados del ácido benzoico (Rosillo et al., 2024). Estos compuestos han sido objeto de diversos estudios debido a sus destacadas propiedades antioxidantes y farmacológicas. Los polifenoles funcionan como agentes neutralizadores de radicales libres, lo que les confiere una amplia gama de aplicaciones, desde la prevención de enfermedades crónicas hasta su uso como aditivos en la industria alimentaria. Además, de sus efectos antioxidantes, los polifenoles también han mostrado actividades antimicrobianas, antiinflamatorias, antialérgicas y antineoplásicas, convirtiéndose en compuestos relevantes para los sectores farmacéutico y alimentario (Sahraeian et al., 2024).

En este contexto, la extracción asistida por ultrasonido (EAU) se presenta como una tecnología innovadora y eficiente para la recuperación de compuestos químicos, incluidos los polifenoles, a partir de matrices vegetales. Esta técnica se basa en el uso de ondas ultrasónicas que generan cavitación en el medio, lo que mejora la disolución de los compuestos bioactivos,

reduce los tiempos de extracción y minimiza el uso de solventes (Ozdemir et al., 2024). Además, la EAU es compatible con procesos sostenibles, ya que puede utilizar solventes reconocidos como seguros (GRAS) en lugar de solventes orgánicos tradicionales. En la industria alimentaria y farmacéutica, esta técnica ofrece una alternativa más económica y ecológica frente a los métodos de extracción convencionales, al mismo tiempo que permite mejorar el rendimiento de los compuestos extraídos.

El modelado matemático de los procesos de extracción es fundamental para optimizar las variables operativas involucradas, como la temperatura, el tiempo y la potencia ultrasónica (Luna-Fox et al., 2024). En este sentido, el polinomio de Newton se presenta como una herramienta valiosa para la interpolación de datos experimentales, permitiendo describir de manera precisa la cinética de extracción de compuestos fenólicos a partir de las hojas de *P. aduncum*. A través de la modelación con el polinomio de Newton, es posible prever el comportamiento de los rendimientos de extracción bajo distintas condiciones experimentales, facilitando la optimización de procesos a escala industrial (Almutairi & Saber, 2024).

A pesar de los avances en la tecnología de EAU, la literatura científica actual aún presenta una carencia significativa de estudios enfocados en el modelado matemático y la simulación de la extracción de compuestos fenólicos en *P. aduncum*. Esto muestra la necesidad de investigaciones adicionales que exploren y describan de manera más profunda estos procesos, con el fin de mejorar su aplicabilidad en diferentes industrias. El objetivo de esta investigación fue crear un modelo matemático utilizando el polinomio de Newton, que permita analizar cómo varían las concentraciones de compuestos fenólicos durante la extracción con ultrasonido de *Piper. aduncum* L.

## Metodología

### Preparación de la muestra

Las hojas frescas de *P. aduncum* fueron adquiridas en el mercado local de la ciudad de Puyo, Ecuador, cuyas coordenadas son 1.4837° S y 78.0026° O. Estas hojas se lavaron con agua destilada y se secaron a temperatura ambiente, en condiciones de sombra. Luego, se colocaron en una estufa (Memmert, modelo SFE700) a 40 °C durante 72 horas, y el contenido de humedad se determinó por diferencia de peso utilizando la ecuación 1 (Guo et al., 2023). Este valor se utilizó para expresar la masa inicial de las hojas en base a su materia seca. El material vegetal seco fue molido utilizando un molino (KitchenAid, modelo BCG1110B) con

una frecuencia nominal de 60 Hz, y luego se tamizó para obtener partículas de tamaño inferior a 0,5 mm.

$$\%H = 100 - \frac{ms}{mf} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde: ms, indica la masa seca (g) y mf la masa de la muestra fresca (g).

### Preparación de los extractos acuosos

Se utilizó un equipo de baño ultrasónico (marca Wisd.23, modelo WUC-DO6H) ajustado al 50% de amplitud ultrasónica y 30 minutos de extracción. Para cada experimento, se pesaron  $3 \pm 0,1$  g de muestra seca y molida, y se colocaron en un matraz de vidrio junto con 100 mL de agua desmineralizada. 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. Finalmente, cada extracto se filtró usando papel Whatman No 4 y los análisis siguientes se realizaron de inmediato.

### Determinación de compuestos fenólicos totales (CFT)

Se realizó por el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu según Luna-Fox., et al (2023). Se tomó una muestra de 1000  $\mu$ L de extracto acuoso en un matraz de 10 mL junto con 500  $\mu$ L del reactivo Folin-Ciocalteu y se dejó en reposo durante 10 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente, se añadieron 500  $\mu$ L de carbonato de sodio a una concentración del 20% y el volumen final se completó con agua destilada. Las muestras se dejaron en reposo por 2 h a temperatura ambiente. La absorbancia se registró a 765 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (marca PerkinElmer, modelo AAnalyst 800). Los cálculos se realizaron usando el modelo matemático de la curva de calibrado usando como estándar al ácido gálico (Ecuación 2) y los resultados se expresaron en gramos equivalentes al ácido gálico por cada 100 gramos de materia seca ( $g \text{ EAG} \cdot 100g^{-1} \text{ ms}$ ).

$$A=0.0734C-0.0028 \quad (2)$$

Donde A es la absorbancia de las muestras a 765 nm y C es la concentración de CFT ( $mg \cdot L^{-1}$ ).

### Coefficientes del polinomio de Newton

El polinomio de Newton es un método de interpolación que utiliza un polinomio de grado  $n-1$  para ajustar un conjunto de puntos, donde  $n$  representa la cantidad de puntos. Las concentraciones de CFT obtenidas a las temperaturas de extracción de 20, 30, 40, 50, 60, 70 y 80°C se emplearon para calcular los coeficientes del polinomio de Newton, aplicando el método de diferencias divididas.

Dado un conjunto de puntos:  $(T_0, C_0)$ ,  $(T_1, C_1)$ ,  $(T_2, C_2)$ ,  $(T_n, C_n)$ ; donde T es la temperatura de extracción y C la concentración de CFT, el polinomio de Newton construyó de la siguiente manera:

$$P_n(C) = a_0 + a_1(T - T_0) + a_2(T - T_0)(T - T_1) + \dots + a_n(T - T_0)(T - T_1) \dots (T - T_{n-1})$$

Donde  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$  son los coeficientes calculados mediante las diferencias divididas a partir de los valor de C. En este sentido:

$$\begin{aligned} a_0 &= C_0 \\ a_1 &= f(T_0, T_1) = \frac{C_1 - C_0}{T_1 - T_0} \\ a_2 &= f(T_0, T_1, T_2) = \frac{f(T_1, T_2) - f(T_0, T_1)}{T_2 - T_0} \\ a_n &= f(T_0, T_1, \dots, T_n) = \frac{f(T_1, \dots, T_n) - f(T_0, \dots, T_{n-1})}{T_n - T_0} \end{aligned}$$

### Validación del modelo matemático

La concentración de CFT se midió a diversas temperaturas (22,5, 25, 32,5, 35, 42,5, 45, 52,5, 55, 62,5, 65, 72,5 y 75°C) y los resultados se compararon con los previstos por el modelo matemático. Para validar este modelo, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ), cuyo valor se determinó según la ecuación 3.

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

### Donde:

$x_i$  y  $y_i$  corresponden respectivamente a los valores obtenidos en los experimentos y a los estimados por el modelo matemático.

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

### Análisis de los resultados

Los experimentos se llevaron a cabo en triplicado con el fin de minimizar los errores experimentales. Los resultados se presentaron como valor promedio (Vp)  $\pm$  desviación estándar (DE) a partir de tres mediciones ( $n=3$ ), utilizando para el análisis el software Origin 2021 (Orji et al., 2022).

## Resultados

### Influencia de la temperatura de extracción

La Tabla 1 presenta el contenido de CFT en *P. aduncum*. Los resultados indicaron una variación en la concentración que osciló entre  $0,17 \pm 0,02$  y  $0,69 \pm 0,04$  g EAG/100g ms. Además, se observó que la temperatura tuvo un efecto proporcional sobre la concentración de

CFT, como se ilustra en la Figura 1. Este efecto positivo indicó que a medida que aumenta la temperatura, la concentración de CFT en las hojas de *P. aduncum* también tiende a aumentar, lo que podría tener implicaciones para mejorar el proceso de extracción y conservación de estos compuestos bioactivos.

**Tabla 1.**

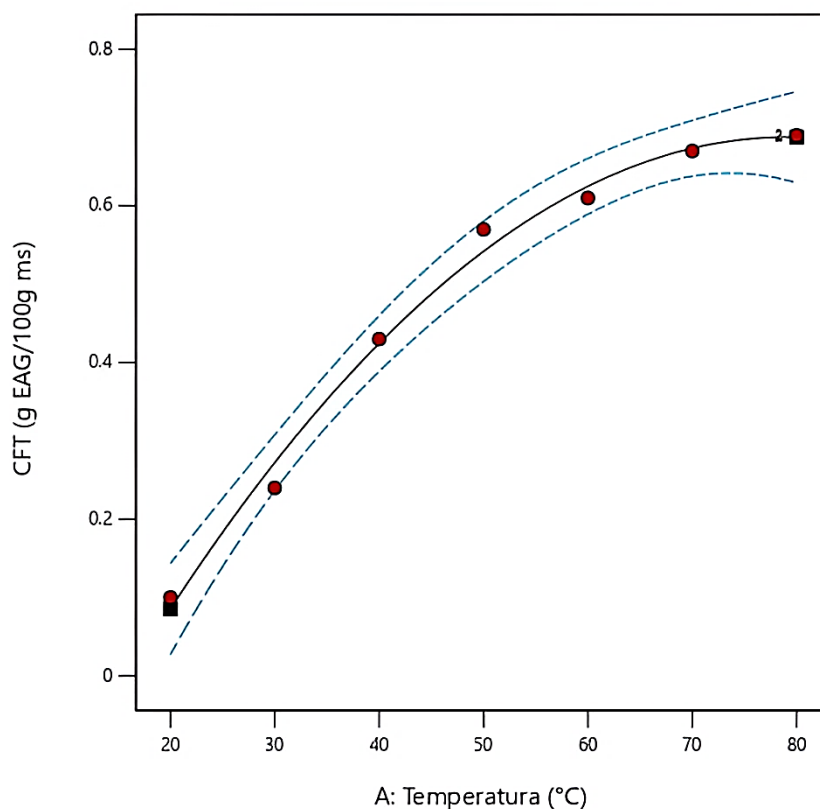
*Concentración de CFT en hojas secas de P. aduncum*

Temperatura (°C)	Compuestos fenólicos totales (g EAG·100g <sup>-1</sup> ms)
20	0,17±0,02
30	0,24±0,10
40	0,43±0,01
50	0,57±0,08
60	0,61±0,07
70	0,67±0,03
80	0,69±0,04

Nota: Autores (2024).

**Figura 1.**

*Efecto de la temperatura sobre el contenido de CFT.*



Nota: Autores (2024).

**Modelo matemático**

La ecuación obtenida que utilizó el polinomio de Newton resultó ser de grado 6, lo que indicó un ajuste preciso a los datos experimentales. Este polinomio capturó no solo las tendencias generales de la relación entre las variables, sino también las fluctuaciones presentes en los datos. La complejidad del modelo resalta la precisión necesaria para representar adecuadamente las variaciones en la concentración de CFT de *P. aduncum* a lo largo del intervalo de temperatura de 20 a 80 °C. El modelo matemático se presenta a continuación:

$$P(T) = -\frac{1}{180000000} \cdot T^6 + \frac{37}{240000000} \cdot T^5 - \frac{301}{18000000} \cdot T^4 + \frac{713}{800000} \cdot T^3 - \frac{4333}{180000} \cdot T^2 + \frac{379}{1200} \cdot T - \frac{143}{100}$$

**Validación del modelo matemático**

Los resultados experimentales alcanzados en este estudio, junto con aquellos predichos por el modelo de interpolación propuesto, se presentan de manera comparativa en la Tabla 2 y Figura 2. La concordancia entre ambos conjuntos de datos fue evaluada mediante el cálculo del coeficiente de Pearson, el cual arrojó un valor de 0,998, evidenciando una buena correlación entre los datos experimentales y los resultados predichos por el modelo matemático

**Tabla 2.**

*Resultados experimentales y predichos de CFT*

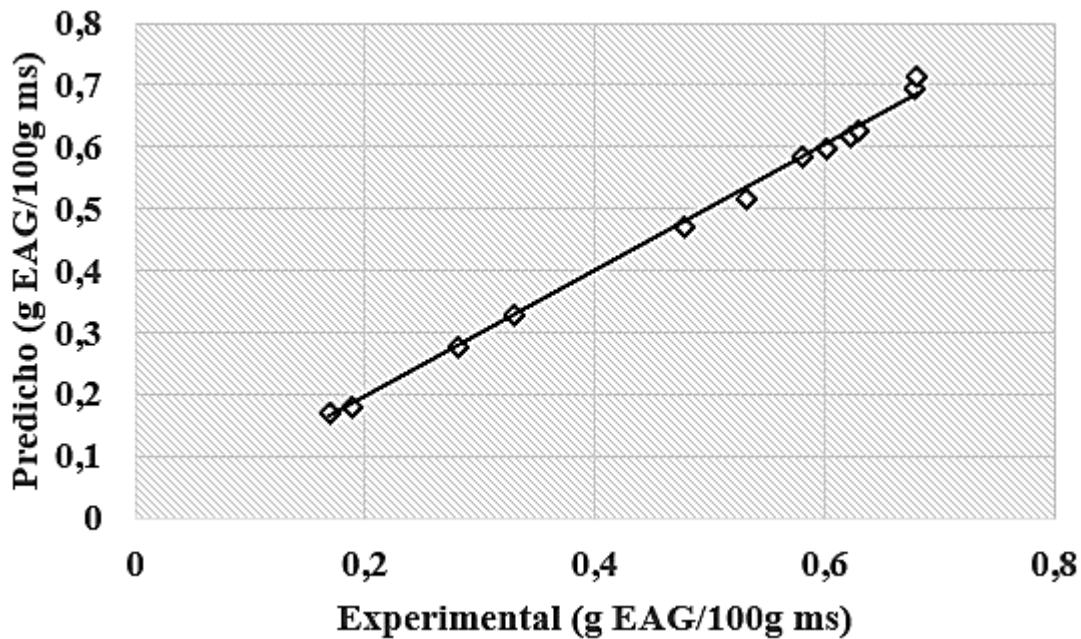
Temperatura (°C)	Valores experimentales (g EAG/100 g ms)	Valores predichos (g EAG/100 g ms)
22,5	0,169±0,01	0,173
25	0,188±0,01	0,184
32,5	0,279±0,03	0,282
35	0,328±0,02	0,330
42,5	0,477±0,01	0,475
45	0,530±0,03	0,515
52,5	0,578±0,03	0,586
55	0,599±0,02	0,597
62,5	0,621±0,04	0,618
65	0,628±0,03	0,630
72,5	0,677±0,01	0,694
75	0,680±0,01	0,714

*Nota:* Autores (2024).



Figura 2.

Correlación del contenido de CFT



Nota: Autores (2024).

## Discusión

La concentración de CFT presente en hojas de *P. aduncum* ha sido previamente documentado en la literatura. En la investigación de Herrera-Calderon et al. (2019) reportaron valores de  $1,9 \pm 0,08$  g EAG/100 g ms en extractos preparados con metanol. Por otro lado, Luna-Fox et al. (2024) encontraron en extractos acuosos concentraciones de CFT que variaron entre 0,06 y 0,07 g EAG/100 g ms. Jean et al. (2024) informaron valores entre 0,17 y 0,35 g EAG/100 g ms en extractos acuosos. Los resultados mencionados previamente, difieren de los encontrados en esta investigación ( $0,17 \pm 0,02$  -  $0,69 \pm 0,04$  g EAG/100g ms). Esta variabilidad puede deberse a diversos factores que afectan la concentración de CFT en las hojas de *P. aduncum*. En este contexto, varios autores (Pogorzelska-Nowicka et al., 2024; Shupletsova et al., 2024; Zhor et al., 2023; Mattera et al., 2024) han señalado que la composición de los compuestos bioactivos en las plantas está influenciada por múltiples factores, tales como las técnicas de extracción empleadas, disolvente utilizado, las condiciones del suelo, edad de la planta y condiciones climáticas. De hecho, Santillán y Quintana, (2020) demostraron en su investigación realizada en el distrito de Levanto, en la Amazonía peruana, que el contenido de CFT en hojas de *P. aduncum* varía con la altitud, observándose una disminución en la concentración de CFT a mayores altitudes. Además, el mismo estudio reportó que los extractos

obtenidos con agua presentaron un mayor rendimiento en la extracción de CFT en comparación con los extractos preparados con alcohol, lo que señala la importancia del disolvente en la eficiencia del proceso de extracción.

La concentración de CFT mostró un aumento proporcional con el incremento de la temperatura de extracción. Este resultado es coherente con lo reportado por Antony and Farid (2022) y Chmelová et al. (2020), quienes señalaron que en diversas especies vegetales, la concentración de CFT tiende a incrementarse con el aumento de temperatura. Este comportamiento puede explicarse por el hecho de que temperaturas más altas promueven una mayor desestabilización de las paredes celulares y estructuras vegetales, lo que favorece la liberación de compuestos bioactivos al medio de extracción. A su vez, el aumento de la temperatura también puede mejorar la solubilidad de los compuestos fenólicos en el disolvente, incrementando la eficiencia del proceso extractivo. No obstante, es importante tener en cuenta que, aunque temperaturas más elevadas favorecen la liberación de CFT, también existe un límite a partir del cual el calor excesivo podría conducir a la degradación de algunos compuestos sensibles al calor. En este sentido, Hobbi et al. (2021) indicaron que este efecto varía dependiendo de la naturaleza química de los compuestos bioactivos y del tipo de planta estudiada. Por lo tanto, determinar una temperatura óptima de extracción es crucial para maximizar el rendimiento sin comprometer la calidad de los compuestos extraídos.

En este estudio, se desarrolló un modelo matemático de grado 6 fundamentado en el polinomio de Newton para predecir la concentración de CFT en las hojas de *P. aduncum* en un intervalo comprendido entre 20 y 80 °C. Este enfoque polinómico ha demostrado ser altamente efectivo, con un coeficiente de Pearson ( $r$ ) de 0,998, lo que muestra un buen ajuste a los datos experimentales. La alta precisión del modelo propone que el polinomio de Newton es capaz de capturar de manera efectiva la variabilidad en la concentración de CFT en respuesta a cambios en la temperatura, proporcionando una herramienta valiosa para la predicción y optimización en procesos de extracción. En un estudio reciente también utilizaron un polinomio de interpolación para modelar la concentración de CFT en flores secas de *Hibiscus sabdariffa*. Los resultados mostraron un buen ajuste a los datos experimentales, con un valor “ $r$ ” superior a 0,99 (Luna-Fox, et al., 2024). Este hallazgo resalta la robustez y la versatilidad del polinomio de interpolación en el modelado de compuestos fenólicos en distintas matrices vegetales. Estos resultados también abren la puerta a futuras investigaciones que podrían explorar la aplicación de modelos polinómicos en otras especies vegetales y en diferentes condiciones experimentales, ampliando el alcance de esta metodología en el campo de la química de

productos naturales y la biotecnología. La combinación de modelos matemáticos avanzados y técnicas experimentales robustas representa un enfoque prometedor para avanzar en la comprensión y optimización de la extracción de compuestos fenólicos y otros metabolitos secundarios.

## Conclusión

Se desarrolló un modelo matemático de grado 6 basado en el polinomio de Newton. El modelo presentó un buen ajuste a los datos experimentales respaldado por un coeficiente de Pearson de 0,998, lo que confirmó su precisión y fiabilidad en la predicción de CFT presentes en hojas *P. aduncum*.

La temperatura de extracción tuvo un efecto positivo en la extracción asistida por ultrasonido de CFT. Los resultados más óptimos se alcanzaron a una temperatura de 80 °C donde se logró maximizar la extracción, indicando que este parámetro es determinante para optimizar no solo el rendimiento, sino también la calidad de los extractos obtenidos.

## Referencias bibliográficas

- Almutairi, N., & Saber, S. (2024). Application of a time-fractal fractional derivative with a power-law kernel to the Burke-Shaw system based on Newton's interpolation polynomials. *MethodsX*, 12, 1–17. <https://doi.org/10.1016/J.MEX.2023.102510>
- Antony, A., & Farid, M. (2022). Effect of Temperatures on Polyphenols during Extraction. *Applied Sciences*, 12(4), 21. <https://doi.org/10.3390/APP12042107>
- Barros, A. M. C., Pinto, A. C. S., Simplicio, F. G., Chaves, F. C. M., Franco, A. M. R., & Lima, E. S. (2024). Antileishmanial activity of a dillapiole derivative obtained from *Piper aduncum* L. (Piperaceae). *Brazilian Journal of Biology*, 84, 1–11. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.282198>
- Chmelová, D., Škulcová, D., Legerská, B., Horník, M., & Ondrejovič, M. (2020). Ultrasonic-assisted extraction of polyphenols and antioxidants from *Picea abies* bark. *Journal of Biotechnology*, 31, 25–33. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOTECH.2020.04.003>
- Guo, Z., Zhang, J., Ma, C., Yin, X., Guo, Y., Sun, X., & Jin, C. (2023). Application of visible-near-infrared hyperspectral imaging technology coupled with wavelength selection algorithm for rapid determination of moisture content of soybean seeds. *Journal of Food Composition and Analysis*, 116(4). <https://doi.org/10.1016/J.JFCA.2022.105048>
- Herrera-Calderon, O., Chacaltana-Ra. (2019). Antioxidant and Cytoprotective Effect of *Piper aduncum* L. against Sodium Fluoride (NaF)-Induced Toxicity in Albino Mice. *Toxics*. Vol. 7, no. 2, p. 28. DOI 10.3390/TOXICS7020028.
- Hobbi, P., Okoro, O., Delporte, C., Alimoradi, H., Podstawczyk, D., Nie, L., Bernaerts, K. V., & Shavandi, A. (2021). Kinetic modelling of the solid–liquid extraction process of polyphenolic compounds from apple pomace: influence of solvent composition and

- temperature. *Bioresources and Bioprocessing*, 8(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/S40643-021-00465-4/TABLES/5>
- Jean, M., Diaz-Gonzales, P., Paredes López, D. M., Alcides, R., Huaynate, R., Vanessa, C., & Santiago, A. (2024). Niveles de polifenoles y flavonoides de hojas de matico, sobre parámetros fisiológicos sanguíneos de pollos parrilleros. *RevIA*, 14(17), 3–12. <https://doi.org/10.69507/REVIA.1.14.17.300>
- Lima, C. H. M., Camara, C. A. G., Monteiro, V. B., Santos, M. F., Pontes, W. J. T., Moraes, M. M., & Rodrigues, L. V. B. (2024). Bioactivity of Piper aduncum and Piper marginatum essential oils on *Planococcus citri* (RISSO, 1813) (Hemiptera: Pseudococcidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 4(7), 1–10. <https://doi.org/10.1007/S42690-024-01335-0/METRICS>
- Luna-Fox, S. B. (2024). Kinetic study of solid-liquid extraction of caffeine in *Ilex guayusa* Loes. Estudio cinético de la extracción sólido-líquido de cafeína en *Ilex guayusa* Loes. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 41(3), 1–7. <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/42581>
- Luna-Fox, S. B., González-Linares, K. E., Ortega Torres, J. A., Rodríguez-Almeida, N. N., Dahua-Gualinga, R. D., Peñafiel-Bonilla, N. J., & Bravo-Sánchez, L. R. (2024). Efecto de la temperatura de secado sobre los compuestos polifenólicos y actividad antioxidante de las hojas de *Piper aduncum* L. *La Técnica*, 14(1), 20–28. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/latecnica/article/view/6034/8239>
- Luna-Fox, S. B., Uvidia-Armijo, J. H., Estrada-Brito, N. A., & Uvidia-Armijo, L. A. (2024). Modelación matemática de concentraciones de compuestos fenólicos en *Hibiscus sabdariffa* mediante el polinomio de Lagrange. Un análisis comparativo con datos experimentales. *Revista Social Fronteriza*, 4(2), 1–13. [https://doi.org/10.59814/RESOFRO.2024.4\(2\)213](https://doi.org/10.59814/RESOFRO.2024.4(2)213)
- Mattera, M. G., Gonzalez-Polo, M., Peri, P. L., & Moreno, D. A. (2024). Intraspecific variation in leaf (poly)phenolic content of a southern hemisphere beech (*Nothofagus antarctica*) growing under different environmental conditions. *Scientific Reports*, 14(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69939-7>
- Oliveira, R. V., de Sousa, A. H., Tamwing, G. da S., Mota, B. B., & da Silva, M. C. (2023). Toxicity and synergism of the essential oil of *Piper aduncum* L. in populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Pesquisa Agropecuaria Tropical*, 53, 1–8. <https://doi.org/10.1590/1983-40632023v5376287>
- Orji, E. I., Ugwu, A. C., Ugwuanyi, C. M., Cyril, M., Uwakwe, C., Elejere, U. C., Omeke, N. E., & Ugwuanyi, C. S. (2022). *Reducing Errors In Slope In Physics Graphs Using Origin Lab Software*. 19(3), 115. <http://www.webology.org>
- Ozdemir, M., Gungor, V., Melikoglu, M., & Aydiner, C. (2024). Solvent selection and effect of extraction conditions on ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from galangal (*Alpinia officinarum*). *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 38, 23–34. <https://doi.org/10.1016/J.JARMAP.2023.100525>
- Pogorzelska-Nowicka, E., Hanula, M., & Pogorzelski, G. (2024). Extraction of polyphenols and essential oils from herbs with green extraction methods – An insightful review. *Food Chemistry*, 460, 140–456. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2024.140456>

- Rosillo, F. F., Quiñones-Huatangari, L., Ojeda-Gaona, T. S., Del Pilar, D., Montero, A., Jeimis, R., Meza, Y., Milagros, E., Barrios, C., & Mera, A. H. (2024). Rendimiento de extracción por hidrodestilación del aceite esencial de *Piper aduncum* L. (matico) mediante un modelo cinético. *Revista Científica Dékamu Agropec*, 5(1), 33–44. <https://doi.org/10.55996/DEKAMUAGROPEC.V5I1.208>
- Sahraeian, S., Rashidinejad, A., & Golmakani, M. T. (2024). Recent advances in the conjugation approaches for enhancing the bioavailability of polyphenols. *Food Hydrocolloids*, 146, 1–17. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2023.109221>
- Santillán, G. A., & Quintana, S. G. C. (2020). Actividad antioxidante y polifenoles de extractos de *Piper* sp. “matico” recolectados en el distrito de Levanto, Amazonas. *Revista Científica Dékamu Agropec*, 1(2), 16–25. <https://doi.org/10.55996/DEKAMUAGROPEC.V1I2.33>
- Shupletsova, O. N., Tovstik, E. V., & Shchennikova, I. N. (2024). Reaction of Barley Varieties on the Content of Polyphenols on Stress Soil Backgrounds. *Russian Agricultural Sciences*, 50(1), 15–21. <https://doi.org/10.3103/S1068367424010142>
- Zhor, C., Wafaa, L., Ghzaïel, I., Kessas, K., Zarrouk, A., Ksila, M., Ghraïri, T., Latruffe, N., Masmoudi-Kouki, O., El Midaoui, A., Vervandier-Fasseur, D., Hammami, M., Lizard, G., Vejux, A., & Kharoubi, O. (2023). Effects of polyphenols and their metabolites on age-related diseases. *Biochemical Pharmacology*, 214, 23–34. <https://doi.org/10.1016/J.BCP.2023.115674>