

Influencia del ultrasonido en la extracción de compuestos bioactivos de *Piper aduncum* L.

Influence of ultrasound on the extraction of bioactive compounds from *Piper aduncum* L.

Influência dos ultra-sons na extração de compostos bioativos de *Piper aduncum* L.

Hidalgo-Sánchez, Mónica Alexandra
Universidad Estatal Amazónica
ma.hidalgos@uea.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-4546-9836>



Pérez-Cuesta, Angélica Marina
Universidad Estatal Amazónica
am.perezc@uea.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0004-9384-8111>



Montesdeoca-Eraza, Robinson Vladimir
Universidad Estatal Amazónica
rv.montesdeocae@uea.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-4519-7363>



Casigña-Guamán, Natali Silvana
Universidad Estatal Amazónica
ns.casignaguaman@uea.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-6091-4945>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/nE1/815>

Como citar:

Hidalgo-Sánchez, M. A., Pérez-Cuesta, A. M., Montesdeoca-Eraza, R. V., & Casigña-Guamán, N. S. (2025). Influencia del ultrasonido en la extracción de compuestos bioactivos de *Piper aduncum* L. *Código Científico Revista De Investigación*, 6(E1), 2273–2288. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/nE1/815>

Recibido: 22/02/2025

Aceptado: 21/03/2025

Publicado: 31/03/2025

Resumen

Este estudio evaluó la eficiencia de la extracción de polifenoles totales de *Piper aduncum* L. mediante dos métodos: extracción convencional sin asistencia de ultrasonido y extracción asistida por ultrasonido. Los resultados mostraron que la concentración de polifenoles totales varió entre $0,15 \pm 0,02$ y $0,85 \pm 0,02$ g EAG/100 g ms en las extracciones sin ultrasonido, mientras que, con asistencia de ultrasonido, el rango fue significativamente mayor, entre $0,45 \pm 0,03$ y $2,10 \pm 0,09$ g EAG/100 g ms. Este incremento se atribuye a la capacidad del ultrasonido para generar cavitación, lo que facilita la ruptura de las paredes celulares y mejora la liberación de compuestos fenólicos. Además, se observó que el tiempo de extracción tuvo un efecto positivo, con mayores rendimientos a medida que se aumentó el tiempo de contacto entre el disolvente y la muestra. El análisis estadístico confirmó que tanto el método de extracción como el tiempo fueron factores significativos ($p < 0,05$), destacando la superioridad del ultrasonido en la eficiencia del proceso. Estos hallazgos respaldan el uso del ultrasonido como una técnica eficiente y sostenible para la extracción de compuestos bioactivos en especies vegetales, resaltando el potencial de *P. aduncum* como fuente de polifenoles para aplicaciones farmacéuticas, alimentarias y cosméticas.

Palabras clave: Folin-Ciocalteu, matico, polifenoles totales

Abstract

This study evaluated the extraction efficiency of total polyphenols from *Piper aduncum* L. by two methods: conventional extraction without ultrasound assistance and ultrasound-assisted extraction. The results showed that the concentration of total polyphenols ranged from 0.15 ± 0.02 to 0.85 ± 0.02 g EAG/100 g ms in the extractions without ultrasound, whereas, with ultrasound assistance, the range was significantly higher, between 0.45 ± 0.03 and 2.10 ± 0.09 g EAG/100 g ms. This increase is attributed to the ability of ultrasound to generate cavitation, which facilitates the rupture of cell walls and enhances the release of phenolic compounds. In addition, extraction time was observed to have a positive effect, with higher yields as the solvent-sample contact time increased. Statistical analysis confirmed that both extraction method and time were significant factors ($p < 0.05$), highlighting the superiority of ultrasound in process efficiency. These findings support the use of ultrasound as an efficient and sustainable technique for the extraction of bioactive compounds in plant species, highlighting the potential of *P. aduncum* as a source of polyphenols for pharmaceutical, food and cosmetic applications.

Keywords: Folin-Ciocalteu, matico, total polyphenols.

Resumo

Este estudo avaliou a eficiência da extração de polifenóis totais de *Piper aduncum* L. utilizando dois métodos: extração convencional sem assistência de ultra-sons e extração assistida por ultra-sons. Os resultados mostraram que a concentração de polifenóis totais variou de $0,15 \pm 0,02$ a $0,85 \pm 0,02$ g AGE/100 g ms nas extrações sem ultrassom, enquanto que, com assistência de ultrassom, a faixa foi significativamente maior, entre $0,45 \pm 0,03$ e $2,10 \pm 0,09$ g AGE/100 g ms. Este aumento é atribuído à capacidade do ultrassom de gerar cavitação, o que facilita a ruptura das paredes celulares e aumenta a liberação de compostos fenólicos. Além disso, observou-se que o tempo de extração teve um efeito positivo, com rendimentos mais elevados à medida que o tempo de contacto entre o solvente e a amostra aumentava. A análise estatística confirmou que tanto o método de extração como o tempo foram factores significativos ($p < 0,05$), destacando a superioridade dos ultra-sons na eficiência do processo. Estes resultados suportam o uso de ultra-sons como uma técnica eficiente e sustentável para a extração de compostos bioactivos de espécies vegetais, destacando o potencial de *P. aduncum* como fonte de polifenóis para aplicações farmacéuticas, alimentares e cosméticas.

Palavras-chave: Folin-Ciocalteu, matico, polifenóis totais.

Introducción

En un mundo donde la demanda de compuestos bioactivos de origen natural crece exponencialmente, la búsqueda de métodos de extracción eficientes, sostenibles y escalables se ha convertido en un desafío científico y tecnológico de primer orden. La industria farmacéutica, alimentaria y cosmética depende en gran medida de estos compuestos, que no solo ofrecen beneficios para la salud, sino que también representan una alternativa verde frente a los productos sintéticos (Jha & Sit, 2021). En este escenario, *Piper aduncum* L., una planta tropical perteneciente a la familia Piperaceae, emerge como una fuente prometedora de metabolitos secundarios con propiedades bioactivas únicas. Sin embargo, la explotación eficiente de su potencial requiere superar las limitaciones de los métodos de extracción tradicionales, lo que ha llevado a la adopción de tecnologías innovadoras como el ultrasonido (Fernández-Rosillo et al., 2024).

P. aduncum, conocida comúnmente como matico, ha sido utilizada durante siglos en la medicina tradicional de América Latina para tratar una amplia gama de afecciones, desde infecciones hasta problemas digestivos (Morais et al., 2023). Esta planta es rica en compuestos bioactivos como flavonoides, alcaloides y fenilpropanoides, entre los que destaca el dillapiol, un compuesto con actividad insecticida y antimicrobiana ampliamente documentada (Luna et al., 2024). Sin embargo, la extracción eficiente de estos compuestos es un reto complejo, ya que los métodos convencionales, como la maceración o la extracción Soxhlet, suelen ser ineficientes, consumen grandes cantidades de solventes y pueden degradar los compuestos termolábiles (Lefebvre et al., 2020). Aquí es donde el ultrasonido, una tecnología basada en el fenómeno de cavitación acústica, se presenta como una solución revolucionaria.

El ultrasonido ha transformado el panorama de la extracción de compuestos bioactivos, ofreciendo una combinación única de eficiencia, rapidez y sostenibilidad. Esta técnica aprovecha las ondas de sonido de alta frecuencia para generar microburbujas en el solvente, las cuales colapsan y liberan energía, rompiendo las paredes celulares de la matriz vegetal y facilitando la liberación de los compuestos de interés (Oroian et al., 2020). Estudios recientes han demostrado que el ultrasonido puede aumentar los rendimientos de extracción en un 20-50% en comparación con métodos tradicionales, dependiendo de la especie vegetal y las condiciones de operación (Shen et al., 2023). En el caso de *P. aduncum*, investigaciones preliminares han reportado incrementos del 35% en la extracción de dillapiol cuando se utiliza ultrasonido a una frecuencia de 40 kHz y una potencia de 200 W (Efdi et al., 2023). Estos datos no solo resaltan la eficacia de la técnica, sino que también abren nuevas posibilidades para la explotación sostenible de recursos vegetales.

Pero el impacto del ultrasonido va más allá de los rendimientos. Esta tecnología reduce drásticamente el tiempo de extracción, pasando de horas o incluso días en métodos convencionales a menos de 30 minutos en muchos casos (Oroian et al., 2020). Además, el consumo de solventes puede disminuir hasta en un 50%, lo que no solo reduce costos, sino que también minimiza el impacto ambiental (Chemat et al., 2022). En un mundo donde la sostenibilidad es una prioridad, estas ventajas posicionan al ultrasonido como una herramienta clave para la industria de los productos naturales. Sin embargo, su implementación no está exenta de desafíos, y es aquí donde la investigación científica juega un papel crucial.

Uno de los principales retos es la optimización de los parámetros de operación. La eficiencia del ultrasonido depende de factores como la frecuencia, la potencia, el tiempo de extracción y la relación sólido-líquido, los cuales deben ajustarse cuidadosamente para maximizar los rendimientos sin comprometer la calidad de los compuestos extraídos (Borrás-Enríquez et al., 2021). Por ejemplo, un estudio reciente demostró que el rendimiento de

extracción de flavonoides de *P. aduncum* aumentó en un 25% al incrementar la potencia de ultrasonido de 150 W a 250 W, pero disminuyó al superar este umbral debido a la degradación térmica de los compuestos (Silva et al., 2020). Estos hallazgos subrayan la importancia de realizar estudios sistemáticos para determinar las condiciones óptimas de extracción, un aspecto que este trabajo busca abordar de manera rigurosa.

Otro desafío significativo es la escalabilidad de la técnica. Aunque el ultrasonido ha demostrado ser altamente eficiente a escala de laboratorio, su implementación a nivel industrial requiere superar obstáculos técnicos y económicos (Carhuamaca-Garcia & Javier Orihuela, 2024). La inversión inicial en equipos de ultrasonido de alta potencia puede ser considerable, y es necesario garantizar la reproducibilidad y consistencia del proceso a gran escala (Chemat et al., 2022). No obstante, el creciente interés en tecnologías verdes y la demanda de productos naturales han impulsado el desarrollo de equipos más eficientes y accesibles, lo que podría facilitar la adopción de esta técnica en el futuro cercano.

Además de los aspectos técnicos, es fundamental comprender el impacto del ultrasonido en la composición química de los extractos obtenidos. Estudios recientes han demostrado que esta técnica no solo aumenta los rendimientos, sino que también puede modificar el perfil de metabolitos secundarios, favoreciendo la extracción de compuestos específicos (Tiwari, 2019). En el caso de *P. aduncum*, esto podría traducirse en una mayor concentración de compuestos bioactivos clave, como el dillapiol o los flavonoides, lo que aumentaría el valor agregado de los extractos. Sin embargo, también existe el riesgo de degradación térmica de ciertos compuestos, lo que requiere un control riguroso de las condiciones de operación. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo comparar la eficiencia de la extracción de compuestos bioactivos de *Piper aduncum* L. utilizando dos métodos: extracción asistida por ultrasonido y extracción convencional sin asistencia de ultrasonido.

Metodología

Las hojas de *P. aduncum* se obtuvieron en la localidad de Puyo, específicamente en la zona de El Paico, situada en la región amazónica de la provincia de Pastaza, Ecuador. Las coordenadas geográficas del lugar de recolección son 1°29'49.5"S 77°58'32.8"W. Antes de realizar los análisis, las hojas se lavaron con agua destilada y se dejaron secar a temperatura ambiente. Luego, se sometieron a un proceso de secado en una estufa a 40°C durante 72 horas. El contenido de humedad se calculó mediante la diferencia de peso antes y después del secado. Este valor de humedad se empleó para expresar la cantidad de materia prima inicial en términos de materia seca. Las hojas secas se molieron y se almacenaron en fundas ziploc hasta su posterior análisis.

Extracción de polifenoles totales

Se llevaron a cabo extracciones a una temperatura de 60°C, evaluando siete intervalos de tiempo (10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70 min). Estas extracciones se realizaron con asistencia y ausencia de ultrasonidos, manteniendo las mismas condiciones experimentales en ambos casos. Para cada prueba, se pesaron 3±1 g de hojas secas y trituradas de *P. aduncum*, las cuales se colocaron en un recipiente de vidrio junto con 100 mL de agua destilada. Los recipientes se introdujeron en un baño de ultrasonido, siguiendo las condiciones previamente establecidas. Una vez finalizada la extracción, los extractos se filtraron utilizando papel de filtro Whatman de membrana de 47 mm y poro de 0.45 µm, procediéndose de inmediato a los análisis correspondientes.

Cuantificación de polifenoles totales

Se empleó el método colorimétrico utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu, siguiendo el protocolo establecido por Luna-Fox et al. (2023). Para ello, se mezcló 1 mL del extracto acuoso con 0,5 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu, previamente diluido al 50% en agua destilada. La mezcla se mantuvo en reposo durante 10 minutos a temperatura ambiente.

Posteriormente, se añadió 0,5 mL de una disolución de carbonato de sodio al 20%, y el volumen total se ajustó a 10 mL con agua destilada. Las muestras se protegieron de la luz y se dejaron reposar durante 2 horas. Finalmente, se midió la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro UV-Vis, y los resultados se calcularon utilizando la curva de calibración preparada con ácido gálico (Ecuación 1). Los valores obtenidos se expresaron en gramos equivalentes de ácido gálico por 100 gramos de materia seca (gEAG/100 g ms).

$$A = 0,0734C - 0,0028 \quad (1)$$

Donde A representa las absorbancias de las muestras y C la concentración de polifenoles totales (mg/L).

Análisis estadístico

Los resultados de polifenoles totales se presentaron como valores medios \pm desviación estándar, considerando tres repeticiones ($n=3$). Para evaluar el efecto de las extracciones realizadas con y sin asistencia de ultrasonido, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, seguido de la prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95%. Este análisis estadístico permitió identificar diferencias significativas entre los tratamientos. Para llevar a cabo estos cálculos, se utilizó el software Origin, versión 2022.

Resultados

El análisis de varianza (Tabla 1) reveló que el método empelado y el tiempo de extracción tuvieron un efecto estadísticamente significativo ($p < 0,05$) en la concentración de polifenoles totales. El método de extracción (con asistencia de ultrasonido vs. sin asistencia de ultrasonido) mostró un efecto altamente significativo, con un valor de F de Fisher de 210,839 y un p-valor igual a $3,87007 \cdot 10^{-16}$. Este p-valor indica que las diferencias observadas entre los dos métodos no son debidas al azar, sino que el uso de ultrasonido tiene un impacto significativo en la eficiencia de la extracción de polifenoles. Por otro lado, el tiempo de

extracción también demostró ser un factor significativo, con un valor de F de Fisher de 33,313 y un p-valor situado en $7,3643 \cdot 10^{-13}$. Este p-valor, muy por debajo del umbral de significancia ($\alpha = 0,05$), sugiere que la duración del proceso de extracción influye de manera importante en la cantidad de polifenoles obtenidos.

Tabla 1.

ANOVA para el método y tiempo de extracción de polifenoles totales

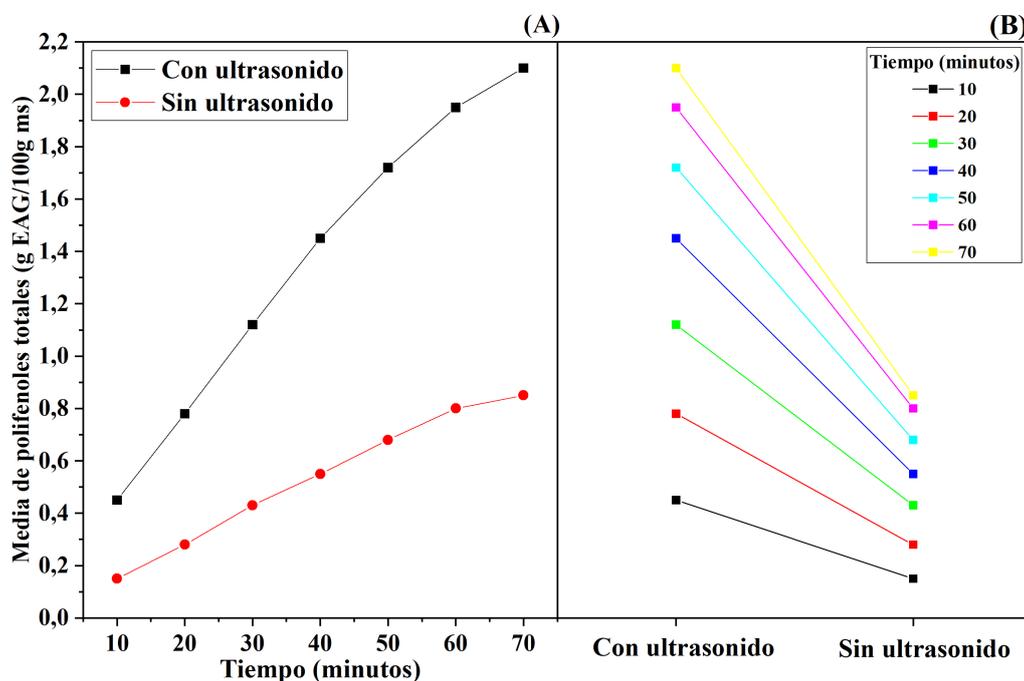
	gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F Valor	P Valor
Método	1	7,28334	7,28334	210,839	3,87007E-16
Tiempo	6	6,90463	1,15077	33,31269	7,3643E-13
Modelo	7	14,18796	2,02685	58,67359	3,95043E-17
Error	34	1,17451	0,03454		
Total corregido	41	15,36248			

Nota: Autores (2025).

La Figura 1A muestra que el tiempo de extracción tuvo un efecto positivo en la concentración de polifenoles totales. A medida que el tiempo de extracción aumentó desde 10 hasta 70 minutos, se observó un incremento gradual en la cantidad de polifenoles extraídos. Esto indica que un mayor tiempo de extracción permite una mayor liberación y recuperación de estos compuestos. La tendencia ascendente en la curva indica que, dentro del rango evaluado, el tiempo es un factor crítico para optimizar la extracción de polifenoles. La Figura 1B compara la eficiencia de la extracción con y sin asistencia de ultrasonido. Se observa que la extracción asistida por ultrasonido resultó en una mayor concentración de polifenoles totales en comparación con el método tradicional sin ultrasonido. Esta diferencia es evidente en todos los tiempos de extracción evaluados, lo que resalta la ventaja del ultrasonido para mejorar la eficiencia del proceso. El ultrasonido probablemente facilita la ruptura de las matrices vegetales, permitiendo una mayor liberación de polifenoles en menos tiempo o con mayor rendimiento.

Figura 1.

Efecto del tiempo de extracción (A) y la asistencia de ultrasonido en la concentración de polifenoles totales.

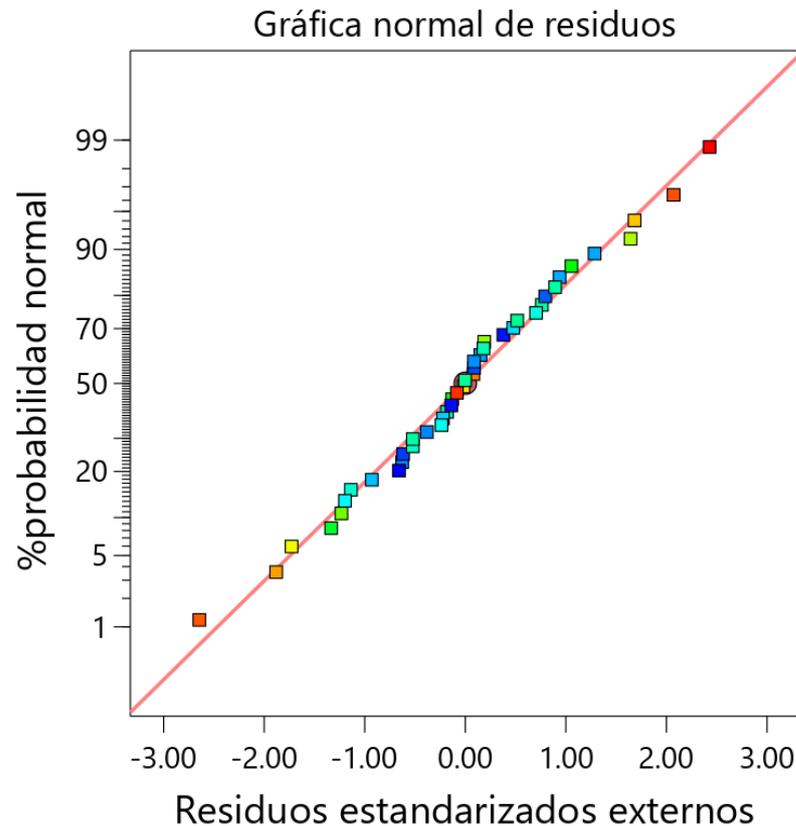


Nota: Autores (2025).

La concentración de polifenoles totales varió entre $0,15 \pm 0,02$ y $0,85 \pm 0,02$ g EAG/100 g ms en las extracciones sin asistencia de ultrasonido, mientras que, con asistencia de ultrasonido, el rango fue significativamente mayor, entre $0,45 \pm 0,03$ y $2,10 \pm 0,09$ g EAG/100 g ms. La gráfica de probabilidad normal de los residuos estandarizados externos (Figura 2) mostró que los datos siguieron una distribución normal, ya que los puntos se alinearon cercanamente con la línea diagonal de referencia. Esto confirma que los residuos cumplieron con el supuesto de normalidad, validando los análisis estadísticos realizados. Estos resultados muestran que el uso de ultrasonido no solo incrementó la eficiencia de la extracción de polifenoles, sino que también permitió obtener concentraciones más altas en comparación con el método tradicional.

Figura 2.

Gráfica de probabilidad normal de los residuos estandarizados externos para la extracción de polifenoles totales.

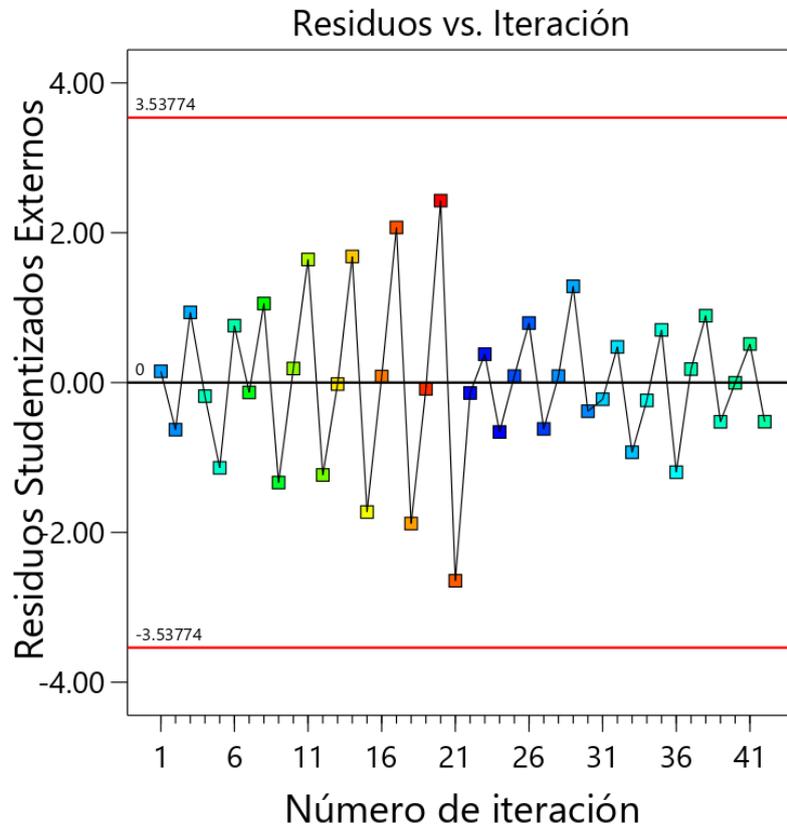


Nota: Autores (2025).

La Figura 3 muestra la distribución de los residuos studentizados externos en función del número de iteración, con el objetivo de evaluar la presencia de valores atípicos y la estabilidad del modelo. Se observa que la mayoría de los residuos fluctúan en torno a cero sin seguir un patrón sistemático, lo que sugiere la ausencia de autocorrelación. Además, los valores se encuentran dentro del umbral de ± 3.53774 (líneas rojas), lo que indica que no hay puntos influyentes significativos que comprometan la validez del modelo ajustado. Esta distribución confirma que los supuestos de normalidad y variación constante de los residuos se mantienen dentro de los límites aceptables.

Figura 3.

Distribución de residuos studentizados externos en función del número de iteración.



Nota: Autores (2025).

Discusión

Los resultados de este estudio demuestran que la extracción asistida por ultrasonidos mejoró significativamente la recuperación de polifenoles en *P. aduncum* en comparación con métodos convencionales sin asistencia de ultrasonido. Este hallazgo está en concordancia con investigaciones previas que han reportado los beneficios del ultrasonido en la extracción de compuestos fenólicos en diversas matrices vegetales. Por ejemplo, Beaudor et al. (2023) observaron que el uso de ultrasonidos permitió un incremento del 33% en la recuperación de polifenoles en granos de café, en comparación con métodos convencionales, lo que sugiere que la energía acústica del ultrasonido facilita la ruptura de las paredes celulares y la liberación de compuestos bioactivos. De manera similar, Ozsefil and Ziylan (2023) demostraron que la

extracción asistida por ultrasonidos fue más eficiente que la maceración para la obtención de polifenoles totales en hojas de té, destacando la capacidad del ultrasonido para mejorar la transferencia de masa y la permeabilidad celular. Además, Dobrinčić et al. (2020) compararon la extracción por reflujo con la asistida por ultrasonidos en hojas de olivo, concluyendo que esta última técnica permitió una recuperación significativamente mayor de polifenoles totales. Estos estudios, junto con los resultados obtenidos en este trabajo, refuerzan la idea de que la extracción asistida por ultrasonidos es una técnica eficiente para la obtención de compuestos fenólicos en diversas especies vegetales. La mejora observada en la extracción de polifenoles en *P. aduncum* mediante ultrasonidos no solo valida la eficacia de esta técnica, sino que también amplía su aplicabilidad a especies menos estudiadas, lo que podría tener implicaciones importantes para su aprovechamiento en industrias farmacéuticas, alimentarias y cosméticas. Futuras investigaciones podrían enfocarse en optimizar los parámetros de extracción, como la frecuencia, la potencia y el tiempo de exposición al ultrasonido, para maximizar la eficiencia y la calidad de los polifenoles extraídos en diferentes especies vegetales.

En este estudio, se observó que el tiempo de extracción tuvo un efecto positivo en la concentración de polifenoles obtenidos de *P. aduncum*, donde a mayores tiempos de extracción se logró un incremento proporcional en la recuperación de estos compuestos. Este resultado coincide con lo reportado por Nguyen et al. (2020), quienes determinaron que tiempos de extracción más prolongados favorecieron mayores rendimientos de polifenoles totales en raíces de *Polyscias fruticosa*, sugiriendo que un mayor contacto entre el solvente y la matriz vegetal permite una liberación más completa de los compuestos fenólicos. De manera similar, Jovanović et al. (2021) encontraron que el rendimiento de polifenoles totales en tomillo silvestre fue significativamente mayor a 30 minutos en comparación con 15 minutos, lo que refuerza la idea de que el tiempo es un factor crítico en la eficiencia de la extracción. Además, Luna-Fox et al. (2023) demostraron que, en *Ilex guayusa*, los mejores resultados en la

extracción de polifenoles se obtuvieron a 30 minutos en comparación con intervalos más cortos, lo que respalda la tendencia observada en este trabajo. Estos hallazgos muestran la importancia de optimizar el tiempo de extracción para maximizar la recuperación de polifenoles, especialmente en especies como *P. aduncum*, donde este factor podría ser determinante para su aprovechamiento industrial. Futuras investigaciones podrían explorar el equilibrio entre el tiempo de extracción y la posible degradación de compuestos sensibles, con el fin de establecer condiciones óptimas que aseguren tanto un alto rendimiento como la preservación de la calidad de los polifenoles extraídos.

Por otro lado, al comparar los resultados de polifenoles totales encontrados en este estudio con los reportados por Hidalgo-Sánchez et al. (2024), quienes encontraron concentraciones en un rango de $0,17 \pm 0,02$ a $0,69 \pm 0,04$ g EAG/100 g, se observa que los valores obtenidos en este trabajo son, en algunos casos, significativamente mayores. Estas diferencias podrían atribuirse a varios factores, como las condiciones de crecimiento de la planta (suelo, clima, altitud), el momento de cosecha, el método de secado y almacenamiento de las muestras, así como las condiciones específicas de extracción empleadas (tipo de solvente, relación sólido-líquido, tiempo y temperatura). Además, la variabilidad en el contenido de polifenoles también podría estar influenciada por diferencias genéticas entre las poblaciones de *P. aduncum* estudiadas, lo que resalta la importancia de considerar el origen y las características específicas del material vegetal al realizar comparaciones entre estudios. Estos hallazgos muestran la relevancia de estandarizar los protocolos de extracción y caracterización de polifenoles para facilitar la comparación entre investigaciones y garantizar la reproducibilidad de los resultados. Asimismo, el alto contenido de polifenoles reportado en este trabajo sugiere que *P. aduncum* es una fuente prometedora de compuestos bioactivos con potencial aplicación en industrias farmacéuticas, alimentarias y cosméticas, lo que justifica

futuras investigaciones para optimizar su aprovechamiento y explorar sus propiedades funcionales.

Conclusión

Se demostró que la extracción asistida por ultrasonido es una técnica eficiente para la recuperación de polifenoles en *P. aduncum*, logrando una extracción superior en comparación con el método convencional sin ultrasonido.

El tiempo de extracción tuvo un impacto positivo en la recuperación de polifenoles, observándose un aumento gradual en la concentración de estos compuestos a medida que el tiempo se incrementó de 10 a 70 minutos. Este comportamiento sugiere que un mayor tiempo de contacto entre el disolvente y la matriz vegetal permite una liberación más completa de los polifenoles.

Este estudio contribuye a la evidencia científica sobre la eficacia de la extracción asistida por ultrasonido en la obtención de polifenoles totales en *P. aduncum*. Además, resalta la importancia de optimizar parámetros como el tiempo de extracción y las condiciones de operación para maximizar el rendimiento y la calidad de los extractos. Los resultados obtenidos no solo validan el potencial de *P. aduncum* como fuente de polifenoles, sino que también abren nuevas perspectivas para su aprovechamiento en industrias farmacéuticas, alimentarias y cosméticas, promoviendo el uso de tecnologías sostenibles y eficientes en la extracción de compuestos naturales.

Referencias bibliográficas

Beaudor, M., Vauchel, P., Pradal, D., Aljawish, A., & Phalip, V. (2023). Comparing the efficiency of extracting antioxidant polyphenols from spent coffee grounds using an innovative ultrasound-assisted extraction equipment versus conventional method. *Chemical Engineering And Processing - Process Intensification*, 188, 109358. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2023.109358>

- Carhuamaca-Garcia, Y., & Javier Orihuela, C. E. (2024). Extracción asistida por ultrasonido de polifenoles de huacatay (*tagetes minuta* L.) y su capacidad antioxidante, Huayucachi, 2022 [Universidad Peruana Los Andes]. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/7922>
- De Luna, A. V., Da Silva Ferreira Fagundes, T., Ramos, Y. J., De Araújo, M. H., Muzitano, M. F., Calixto, S. D., Simão, T. L. B. V., De Queiroz, G. A., Guimarães, E. F., Marques, A. M., & De Lima Moreira, D. (2024). UHPLC-HRMS/MS Chemical Fingerprinting of the Bioactive Partition from Cultivated *Piper aduncum* L. *Molecules*, 29(8), 1690. <https://doi.org/10.3390/molecules29081690>
- Dobrinčić, A., Repajić, M., Garofulić, I. E., Tuđen, L., Dragović-Uzelac, V., & Levaj, B. (2020). Comparison of Different Extraction Methods for the Recovery of Olive Leaves Polyphenols. *Processes*, 8(9), 1008. <https://doi.org/10.3390/pr8091008>
- Efdi, M., Okselni, T., Itam, A., Arifin, B., Novela, M., Hidayat, T., & Fadli, N. (2023). Essential Oil Extraction of *Piper betle*, *Piper ramipilum*, and *Piper aduncum* and their Antibacterial Activity against Food borne Pathogens. *Journal Of Essential Oil Bearing Plants*, 26(2), 446-458. <https://doi.org/10.1080/0972060x.2023.2202335>
- Fernández Rosillo, F., Quiñones Huatangari, L., Ojeda Gaona, T. S., Alfaro Montero, D. del P., Yalta Meza, R. J., Cabrejos Barrios, E. M., & Huamán Mera, A. (2024). Rendimiento de extracción por hidroddestilación 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>
- Hidalgo-Sánchez, M. A., Pérez-Cuesta, A. M., Montesdeoca-Erazo, 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>
- Jha, A. K., & Sit, N. (2021). Extraction of bioactive compounds from plant materials using combination of various novel methods: A review. *Trends In Food Science & Technology*, 119, 579-591. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.019>
- Jovanović, A. A., Djordjević, V. B., Petrović, P. M., Pljevljakušić, D. S., Zdunić, G. M., Šavikin, K. P., & Bugarski, B. M. (2021). The influence of different extraction conditions on polyphenol content, antioxidant and antimicrobial activities of wild thyme. *Journal Of Applied Research On Medicinal And Aromatic Plants*, 25, 100328. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2021.100328>
- Lefebvre, T., Destandau, E., & Lesellier, E. (2020). Selective extraction of bioactive compounds from plants using recent extraction techniques: A review. *Journal Of Chromatography A*, 1635, 461770. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2020.461770>
- 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 Revista de las Agrociencias ISSN 2477-8982*, 13(1). <https://doi.org/10.33936/latecnica.v13i1.5725>
- 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. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2023220314>

- Nguyen, N. Q., Nguyen, M. T., Nguyen, V. T., Le, V. M., Trieu, L., Le, X. T., Khang, T., Giang, N. T. L., Thach, N. Q., & Hung, T. T. (2020). The effects of different extraction conditions on the polyphenol, flavonoids components and antioxidant activity of *Polyscias fruticosa* roots. IOP Conference Series Materials Science And Engineering, 736, 022067. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/736/2/022067>
- Oroian, M., Ursachi, F., & Dranca, F. (2020). Influence of ultrasonic amplitude, temperature, time and solvent concentration on bioactive compounds extraction from propolis. *Ultrasonics Sonochemistry*, 64, 105021. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105021>
- Ozsefil, I. C., & Ziyilan-Yavas, A. (2023). Green approach for polyphenol extraction from waste tea biomass: Single and hybrid application of conventional and ultrasound-assisted extraction. *Environmental Research*, 235, 116703. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116703>
- Shen, L., Pang, S., Zhong, M., Sun, Y., Qayum, A., Liu, Y., Rashid, A., Xu, B., Liang, Q., Ma, H., & Ren, X. (2023). A comprehensive review of ultrasonic assisted extraction (UAE) for bioactive components: Principles, advantages, equipment, and combined technologies. *Ultrasonics Sonochemistry*, 101, 106646. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106646>