

Research Article

Influencia del tiempo y la técnica de extracción en la recuperación de compuestos fenólicos a partir de la cáscara de *Ananas comosus*

Influence of time and extraction technique on the recovery of phenolic compounds from Ananas comosus peel



Reyes-Mera, Jorge Julio ¹



<https://orcid.org/0000-0001-6435-0649>



jreyes@uea.edu.ec



Ecuador, Puyo, Universidad Estatal Amazónica



Viáfara-Banguera, Derwin ²



<https://orcid.org/0000-0003-1376-1231>



dviafara@uea.edu.ec



Ecuador, Puyo, Universidad Estatal Amazónica



Paredes-Ulloa, Christopher Oswaldo³



<https://orcid.org/0000-0002-2087-5694>



co.paredesu@uea.edu.ec



Ecuador, Puyo, Universidad Estatal Amazónica



Guamán-Castillo, José Guillermo ⁴



<https://orcid.org/0009-0002-1811-7461>



josegguamanc@gmail.com



China, Pekin, China Railwal 19 Bureau Group Corporation

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://doi.org/10.69484/rcz/v4/n3/132>

Resumen: Este estudio analizó el efecto del tiempo y la técnica de extracción sobre la recuperación de compuestos fenólicos totales de la cáscara de *Ananas comosus*, subproducto agroindustrial con alto potencial bioactivo. Se evaluaron dos métodos de extracción acuosa: decocción y extracción asistida por ultrasonido (EAU), bajo un diseño factorial 2². Los resultados estadísticos demostraron que ambas variables influyeron significativamente en la eficiencia ($p < 0,0001$), siendo la EAU más efectiva, alcanzando hasta 18,5 mg EAG/g bs frente a 14,8 mg EAG/g bs con decocción. El modelo predictivo mostró un ajuste elevado ($R^2 = 0,9498$), lo que permite estimar con precisión la concentración de polifenoles según el tiempo y el método aplicado. Se evidenció correlación directa entre el incremento del tiempo y la cantidad de compuestos extraídos. Los hallazgos respaldan el uso de tecnologías innovadoras como la EAU en la valorización de residuos agroindustriales, al disminuir solventes orgánicos y reducir impactos ambientales. Este trabajo aporta al conocimiento sobre el aprovechamiento de la cáscara de *A. comosus* para obtener ingredientes funcionales con aplicaciones potenciales en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica.

Palabras clave: decocción, folin-ciocalteu, piña, ultrasonido.



Check for updates

Recibido: 30/Jun/2025

Aceptado: 22/Jul/2025

Publicado: 30/Sep/2025

Cita: Reyes-Mera, J. J., Viáfara-Banguera, D., Paredes-Ulloa, C. O., & Guamán-Castillo, J. G. (2025). Influencia del tiempo y la técnica de extracción en la recuperación de compuestos fenólicos a partir de la cáscara de *Ananas comosus*. *Revista Científica Zambos*, 4(3), 80-91. <https://doi.org/10.69484/rcz/v4/n3/132>

Ecuador, Santo Domingo, La Concordia
Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas – Sede Santo Domingo
Revista Científica Zambos (RCZ)
<https://revistaczambos.utelvtsd.edu.ec>

Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.



Abstract:

This study analyzed the effect of time and extraction technique on the recovery of total phenolic compounds from the peel of *Ananas comosus*, an agro-industrial by-product with high bioactive potential. Two aqueous extraction methods were evaluated: decoction and ultrasound-assisted extraction (UAE), under a 2² factorial design. The statistical results showed that both variables significantly influenced efficiency ($p < 0.0001$), with UAE being more effective, reaching up to 18.5 mg EAG/g dm³ compared to 14.8 mg EAG/g dm³ with decoction. The predictive model showed a high fit ($R^2 = 0.9498$), allowing for accurate estimation of polyphenol concentration based on time and method applied. A direct correlation was observed between increased time and the amount of compounds extracted. The findings support the use of innovative technologies such as AU in the valorization of agro-industrial waste, by reducing organic solvents and environmental impacts. This work contributes to the knowledge on the use of *A. comosus* peel to obtain functional ingredients with potential applications in the food, cosmetic, and pharmaceutical industries.

Keywords: decoction, folin-ciocalteu, pineapple, ultrasound.

1. Introducción

En los últimos años, los compuestos fenólicos han adquirido una relevancia considerable en el campo científico, ya que son conocidos por sus propiedades antioxidantes y potenciales aplicaciones terapéuticas en el tratamiento de enfermedades crónicas no transmisibles. Estos metabolitos, presentes en una amplia variedad de plantas destacan por su capacidad para eliminar radicales libres, así como también por su potencial para controlar las rutas metabólicas relacionadas con ciertos trastornos inflamatorios, neurodegenerativos y la carcinogénesis (Jha & Sit, 2022). Su importancia no se limita a la nutrición humana, convirtiéndose además en elementos esenciales para la producción de alimentos funcionales y productos farmacéuticos sofisticados (Patra et al., 2022; Caicedo-Aldaz & Herrera-Sánchez, 2022). El aumento en este interés ha llevado a una búsqueda de nuevas fuentes sostenibles para su obtención, particularmente aquellas que tienen su origen en residuos agroindustriales que se consideraban hasta el momento desechos.

Desde la perspectiva de la sostenibilidad, el aprovechamiento de los residuos de la industria de los alimentos se convierte en una buena estrategia para disminuir la contaminación y fabricar otros productos con valor. La FAO (2022), revela que aproximadamente un 33 % de los alimentos producidos por el hombre se desaprovechan o pierden en el proceso de producción. Sin embargo, los residuos agroindustriales, poseen altas concentraciones de las sustancias bioactivas cuya extracción y utilización podrían sumar significativamente al desarrollo de modelos alimentarios más sostenibles (Sorvari & Wahlström, 2024).

La cáscara de Ananas comosus (piña) surge como un caso único de esta problemática. Como una de las frutas tropicales más importantes en el comercio internacional, con una producción mundial que supera los 28 millones de toneladas anuales (FAO, 2022), su procesamiento industrial genera enormes volúmenes de residuos, principalmente cáscaras, que representan entre el 55-65% del peso total del fruto (Banerjee et al., 2022). Tradicionalmente considerada un desecho, numerosos estudios han demostrado que esta matriz posee una concentración significativa de compuestos fenólicos, incluyendo ácidos hidroxicinámicos, flavonoides y taninos, con actividades biológicas relevantes (Jatav et al., 2022; Zhuang et al., 2025; Zhou et al., 2023). De hecho, un estudio reciente sugiere que la actividad antioxidante de la cáscara puede superar a la de la pulpa en ciertos sistemas modelo (Rivera et al., 2023), lo que refuerza su potencial como materia prima para la obtención de ingredientes funcionales.

El desafío tecnológico radica en desarrollar procesos de extracción eficientes que permitan recuperar estos compuestos de manera óptima. Mientras que los métodos convencionales como la maceración, Soxhlet, entre otros., presentan limitaciones en términos de eficiencia energética y sostenibilidad (Mahmutović et al., 2024), las técnicas emergentes como la extracción asistida por ultrasonido (EAU) o microondas (EAM) ofrecen ventajas significativas, incluyendo menores tiempos de proceso, reducción en el uso de solventes y mayor preservación de compuestos termosensibles (Walayat et al., 2023; Guamán-Rivera, S. A., 2022). Sin embargo, la eficacia de estos métodos depende críticamente de la optimización de parámetros clave, particularmente el tiempo de extracción, cuya influencia en la cinética de liberación de fenólicos desde matrices complejas como la cáscara de A. comosus no ha sido suficientemente caracterizada.

La revisión de la literatura revela una notable carencia de estudios que evalúen comparativamente el efecto sinérgico entre el tiempo y diferentes metodologías de extracción sobre el perfil fenólico de la cáscara de piña, específicamente en la región amazónica ecuatoriana. Mientras que algunos trabajos han caracterizado su composición y otros han optimizado parámetros de extracción, falta evidencia concluyente sobre cómo interactúan estos factores en la eficiencia de recuperación (Rojas & Saavedra-Mera, 2022). Este vacío de conocimiento limita el desarrollo de procesos escalables que maximicen el rendimiento sin comprometer la calidad de los extractos.

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia del tiempo y la técnica de extracción (con asistencia de ultrasonido y decocción) en la recuperación de compuestos fenólicos totales a partir de cáscara de Ananas comosus.

2. Metodología

2.1. Obtención y preparación de la muestra

Las muestras de *A. comosus* fueron adquiridas en el mercado local “Los Plátanos” (Puyo, Ecuador). Se seleccionaron frutos maduros, sin daños físicos y de tamaño uniforme. La separación de las cáscaras se realizó manualmente con cuchillos esterilizados, asegurando la eliminación completa del tejido comestible. Para el secado, se utilizó una estufa de convección (marca: Memmert, modelo: SFE700) a 45°C durante 48 h. El contenido de humedad se determinó mediante el método gravimétrico por diferencia de peso antes y después del secado, expresándose posteriormente todos los resultados en base seca. Las cáscaras deshidratadas fueron molidas mecánicamente y tamizadas empleando un conjunto de tamices de malla Tyler para obtener partículas de 1 mm de diámetro.

2.2. Extractos acuosos

Se aplicó la extracción con ultrasonido y decocción tradicional para la obtención de los extractos acuosos. En ambos casos se usó agua destilada como disolvente, en una relación sólido/líquido de 1:20 (m/v). En el método por ultrasonido, se mezclaron 5 g de cáscara molida con 100 mL de agua en un recipiente de vidrio, y se colocaron en un equipo de baño ultrasónico (marca Wisd.23, modelo WUC-D06H) a 80°C y 20% de amplitud ultrasónica. Para la decocción, se colocó la misma cantidad de muestra y disolvente en un sistema de reflujo hasta alcanzar la ebullición del agua. Finalmente, todos los extractos obtenidos se filtraron usando papel Whatman No. 4 y se analizaron inmediatamente después de su preparación.

2.3. Compuestos fenólicos totales

La cuantificación de compuestos fenólicos se realizó mediante el método de Folin-Ciocalteu (Luna-Fox et al., 2025), donde se mezcló 1 mL de extracto acuoso con 0,5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu y se incubó 10 min en oscuridad. Posteriormente, se agregó 0,5 mL de Na₂CO₃ (20%), se aforó a 10 mL con agua destilada y se dejó reaccionar 2 h protegido de luz. Finalmente, se midió la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Perkin Elmer), expresando los resultados como equivalentes de ácido gálico por gramo de biomasa seca (mg EAG/g bs) mediante una curva de calibración estándar (Ecuación 1).

$$A = 0,0734C - 0,0028$$

Donde A: absorbancia de la muestra y C: concentración de la muestra (mg/L).

2.4. Análisis estadístico

Se utilizó un diseño factorial 2² para examinar el impacto del tiempo y el método de extracción en la obtención de compuestos fenólicos (Tabla 1). Cada experimento se realizó por triplicado, incluyendo cuatro réplicas adicionales en el punto central. El

análisis de los datos se realizó mediante el programa Design Expert (versión de prueba, Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, EE. UU.).

Tabla 1
Nivel de las variables independientes

Variable	Código	Tipo	Sub tipo	Mínimo	Máximo
Tiempo (min)	A	Numérico	Continuo	5	15
Método	B	Catagórico	Nominal	Ultrasonido	Decocción

Nota: (Autores, 2025).

3. Resultados

Los resultados del ANOVA (Tabla 2) mostraron que el modelo presentó un alto grado de significancia estadística ($p < 0,0001$) con un valor F de 160,86, lo que confirma su capacidad para explicar la variabilidad en la extracción de compuestos fenólicos. Las variables estudiadas, mostraron efectos altamente significativos ($p < 0,0001$ para ambos), con valores F de 152,29 y 169,43 para el tiempo y método extractivo respectivamente, indicando que ambos factores influyen considerablemente en el proceso de extracción. La falta de ajuste del modelo no resultó significativa ($p = 0,0510$), mostrando que el modelo se ajusta adecuadamente a los datos experimentales sin presentar desviaciones sistemáticas. El modelo demostró un buen poder predictivo, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,9498, indicando que explica el 94,98 % de la variabilidad en los datos. El R^2 ajustado (0,9439) y el R^2 predicho mostraron valores consistentes, confirmando la robustez del modelo. Además, el coeficiente de variación (CV) fue del 5,67%, lo que refleja una baja dispersión relativa de los datos en torno a la media (13,57) y respalda la precisión experimental.

Tabla 2
Análisis de varianza para el modelo factorial seleccionado

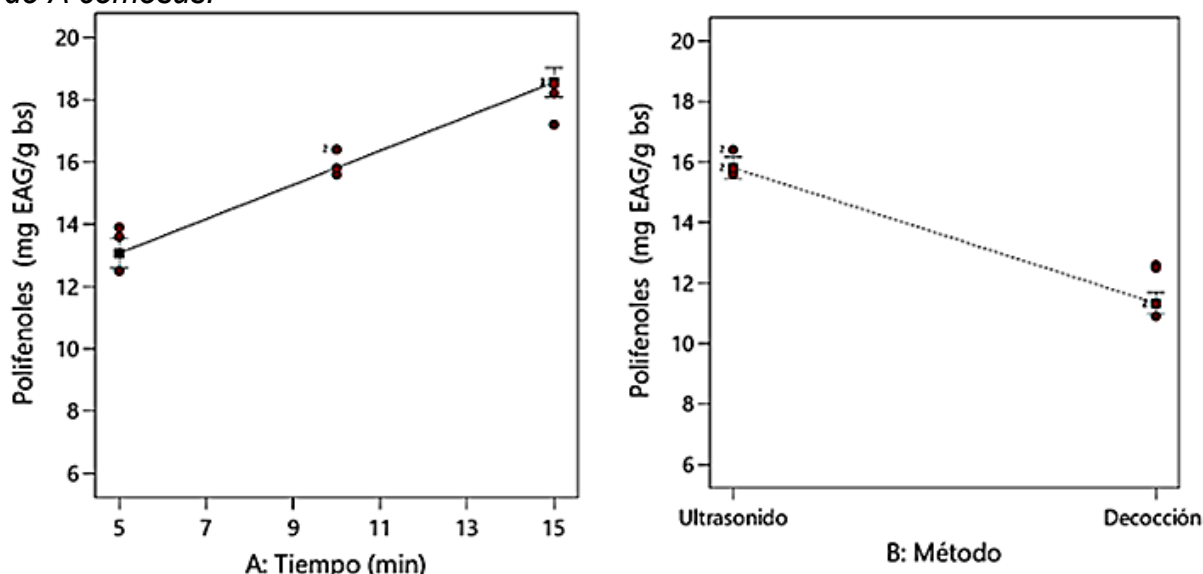
Fuente	Suma de cuadrados	gl	Cuadrados medios	F-valor	p-valor	
Modelo	190,55	2	95,28	160,86	< 0,0001	Significativo
A-Tiempo	90,20	1	90,20	152,29	< 0,0001	
B-Método	100,35	1	100,35	169,43	< 0,0001	
Residual	10,07	17	0,5923			
Falta de ajuste	4,19	3	1,40	3,32	0,0510	No significativo
Error puro	5,88	14	0,4203			
DE	0,7696					
%CV	5,67					
Media	13,57					
R^2	0,9498					
R^2 -Ajustado	0,9439					
R^2 -Predicho						

Nota: DE desviación estándar, CV coeficiente de variación (Autores, 2025).

El tiempo de extracción (Figura 1A) ejerció un efecto positivo en el rendimiento de polifenoles totales, observándose una correlación directa entre el incremento del tiempo y mayores concentraciones extraídas. Comparativamente, el método de extracción asistida por ultrasonido presentó una eficiencia significativamente superior frente a la decocción (Figura 1B), evidenciando diferencias estadísticamente relevantes en los rendimientos obtenidos entre ambas técnicas bajo las condiciones experimentales evaluadas.

Figura 1

Tiempo y método de extracción sobre la extracción de polifenoles totales en la cáscara de A comosus.



Nota: (Autores, 2025).

La extracción con asistencia de ultrasonido produjo concentraciones de polifenoles totales en el rango de 12,5 a 18,5 mg EAG/g bs, mientras que mediante decocción se obtuvieron valores entre 7,4 y 14,8 mg EAG/g bs. Estos datos experimentales sirvieron como base para desarrollar un modelo de regresión predictivo de la concentración de polifenoles totales extraídos en el intervalo de 5 a 15 min, las ecuaciones de regresión derivadas fueron las siguientes:

$$\text{Polifenoles (ultrasonido)} = 10,33 + 0,55 \cdot \text{tiempo}$$

$$\text{Polifenoles (decocción)} = 5,85 + 0,55 \cdot \text{tiempo}$$

Estas ecuaciones, expresadas en unidades reales de los factores, sirve para estimar los resultados con valores específicos de cada variable, usando sus unidades de medida originales. Sin embargo, no son adecuadas para comparar la importancia relativa de cada factor, ya que los coeficientes están ajustados a las unidades de cada variable y el término independiente no corresponde al centro del diseño experimental. Los resultados experimentales y los predichos con los modelos matemáticos se calcularon y presentan en la tabla 3.

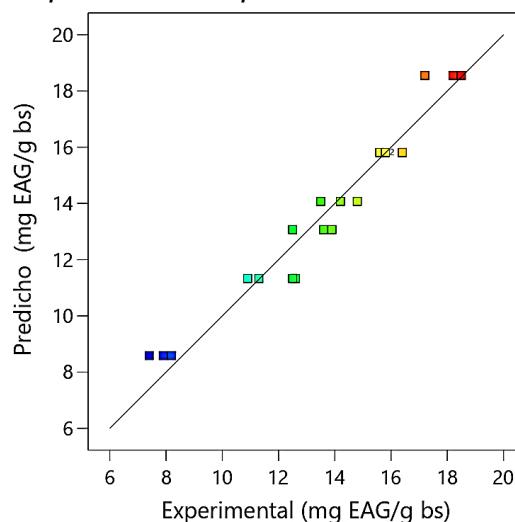
Tabla 3
Resultados experimentales de polifenoles totales

Experimento	Tiempo (min)	Método	Experimentales (mg EAG/g bs)	Predichos (mg EAG/g bs)
1	10	Ultrasonido	16,4	15,83
2	10	Decocción	12,6	11,35
3	15	Decocción	14,2	14,1
4	15	Ultrasonido	18,5	18,58
5	5	Decocción	7,4	8,6
6	10	Decocción	11,3	11,35
7	5	Ultrasonido	13,6	13,08
8	15	Ultrasonido	17,2	18,58
9	5	Decocción	8,2	8,6
10	5	Ultrasonido	12,5	13,08
11	15	Ultrasonido	18,2	18,58
12	10	Decocción	10,9	11,35
13	10	Ultrasonido	15,8	15,83
14	10	Ultrasonido	16,4	15,83
15	5	Ultrasonido	13,9	13,08
16	15	Decocción	13,5	14,1
17	15	Decocción	14,8	14,1
18	5	Decocción	7,9	8,6
19	10	Ultrasonido	15,6	15,83
20	10	Decocción	12,5	11,35

Nota: (Autores, 2025).

Como puede observarse en la Figura 2, la disposición de los puntos experimentales validó la eficacia de los modelos para representar adecuadamente todo el espectro de condiciones evaluadas. Este patrón de distribución indica que las ecuaciones desarrolladas poseen capacidad predictiva dentro del rango de estudio, demostrando su aplicabilidad práctica para los fines planteados.

Figura 2
Valores experimentales vs predichos de polifenoles totales

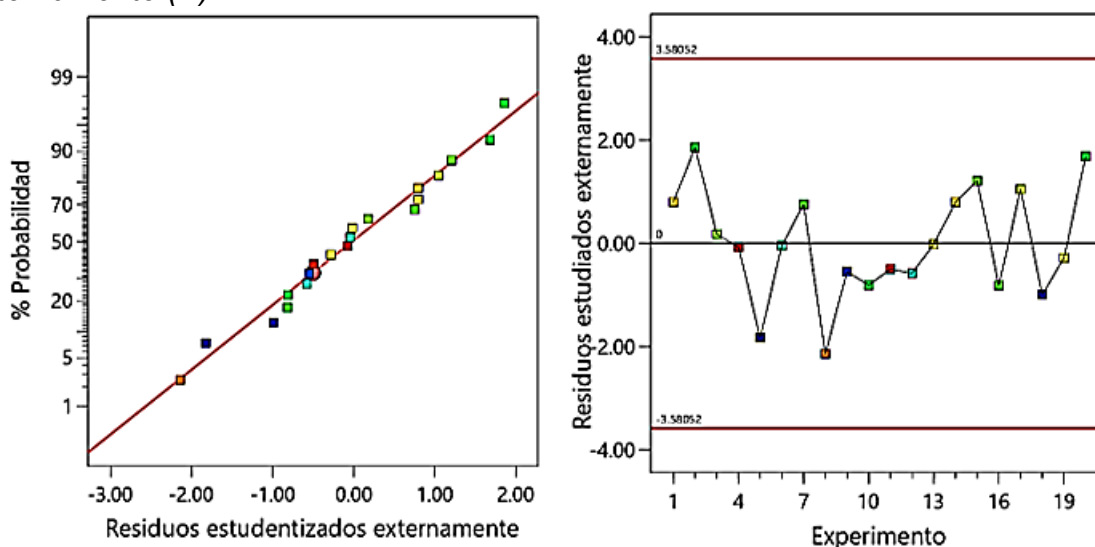


Nota: (Autores, 2025).

El análisis de la distribución normal de los datos (Figura 3A) mostró que la mayoría de los valores se encontraban dentro del rango aceptable (-2 a 2), confirmando que el modelo se ajustaba adecuadamente a los datos de polifenoles. No obstante, se detectó un valor atípico en -3, junto con una ligera asimetría en la distribución, lo que podría señalar efectos no contemplados o variabilidad en los experimentos. En la Figura 3B, se apreció un comportamiento similar, con la mayoría de los residuales agrupados alrededor de cero y un valor extremo en -3,0002, lo que apuntaría a la existencia de condiciones inusuales en ciertos ensayos. Estos resultados respaldaron la capacidad predictiva del modelo, aunque destacaron la conveniencia de examinar los casos desviados para optimizar su exactitud.

Figura 3

Distribución normal de los resultados experimentales (A). residuales estudentizados externamente (B)



Nota: (Autores, 2025).

4. Discusión

El tiempo es un factor importante en la EAU de compuestos bioactivos. Estudios previos han demostrado que, al aumentar el tiempo de ultrasonido, se incrementa la cantidad de polifenoles extraídos hasta alcanzar un punto óptimo, después del cual el aumento es marginal o incluso puede haber degradación de compuestos sensibles (Dzah et al., 2020). Por ejemplo, en la extracción de polen, el tiempo óptimo fue de 14,3 min, mientras que, en hojas de té, un tiempo de 3,2 h maximizó la eficiencia (Oroian et al., 2020; Borah et al., 2024). En propóleos, 20 min de ultrasonido fueron suficientes para obtener rendimientos superiores a los de la maceración tradicional (Peng et al., 2023; Guamán-Rivera & Flores-Mancheno, 2023). Sin embargo, es importante evitar tiempos excesivos o temperaturas elevadas, ya que pueden degradar los polifenoles.

Diversos estudios han demostrado que la EAU es significativamente más eficiente que métodos convencionales como la decocción o maceración para la obtención de polifenoles. Un estudio realizado en café la EAU permitió recuperar más del 83% de los polifenoles disponibles, mientras que el método convencional solo alcanzó el 64%, mostrando una mejora del 19% en la eficiencia y una reducción a la mitad en el consumo energético (Beaudor et al., 2023). En el caso del polen crudo, la EAU bajo condiciones óptimas logró una concentración de 366,1 mg EAG/L, evidenciando una alta eficiencia en comparación con métodos tradicionales (Oroian et al., 2020). En propóleos, la EAU incrementó el contenido de flavonoides y ácidos fenólicos respecto a la maceración, además de acelerar el proceso de extracción (Peng et al., 2023). En hojas de té, la EAU combinada con hidrotropía alcanzó una eficiencia de extracción del 68,4%, reduciendo el tiempo y la cantidad de solvente necesarios (Borah et al., 2024). Finalmente, en granos de cerveza, la UAE permitió modelar y optimizar la cinética de extracción, logrando una recuperación eficiente de polifenoles en tiempos cortos (Alonso-Riaño et al., 2020).

El contenido polifenólico de la cáscara de *A. comosus* reportado en este estudio es considerablemente menor al valor de 359,14 mg EAG/g encontrado por otros autores con extracción etanólica, lo que evidencia que el método y solvente de extracción influyen notablemente en los resultados (Jaisinghani & Patil, 2025). Otros trabajos destacan la presencia de polifenoles y flavonoides en la cáscara, aunque sin cuantificar exactamente el contenido total, pero sí confirman su riqueza en compuestos bioactivos con potencial antioxidante y aplicaciones nutraceuticas (Soni et al., 2022; Abasolo-Pacheco et al., 2025); además, estudios que emplearon diferentes solventes reportaron valores de 6,93 mg/ml y 0,86 mg/mL para extractos metanólicos y etanólicos respectivamente, lo que sugiere una gran variabilidad según la metodología empleada (Namrata et al., 2017); finalmente, la literatura coincide en que la cáscara de *A. comosus* es una fuente relevante de polifenoles, aunque los valores cuantitativos pueden variar ampliamente dependiendo de factores como el tipo de extracción, variedad de la planta y condiciones climáticas (Oi et al., 2025; Ankutse et al., 2025).

5. Conclusiones

Se demostró que el tiempo de extracción y la técnica utilizada tuvieron un impacto altamente significativo ($p < 0,0001$) en el rendimiento de compuestos fenólicos totales obtenidos de la cáscara de *Ananas comosus*. Esto se respalda por los elevados valores de F-Fisher (152,29 y 169,43), que reflejan la fuerte influencia de estos factores en la eficiencia del proceso.

Los resultados demostraron que la extracción con ultrasonido presentó una eficiencia significativamente mayor frente a la técnica de decocción, alcanzando concentraciones más elevadas de polifenoles (12,5–18,5 mg EAG/g) en un tiempo de procesamiento reducido. En contraste, el método de decocción mostró un intervalo

inferior de recuperación (7,4–14,8 mg EAG/g), lo que evidencia su menor rendimiento. Estos resultados respaldan el potencial del ultrasonido como método preferente para la obtención de compuestos bioactivos, destacando su ventaja en términos de eficacia y optimización de recursos en aplicaciones industriales o farmacéuticas.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

Referencias Bibliográficas

- Abasolo-Pacheco, F., Sellan-Canales, M. J., García-Gallirgos, V. J., & Onofre-Correa, J. A. (2025). Desarrollo vegetativo del maíz bajo influencia de diluciones minerales y biológicas. *Revista Científica Zambos*, 4(2), 265-280. <https://doi.org/10.69484/rcz/v4/n2/121>
- Alonso-Riaño, P., Diez, M. T. S., Blanco, B., Beltrán, S., Trigueros, E., & Benito-Román, O. (2020). Water Ultrasound-Assisted Extraction of Polyphenol Compounds from Brewer's Spent Grain: Kinetic Study, Extract Characterization, and Concentration. *Antioxidants*, 9(3), 265. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX9030265>
- Ankutse, P., Musumba, F. A., Bilal, M., Han, Y., Duan, Y., Li, F., Ibeogu, I. H., & Adase, E. (2025). Modulation of phytochemical profiles and bioactive constituents in *Ananas comosus* via *Lactiplantibacillus*-mediated fermentation. *Food Bioscience*, 66, 106257. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2025.106257>
- Banerjee, S., Vijayaraghavan, R., Patti, A. F., & Arora, A. (2022). Integrated Biorefinery Strategy for Valorization of Pineapple Processing Waste into High-Value Products. *Waste and Biomass Valorization*, 13(1), 631–643. <https://doi.org/10.1007/S12649-021-01542-7/METRICS>
- 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>
- Borah, A., Gogoi, M., Goswami, R., & Hazarika, S. (2024). Ultrasound assisted hydrotropic extraction of polyphenols from green tea leaves in aqueous media. *Industrial Crops and Products*, 209, 117986. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2023.117986>
- Caicedo-Aldaz, J. C., & Herrera-Sánchez, D. J. (2022). El Rol de la Agroecología en el Desarrollo Rural Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 1(2), 1-16. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n2/24>
- 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>
- FAO. (2022). *Inicio*. Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura. <https://www.fao.org/platform-food-loss-waste/es>
- Guamán-Rivera, S. A. (2022). Desarrollo de Políticas Agrarias y su Influencia en los Pequeños Agricultores Ecuatorianos. *Revista Científica Zambos*, 1(3), 15-28. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n3/30>
- Guamán-Rivera, S. A., & Flores-Mancheno, C. I. (2023). Seguridad Alimentaria y Producción Agrícola Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 2(1), 1-20. <https://doi.org/10.69484/rcz/v2/n1/35>
- Jaisinghani, R. N., & Patil, R. P. (2025). Antibacterial and Phytochemical Analysis of Ethanolic Extract of Ananas comosus (Pineapple) Peel. *Environment and Ecology*, 43(March), 202–209.
- Jatav, J., Tarafdar, A., Saravanan, C., & Bhattacharya, B. (2022). Assessment of Antioxidant and Antimicrobial Property of Polyphenol-Rich Chitosan-Pineapple Peel Film. *Journal of Food Quality*, 2022(1), 8064114. <https://doi.org/10.1155/2022/8064114>
- Jha, A. K., & Sit, N. (2022). 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>
- Luna-Fox, S. B., García-Quintana, Y., Arteaga-Crespo, Y., Radice, M., Luna-Fox, S. B., García-Quintana, Y., Arteaga-Crespo, Y., & Radice, M. (2025). Formulación de productos liofilizados ricos en polifenoles a partir de Hibiscus sabdariffay su combinación con Ocotea quixos y Citrus aurantifolia. *Revista Chilena de Nutrición*, 52(1), 31–42. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182025000100031>
- Mahmutović, L., Sezer, A., Bilajac, E., Hromić-Jahjefendić, A., Uversky, V. N., & Glamočlija, U. (2024). Polyphenol stability and bioavailability in cell culture medium: Challenges, limitations and future directions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 279, 135232. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.135232>
- Namrata, Sharma, Y., & Sharma, T. (2017). Anti-Microbial, Anti-Oxidant Activity and Phytochemical Screening of Polyphenolic Flavonoids Isolated from Peels of Ananas Comosus. *International Journal of Engineering Research And*, V6(09). <https://doi.org/10.17577/IJERTV6IS090176>
- Oi, K., Samuel, K., & Kouakou, T. H. (2025). Influence of Potassium Fertilisation on the Induction of Phenolic Markers of Resistance to Internal Browning in Pineapple (Ananas comosus L. Merr.). *International Journal of Biochemistry Research & Review*, 5(June), 2.
- Oroian, M., Ursachi, F., & Dranca, F. (2020). Ultrasound-Assisted Extraction of Polyphenols from Crude Pollen. *Antioxidants*, 9(4), 322. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX9040322>
- Patra, A., Abdullah, S., & Pradhan, R. C. (2022). Review on the extraction of bioactive compounds and characterization of fruit industry by-products. *Bioresources and*

- Bioprocessing*, 9(1), 1–25. <https://doi.org/10.1186/S40643-022-00498-3/TABLES/3>
- Peng, S., Zhu, M., Li, S., Ma, X., & Hu, F. (2023). Ultrasound-assisted extraction of polyphenols from Chinese propolis. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1131959. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2023.1131959/BIBTEX>
- Rivera, A. M. P., Toro, C. R., Londoño, L., Bolivar, G., Ascacio, J. A., & Aguilar, C. N. (2023). Bioprocessing of pineapple waste biomass for sustainable production of bioactive compounds with high antioxidant activity. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(1), 586–606. <https://doi.org/10.1007/S11694-022-01627-4/TABLES/1>
- Rojas, F. E., & Saavedra-Mera, K. A. . (2022). Diversificación de Cultivos y su Impacto Económico en las Fincas Ecuatorianas. *Revista Científica Zambos*, 1(1), 51-68. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n1/21>
- Soni, S., Noor, U., & Gupta, E. (2022). Ananas comosus peel waste, a novel substrate of therapeutic potential: Evidences and prospects. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 13(2), 129–143. <https://doi.org/10.56042/IJNPR.V13I2.37958>
- Sorvari, J., & Wahlström, M. (2024). Industrial by-products. *Handbook of Recycling: State-of-the-Art for Practitioners, Analysts, and Scientists*, 259–285. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85514-3.00044-0>
- Walayat, N., Yurdunuseven-Yıldız, A., Kumar, M., Goksen, G., Öztekin, S., & Lorenzo, J. M. (2023). Oxidative stability, quality, and bioactive compounds of oils obtained by ultrasound and microwave-assisted oil extraction. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(27). <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2219452;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:BFSN20>
- Zhou, Y., Huma, B., & Tan, Z. (2023). High-Value Utilization of Polyphenol Aromatic Antimicrobial Agents Extracted from Pineapple Peel Waste. *ACS Food Science and Technology*, 3(5), 858–865. https://doi.org/10.1021/ACSFOODSCITECH.3C00048/SUPPL_FILE/FS3C00048_SI_001.PDF
- Zhuang, Z., Du, J., Qian, Y., Wang, Y., Jing, J., Liu, Y., & Chen, G. (2025). Composition, distribution, and bioactivity of polyphenols in pineapple Fibers: Insights from UHPLC-MS analysis for the development of antibacterial materials. *Current Research in Food Science*, 10, 101069. <https://doi.org/10.1016/J.CRFS.2025.101069>