

Edición especial 25 años del doctorado en ingeniería

Obtención de polifenoles de cáscara de piña usando hidrosecado conductivo-microondas y solventes de punto eutéctico profundo

Obtaining polyphenols from pineapple peel using conductive-microwave hydrodrying and deep eutectic point solvents

Cómo citar: Vargas-Serna, C.L., Latorre-Castaño, D., Moreira-Muñoz, N., Ochoa-Martínez, C., Vélez-Pasos, C. obtención de polifenoles de cáscara de piña usando hidrosecado conductivo-microondas y solventes de punto eutéctico profundo. Ingeniería y Competitividad. 25(suplemento) ,e-20413074. doi: 10.25100/iyv.v25isuplemento.13074

Vargas-Serna Claudia L¹,  Latorre-Castaño Daniela¹,  Moreira-Muñoz Nadezda¹,  Ochoa-Martínez Claudia I¹,  Vélez-Pasos Carlos¹ 

¹ Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Alimentos, Cali, Colombia

Abstract

La piña es una fruta tropical con alta demanda para su industrialización. Sin embargo, sólo entre el 30 y el 50% del peso total del fruto es aprovechable lo que genera un alto volumen de residuos contaminantes. El objetivo de esta investigación fue extraer compuestos fenólicos de residuos agroindustriales de piña mediante tecnologías amigables. Se evaluó el efecto del secado empleando la tecnología de hidrosecado conductivo (muestra fresca y seca) y el efecto del tipo de solvente de punto eutéctico profundo (cloruro de colina - ácido málico y cloruro de colina - glicerol) sobre la extracción asistida por microondas de compuestos fenólicos de cáscara de piña. Se determinó el contenido total de compuestos fenólicos, el rendimiento del proceso, la capacidad antioxidante y el porcentaje de inhibición del radical DPPH. El secado tuvo efecto significativo sobre las variables de respuesta y, en general, el tipo de solvente no tuvo efecto. La mayor concentración de compuestos fenólicos fue 26.29 ± 5.22 mg GAE/g ms, con un rendimiento de 2.6288 ± 0.5220 % (g GAE/g ms) y una capacidad antioxidante de 2.4816 ± 0.0779 mM TE/g. Los extractos obtenidos a partir de muestra seca presentaron la mayor capacidad antioxidante (88.08 ± 1.44 % de inhibición del radical DPPH). Estos resultados indican que el uso de tecnologías verdes de extracción es una alternativa viable para la valorización de residuos de piña, comparado con la extracción con etanol.

Palabras clave: Capacidad antioxidante, Compuesto fenólicos, Extracción, Inhibición, Secado.

Resumen

Pineapple is a tropical fruit with high demand for its industrialization. However, only between 30 and 50% of the total weight of the fruit is usable, which generates a high volume of polluting residues. The objective of this research was to extract phenolic compounds from pineapple agroindustrial waste using friendly technologies. The effect of drying using conductive hydrodrying technology (fresh and dry sample) and the effect of the type of deep eutectic solvent (choline chloride - malic acid and choline chloride - glycerol) on the microwave-assisted extraction of Phenolic compounds from pineapple peel. The total content of phenolic compounds, the yield of the process, the antioxidant capacity and the percentage of inhibition of the DPPH radical were studied. Drying had a significant effect on the response variables and, in general, the type of solvent had no effect. The highest concentration of phenolic compounds was 26.29 ± 5.22 mg GAE/g ms, with a yield of 2.6288 ± 0.5220 % (g GAE/g ms) and an antioxidant capacity of 2.4816 ± 0.0779 mM TE/g. The extracts obtained from the dry sample presented the highest antioxidant capacity (88.08 ± 1.44 % inhibition of the DPPH radical). These results indicate that the use of green extraction technologies is a viable alternative for the recovery of pineapple waste, compared to extraction with ethanol.

Keywords: Antioxidant capacity, Phenolic compounds, Extraction, Inhibition, Drying.





Introducción

La piña oro miel (*Ananas comosus* L. Merr., variedad MD2) es una fruta de alto consumo en el mundo debido a su alto contenido de sólidos solubles (entre 12 y 16°Brix), su aroma y su color. De acuerdo con cifras de FAOSTAT, en Colombia se produjeron 927.000 toneladas de piña en 2021, ubicándose como el décimo país con mayor producción a nivel mundial(1)

Según *Trade Map* 2019, el 61% de las exportaciones mundiales de piña corresponden a piña fresca, 25% a piña en conserva o procesada y 10% a jugo (2). La alta industrialización de esta fruta genera residuos que corresponden al 50% en peso de la fruta fresca, con consecuencias ambientales negativas como contaminación de aguas y suelos por el pH del residuo y los lixiviados con alta concentración de nutrientes que cambian el equilibrio del suelo. Es importante buscar estrategias para la valorización de estos residuos (cáscara, corazón y corona) empleando tecnologías de procesamiento no contaminantes (3).

En los tejidos vegetales, especialmente en la cáscara de las frutas, hay un alto contenido de compuestos fenólicos. Estos compuestos son aproximadamente 278 mg GAE/100 g ms en la parte no comestible de la piña, comparados con aproximadamente 99 mg GAE/100g ms en la parte comestible. La extracción de polifenoles a partir de cáscaras de piña es de interés y alta aplicación a nivel industrial debido a la tendencia mundial de consumo de alimentos con componentes bioactivos (4).

La extracción sólido-líquido y la extracción por maceración son los métodos más usados para la obtención de compuestos fenólicos. Estos métodos requieren tiempos prolongados de proceso y grandes volúmenes de solventes, en su mayoría contaminantes(5). La extracción asistida por microondas es un método alternativo de menor impacto ambiental, con el que se obtiene mayor rendimiento del proceso y mayor capacidad antioxidante del extracto (6). De igual manera, se han estudiado alternativas para reemplazar los solventes convencionales como etanol y metanol y se ha demostrado que los solventes de punto eutéctico profundo (en adelante DES), son una opción viable, ya que son considerados solventes verdes, son económicos y eficientes (7–14). Aunque las mezclas eutécticas y su comportamiento de reactividad cerca del punto eutéctico son muy conocidas, en los últimos años se comenzaron a considerar como posibles medios de reacción. Por lo general, los DES están compuestos de una sal de amonio cuaternaria (aceptor de enlaces de hidrógeno) que interactúa con compuestos donadores de hidrógeno. La toxicidad de las mezclas eutécticas es prácticamente nula, con una biodegradabilidad alta. La elaboración de DES es sencilla y no genera subproductos, por lo que se consideran de baja huella ecológica. Adicionalmente, son solubles en agua y su adición genera una nueva capa orgánica líquida con los productos orgánicos que permite aumentar la polaridad del solvente (15).

Algunos autores realizan un proceso de secado de la materia prima antes de la extracción para facilitar la disponibilidad de compuestos bioactivos en el extracto (16–20). Uno de los métodos de secado empleados es la liofilización que reduce la degradación térmica de los polifenoles (17,19). Sin embargo, esta tecnología es costosa y requiere largo tiempo de proceso. Una alternativa que no ha sido explorada como pretratamiento en los procesos de extracción es el hidro secado conductivo.

El hidro secado conductivo se basa en la transferencia de energía térmica del agua caliente al producto, el cual se dispone sobre una lámina tipo Mylar™ que está en contacto directo con el agua. Este método reduce la pérdida de vitaminas, antioxidantes y atributos sensoriales (color, aroma) (21–23). Además, presenta alta eficiencia energética, y el equipo requerido es simple y de bajo costo, comparado con otros métodos de secado (24).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del hidro secado conductivo y del tipo de solvente sobre la extracción asistida por microondas de polifenoles en cáscara de piña.

Materiales y métodos

Materia prima

Se emplearon piñas (*Ananas comosus L.*, variedad MD2) con grado de madurez entre 1 y 2(25) (cáscara con tonos verdes y amarillos y un contenido de sólidos solubles de $13.7 \pm 0.06^\circ\text{Brix}$), obtenidas en la Hacienda La Novillera (Valle del Cauca, Colombia). Las piñas se lavaron, se desinfectaron con una solución de 100 ppm de hipoclorito de sodio en agua y se realizó un enjuague posterior. Se separaron las cáscaras para el proceso de extracción y se cortaron en trozos de aproximadamente 1×0.5 cm.

Solventes

Se evaluaron dos DES, cloruro de colina (Acros organics) + glicerol (Loba chemie) y cloruro de colina (Acros organics) + ácido málico (Alfa Aesa). El cloruro de colina actúa como aceptor de enlaces de hidrógeno y el glicerol y el ácido málico actúan como donantes de enlaces de hidrógeno. El cloruro de colina se secó en una estufa al vacío (VWR 1430D) a 60°C por 24 h. Posteriormente, se mezcló con el donante de enlaces de hidrógeno. La relación molar de cloruro de colina y glicerol fue 1:2 (9) y la relación molar de cloruro de colina y ácido málico fue 1:1.5 (26). Estas soluciones se agitaron a 300 rpm con un agitador de hélice (Heidolph RZR 2021) a 80°C durante 2 y 6 h, respectivamente y se secaron en una estufa al vacío a 60°C durante 20 h. Posteriormente, se diluyeron con agua destilada (10 y 50%, respectivamente). Como tratamiento control se utilizó una solución de etanol al 90%.

Secado

Las muestras se secaron en un hidrosecador convectivo de laboratorio (CEI Robots, Colombia) a 80°C durante 4 h hasta una humedad de $8.9 \pm 1.7\%$. Posteriormente, se almacenaron en recipientes sellados hasta su procesamiento.

Extracción

Se realizó una reducción de tamaño de las muestras (secas y frescas) en un molino de cuchillas (Oster) durante 1 min y se mezclaron con el DES en una relación sólido:solvente de 1:15. Para la extracción se utilizó un horno de microondas (marca LG referencia MS-0746T) con el 60% de la potencia máxima (700 W) durante 1 min. Se separó el sobrenadante (extracto) mediante filtración y se almacenó en oscuridad hasta su análisis. Para el tratamiento con la solución de etanol al 90%, se utilizó la misma relación sólido:solvente y un tiempo de extracción de 2 min.



La metodología general del proceso se presenta en la figura 1.

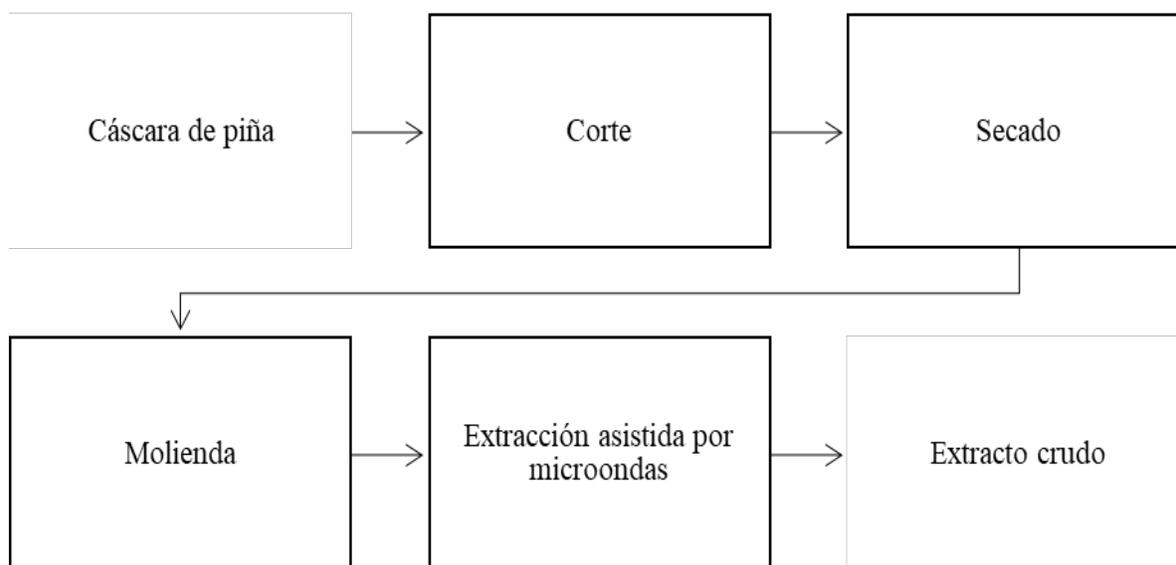


Figura 1. Diagrama general del proceso de extracción de compuesto fenólicos

Contenido total de polifenoles

La determinación del contenido total de polifenoles se realizó por espectrofotometría según el método propuesto por Ainsworth y Gillespie (27) modificado por Ozturk *et al.* (9) y los resultados fueron expresados en mg GAE/g ms. Se mezclaron 1560 μ L de agua destilada con 40 μ L del extracto diluido y 100 μ L de reactivo de Folin-Ciocalteu (Panreac applichem). La solución se agitó durante 30 s, se añadieron 300 μ L de solución filtrada de carbonato de sodio (loba Chemmie) al 20% y se almacenó en un ambiente oscuro durante 1 h. Se realizó la lectura en un espectrofotómetro Genesys™ 20 de Thermo Scientific, a 750 nm utilizando etanol como blanco. Se realizaron curvas de calibración por triplicado con concentraciones de 0.04, 0.1, 0.16, 0.2 y 0.3 mg de ácido gálico/ml. Se calculó la concentración de polifenoles en el extracto, expresada en mg GAE/mL. Se hizo una dilución de 1 en 13 del extracto con agua destilada para evitar reacciones adversas del solvente con el reactivo de FolinCiocalteu (pruebas preliminares realizadas por los investigadores). El rendimiento (R) del proceso de extracción se calculó de acuerdo con la ecuación 1.

$$R = (CTP/m_s) \times 100 \quad (1)$$

Donde *CTP* es el contenido total de polifenoles (g GAE) y m_s es el peso de la materia seca (g).

Capacidad antioxidante

La neutralización de los radicales libres de 2,2-difenil-1-picrílihidrazil (DPPH) se midió utilizando el método espectrofotométrico. La reacción se llevó a cabo usando una mezcla de 300 µL del extracto obtenido con 3700 µL de solución de DPPH (Sigma-Aldrich) al 100 µM, y se dejó en reposo por 1 h en oscuridad. La absorbancia de la solución se midió a 517 nm en un espectrofotómetro Genesys™ 20 (Thermo Scientific), empleando metanol como solución blanco. Los resultados de capacidad antioxidante se expresaron como equivalentes de Trolox por g de materia seca. Se realizaron curvas de calibración por triplicado con concentraciones de Trolox (Sigma-Aldrich) de 0, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40 y 0.50 mM y se midió su capacidad para decolorar el radical DPPH. Para el cálculo del porcentaje de inhibición (I) se utilizó la ecuación (2)

(28).

$$I = (1 - (As/Ac)) \times 100 \quad (2)$$

Donde A_s es la absorbancia de la muestra y A_c es la absorbancia de la solución blanco.

Diseño experimental y análisis de datos

Se utilizó un diseño factorial 2x3 en el cual se evaluaron dos niveles de pretratamiento (muestra fresca y muestra seca) y tres niveles de solvente (cloruro de colina-glicerol, cloruro de colina ácido málico y etanol 90%). Se realizó un análisis de varianza ANOVA con un nivel de confianza del 95% empleando Minitab 19 ®. Las diferencias significativas entre las medias se evaluaron utilizando el método de comparación de Tukey.

Resultados y discusión

Contenido total de polifenoles y concentración del extracto

En la figura 2 se muestra el efecto del secado y del tipo de solvente respecto al contenido de polifenoles totales extraídos de las muestras de cáscara de piña, representado en equivalentes de ácido gálico, con resultados que varían entre 3.62 y los 34.42 mg EAG/g ms.

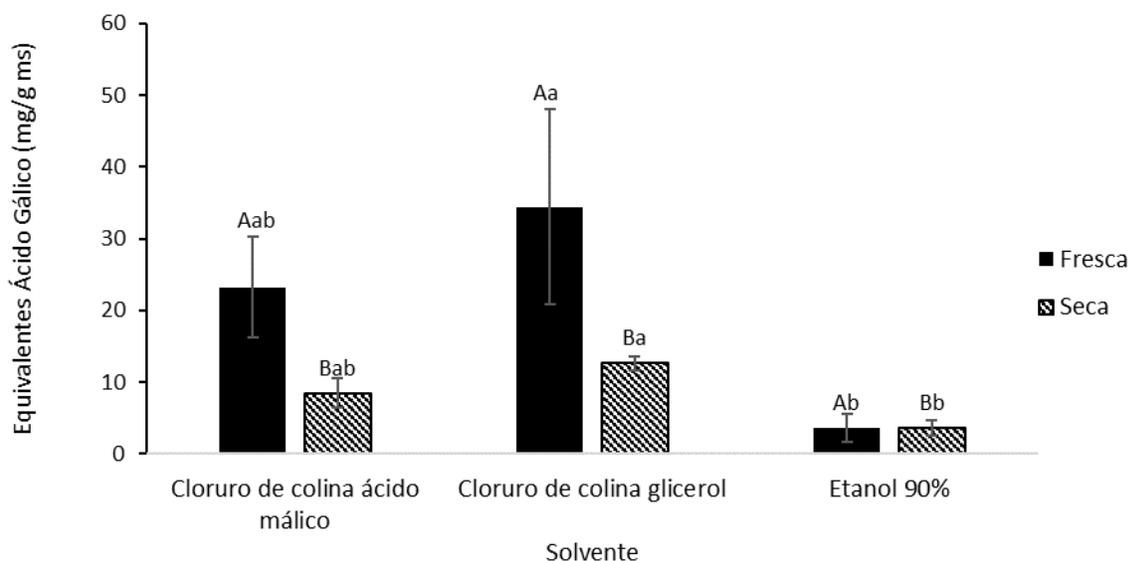




Figura 2. Efecto del secado y el tipo de solvente sobre el contenido de polifenoles totales en cáscara de piña. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes. Letras mayúsculas indican diferencias entre pretratamiento, letras minúsculas indican diferencias entre solvente.

Se encontró que los extractos obtenidos a partir de muestras frescas con DES presentaron valores mayores de polifenoles totales: 23.21 ± 7.02 mg GAE/g ms para cloruro de colina – ácido málico y 34.42 ± 13.6 mg GAE/g ms para cloruro de colina glicerol. Estos valores fueron estadísticamente superiores a los obtenidos para las muestras secas. El análisis estadístico mostró que no existe interacción entre los factores estudiados, pero sí un efecto significativo de cada uno de los factores analizados individualmente. En general, se pudo extraer una mayor cantidad de compuestos fenólicos cuando se usó como solvente cloruro de colina- glicerol. Esta conducta se debe a que los DES tienen mejor comportamiento en presencia de agua debido a que esta ayuda a disminuir su viscosidad facilitando el ingreso del solvente a la matriz y la formación de puentes de hidrógeno, y como consecuencia la extracción de componentes bioactivos (9,29).

Los valores obtenidos son similares a los encontrados en otros tipos de residuos agroindustriales como cáscara de naranja o de fresas (30).

La figura 3 muestra la concentración de polifenoles en los extractos obtenidos para muestras frescas y para muestras secas. Estas últimas presentaron valores superiores, específicamente, 0.71 ± 0.04 mg GAE/mL para cloruro de colina – glicerol y 0.46 ± 0.11 mg GAE/mL para cloruro de colina – ácido málico.

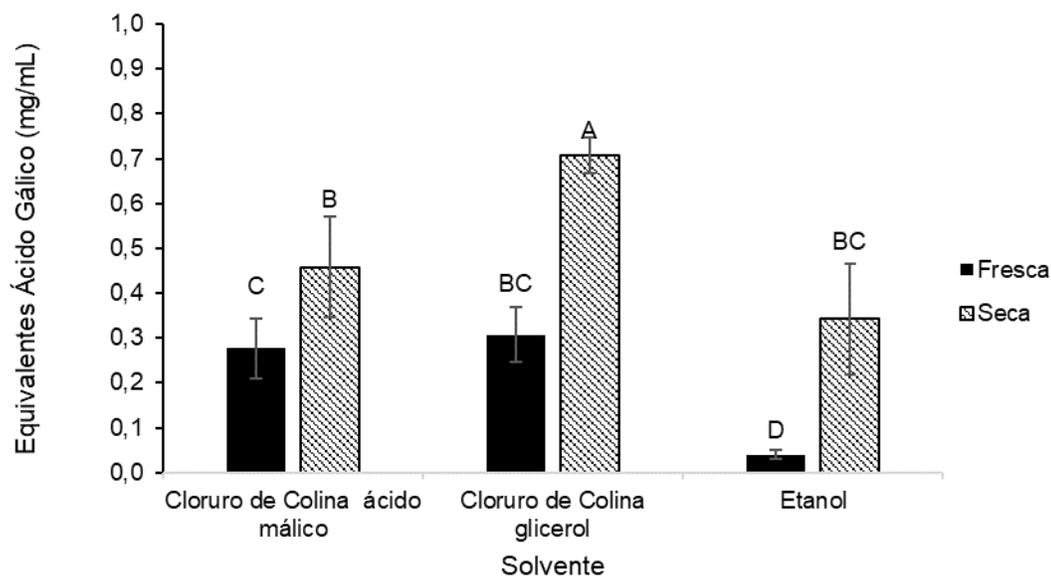


Figura 3. Efecto del secado y el tipo de solvente sobre la concentración de polifenoles totales en cáscara de piña. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre los tratamientos. Por otra parte, se obtuvieron resultados significativamente superiores en las muestras secas respecto a las muestras frescas, siendo mayor la concentración obtenida en el extracto con cloruro de colina y glicerol.

Los resultados de contenido total de polifenoles (figura 2) revelaron que las muestras frescas tienen mejores resultados que las secas, mientras que los resultados de concentración tienen un comportamiento opuesto. Esto se debe a que, al utilizar un mismo volumen de solvente para la extracción en muestras secas y frescas, el extracto de muestra seca presenta mayor concentración de compuestos fenólicos debido al mayor contenido de materia seca, y análogamente menor humedad que pueda interactuar en el proceso.

En cuanto a la concentración obtenida en el extracto se obtuvieron valores similares a los obtenidos por Sepúlveda et al. (2018) con el proceso de auto hidrólisis. Sin embargo, esta metodología presenta baja selectividad para polifenoles y mayor afinidad con compuestos glicosídicos (3).

Rendimiento del proceso

En la figura 4 se observa el efecto del tipo de solvente en el rendimiento del extracto en crudo de la cáscara de piña (fresca y seca). Se encontró que los extractos obtenidos con muestras frescas y DES presentaron valores estadísticamente superiores a los encontrados con etanol. Para cloruro de colina – ácido málico, se obtuvo 7.79 ± 0.18 % y para cloruro de colina – glicerol se obtuvo 7 ± 0.13 %.

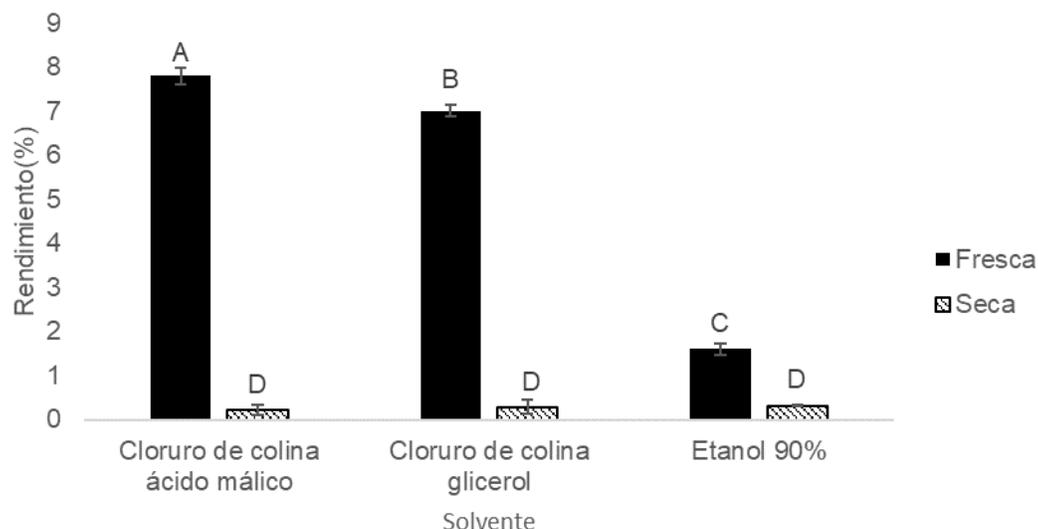


Figura 4. Efecto del secado y el tipo de solvente sobre el rendimiento de extracción. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.



El análisis estadístico mostró que existe diferencias significativas entre los tratamientos. Los mejores resultados para el rendimiento se obtuvieron en los extractos con cloruro de colina-ácido málico. Estos resultados muestran que el uso de tecnologías ambientalmente sostenibles y solventes no contaminantes y GRAS es una alternativa competitiva frente otros solventes (9). Los resultados presentados en este trabajo fueron superiores a los encontrados para la extracción asistida por microondas de compuestos fenólicos de cáscara de granada (31) e inferiores a los reportados en cáscara de mango, extraídos con otros solventes (18).

Se encontró además que la metodología usada presentó entre un 20 y 30 % más de rendimiento que estudios similares para cáscara de piña, cáscara de naranja y otras matrices (3,9,26,32). Adicional a esto, es posible inferir que el secado pudo aumentar la biodisponibilidad de los compuestos fenólicos presentes en la piña.

Actividad antioxidante de los extractos

En la figura 5 se presenta la relación del efecto del solvente sobre la capacidad antioxidante de los extractos de cáscara de piña (fresca y seca), representados en equivalentes de Trolox. Las extracciones con DES en muestras frescas presentaron los mayores valores de actividad antioxidante, los cuales fueron de 2.48 ± 0.08 y 1.73 ± 0.22 mM TE/g ms para la extracción con cloruro de colina – ácido málico y cloruro de colina – glicerol, respectivamente. También se observó que para extracción con etanol no existen diferencias significativas entre muestras frescas y secas.

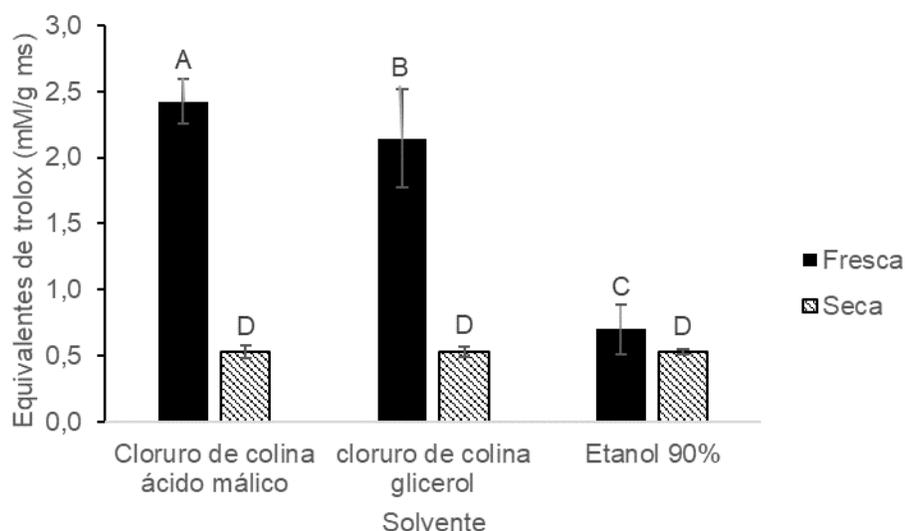


Figura 5. Efecto del secado y el tipo de solvente sobre la capacidad antioxidante de los extractos de cáscara de piña. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El análisis estadístico mostró que para la capacidad antioxidante el mejor tratamiento fue cloruro de colina ácido málico con muestra fresca; al igual que en las variables de respuesta anteriormente mencionadas los DES tuvieron mejor comportamiento que el etanol. Esto puede deberse a que los DES disminuyen su viscosidad en presencia de agua facilitando la extracción de componentes bioactivos que además, al no haber sido expuestos a altas temperaturas de secado conservan su actividad antioxidante (33).

Porcentaje de inhibición del radical DPPH

En la figura 6 se presenta el porcentaje de inhibición del radical DPPH. Los resultados obtenidos con muestras secas fueron 88.08 ± 1.44 y 84.44 ± 0.68 %, para cloruro de colina – ácido málico y cloruro de colina – glicerol, respectivamente.

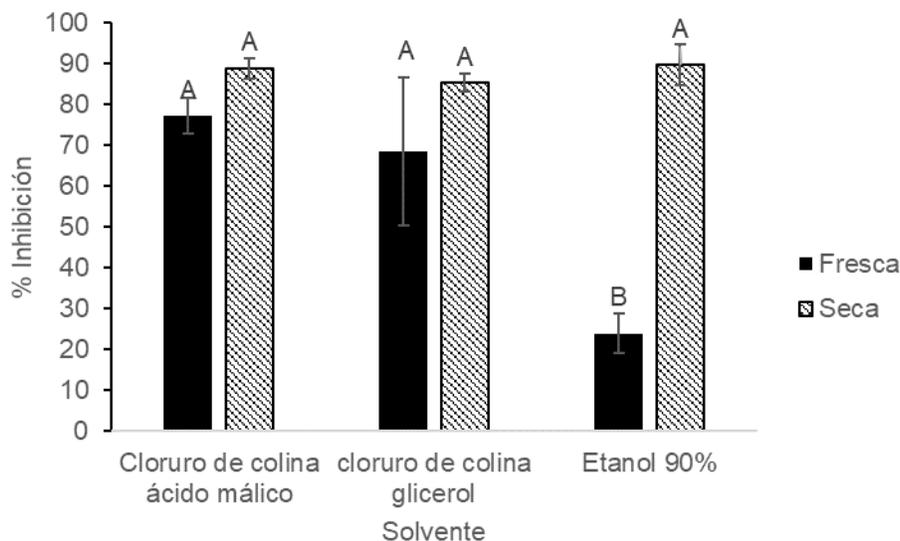


Figura 6. Efecto del secado y el tipo de solvente sobre el porcentaje de inhibición de del radical DPPH de extractos de cáscara de piña. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Todos los resultados fueron estadísticamente similares a excepción del obtenido en muestra fresca con etanol que tuvo un valor mucho menor. Estos resultados son superiores a los reportados por autores como Sepúlveda et al. (2018), quienes obtuvieron porcentaje de inhibición entre 34.3 ± 7.9 y 82.1 ± 1.4 % y los encontrados por Sousa y Correira (2012) quienes reportaron valores entre 76 y 81%

El porcentaje de inhibición del radical DPPH está determinado por la reactividad de un antioxidante ante los radicales libres y se puede caracterizar según la velocidad de tal reacción, en contraste con la actividad antioxidante, que mide la capacidad de retardar la degradación oxidativa (35). Debido a esto, el porcentaje de inhibición puede tener mayor relación con la concentración del extracto que con el contenido total de polifenoles obtenidos del proceso.



La mayor capacidad antioxidante de los extractos obtenidos con DES en muestras frescas se puede deber a una mejor interacción del solvente con la matriz permitiendo la extracción de mayor cantidad de componentes con efecto antioxidante (29).

Conclusiones

El contenido total de polifenoles, el rendimiento y la actividad antioxidante fueron mayores para las extracciones realizadas con DES comparadas con las de etanol que es un solvente de alto costo y de alto impacto ambiental. Se evidenció que el secado como pretratamiento tuvo efecto negativo, siendo los resultados estadísticamente superiores para muestras secas para las variables mencionadas. En general, la mezcla cloruro de colina con ácido málico presentó mejores resultados en dicha variable de respuesta.

La técnica utilizada de extracción combinada con los solventes DES, presentó rendimientos similares en comparación a investigaciones anteriores de extracción de compuestos fenólicos con diversas metodologías y solventes.

Adicionalmente, se considera que los DES y la extracción asistida por microondas con muestra fresca son una alternativa viable para la obtención de dichos extractos a escala industrial por ser económicos, GRAS ecológicos y eventualmente la metodología podría ser implementada a escala industrial.

Agradecimientos

Al proyecto de “Incremento de la competitividad sostenible de la agricultura de ladera en todo el departamento del Valle del Cauca, occidente” ejecutado según Convenio especial de cooperación No. 039–2018 Universidad Nacional de Colombia sede Palmira y la Universidad del Valle.

Referencias bibliográficas

1. FAO. FAOSTAT [Internet]. 2022 [cited 2022 May 30]. Available from: <https://www.fao.org/faostat/es/>
2. Trade Map. Base de datos estadístico del comercio exterior. [Internet]. 2019 [cited 2022 May 30]. Available from: <https://www.trademap.org/Index.aspx>
3. Sepúlveda L, Romaní A, Aguilar CN, Teixeira J. Valorization of pineapple waste for the extraction of bioactive compounds and glycosides using autohydrolysis. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* [Internet]. 2018;47:38–45. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.01.012>
4. Cárdenas G, Arrazola G, Villalba M. Frutas tropicales: fuente de compuestos bioactivos naturales en la industria de alimentos. *Ingenium*. 2016;17(33):29–40.
5. Yusoff IM, Mat Taher Z, Rahmat Z, Chua LS. A review of ultrasound-assisted extraction for plant bioactive compounds: Phenolics, flavonoids, thymols, saponins and proteins. *Food Research International* [Internet]. 2022 Jul;157:111268. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963996922003258>

6. Ekezie FGC, Sun DW, Cheng JH. Acceleration of microwave-assisted extraction processes of food components by integrating technologies and applying emerging solvents: A review of latest developments. *Trends Food Sci Technol.* 2017;67:160–72.
7. Motta Soler ÁM. EVALUACIÓN DE UN SOLVENTE VERDE PARA LA EXTRACCIÓN DE LÍPIDOS A PARTIR DE BIOMASA DE MICROALGAS A ESCALA LABORATORIO. FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA FACULTAD DE INGENIERÍAS. 2019;4(1):75–84.
8. Jablonský M, Škulcová A, Malvis A, Šima J. Extraction of value-added components from food industry based and agro-forest biowastes by deep eutectic solvents. *J Biotechnol.* 2018;282:46–66.
9. Ozturk B, Parkinson C, Gonzalez-Miquel M. Extraction of polyphenolic antioxidants from orange peel waste using deep eutectic solvents. *Sep Purif Technol [Internet].* 2018 [cited 2018 Sep 12];206:1–13. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.05.052>
10. Smith EL, Abbott AP, Ryder KS. Deep Eutectic Solvents (DESs) and Their Applications. *Chem Rev.* 2014;114(21):11060–82.
11. García A, Rodríguez-Juan E, Rodríguez-Gutiérrez G, Rios JJ, Fernández-Bolaños J. Extraction of phenolic compounds from virgin olive oil by deep eutectic solvents (DESs). *Food Chem.* 2016;197:554–61.
12. Zhou P, Wang X, Liu P, Huang J, Wang C, Pan M, et al. Enhanced phenolic compounds extraction from *Morus alba* L. leaves by deep eutectic solvents combined with ultrasonic-assisted extraction. *Ind Crops Prod.* 2018;120:147–54.
13. Rajha HN, Mhanna T, Kantar S el, Khoury A el, Louka N, Maroun RG. Innovative process of polyphenol recovery from pomegranate peels by combining green deep eutectic solvents and a new infrared technology. *LWT - Food Science and Technology [Internet].* 2019 [cited 2020 May 4];111:138–46. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.004>
14. Zannou O, Pashazadeh H, Galanakis CM, Alamri AS, Koca I. Carboxylic acid-based deep eutectic solvents combined with innovative extraction techniques for greener extraction of phenolic compounds from sumac (*Rhus coriaria* L.). *J Appl Res Med Aromat Plants.* 2022 Sep;30:100380.
15. Alonso DA, Baeza A, Chinchilla R, Gómez C, Guillena G, Marset X, et al. Mezclas eutécticas como alternativa sostenible a los disolventes convencionales en Química Orgánica. Vol. 114, An. Quím. 2018.
16. da Silva DI, Nogueira GD, Duzzioni AG, Barrozo MA. Changes of antioxidant constituents in pineapple (*Ananas comosus*) residue during drying process. *Ind Crops Prod.* 2013;50:557–62.
17. Sogi DS, Siddiq M, Greiby I, Dolan KD. Total phenolics, antioxidant activity, and functional properties of “Tommy Atkins” mango peel and kernel as affected by drying methods. *Food Chem.* 2013;141(3):2649–55.





18. Dorta E, Lobo MG, González M. Using drying treatments to stabilise mango peel and seed: Effect on antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology* [Internet]. 2012;45(2):261–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2011.08.016>
19. Sukadeetad K, Nakbanpote W, Heinrich M, Nuengchamnonng N. Effect of drying methods and solvent extraction on the phenolic compounds of *Gynura pseudochina* (L.) DC. leaf extracts and their anti-psoriatic property. *Ind Crops Prod*. 2018 Sep 15;120:34–46.
20. Jiménez D, Vardanega R, Salinas F, Espinosa-Álvarez C, Bugeño-Muñoz W, Palma J, et al. Effect of drying methods on biorefinery process to obtain capsanthin and phenolic compounds from *Capsicum annum* L. *Journal of Supercritical Fluids*. 2021 Aug 1;174.
21. Puente L, Vega-Gálvez A, Ah-Hen KS, Rodríguez A, Pasten A, Poblete J, et al. Refractance Window drying of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) pulp: A comparison of quality characteristics with respect to other drying techniques. *LWT*. 2020 Sep 1;131:109772.
22. Rajoriya D, Shewale SR, Bhavya ML, Hebbar HU. Far infrared assisted refractance window drying of apple slices: Comparative study on flavour, nutrient retention and drying characteristics. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2020 Dec 1;66:102530.
23. Waghmare R. Refractance window drying: A cohort review on quality characteristics. Vol. 110, *Trends in Food Science and Technology*. Elsevier Ltd; 2021. p. 652–62.
24. Baeghbali V, Niakousari M, Farahnaky A. Refractance Window drying of pomegranate juice: Quality retention and energy efficiency. *LWT - Food Science and Technology*. 2016;66:34–40.
25. Mercado-Ruiz JN, Tortoledo-Ortiz O, García-Robles JM, Báez-Sañudo R, García-Moreno BY, Avila-Prado J, et al. Calidad comercial de piña MD2 (*Ananas comosus* L.) Tratada en postcosecha con ácido 2-hidroxibenzoico. *Revista Iberoamericana de tecnología postcosecha* [Internet]. 2016 [cited 2022 May 30];20(2):141–54. Available from: <https://www.redalyc.org/journal/813/81361553004/>
26. Cvjetko Bubalo M, Đurko N, Tomašević M, Kovačević Ganić K, Radojčić Redovniković I. Green extraction of grape skin phenolics by using deep eutectic solvents. *Food Chem*. 2016 Jun;200:159–66.
27. Ainsworth EA, Gillespie KM. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nat Protoc*. 2007;2(4):875–7.
28. Ballesteros LF, Cerqueira MA, Teixeira JA, Mussatto SI. Characterization of polysaccharides extracted from spent coffee grounds by alkali pretreatment. *Carbohydr Polym*. 2015;127:347–54.

29. Wojciechowski JP, Marques C, Igarashi-Mafra L, Coutinho JAP, Mafra MR. Extraction of phenolic compounds from rosemary using choline chloride – based Deep Eutectic Solvents. *Sep Purif Technol.* 2021 Mar 1;258:117975.
30. Castrica M, Rebucci R, Giromini C, Tretola M, Cattaneo D, Baldi A. Total phenolic content and antioxidant capacity of agri-food waste and by-products. *Ital J Anim Sci [Internet]*. 2019 Jan 2 [cited 2020 Apr 26];18(1):336–41. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1828051X.2018.1529544>
31. Martínez-Ramírez A, Contreras-Esquivel JC, Belares-Cerda R. Extracción de Polifenoles Asistida por Microondas a Partir de *Punica granatum* L. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila.* 2010;2(4):1–5.
32. Domínguez CR, Avila JAD, Pareek S, Ochoa MAV, Zavala JFA, Yahia E, et al. Content of bioactive compounds and their contribution to antioxidant capacity during ripening of pineapple (*Ananas comosus* L.) cv. Esmeralda. *Journal of Applied Botany and Food Quality.* 2018;91:61–8.
33. de Lima Marsiglia WIM, Oliveira L de SC, Lucas Jacinto Almeida R, Santos NC, da Silva Neto JM, Santiago ÂM, et al. Thermal stability of total phenolic compounds and antioxidant activities of jaboticaba peel: Effect of solvents and extraction methods. *Journal of the Indian Chemical Society.* 2023 May 1;100(5).
34. Sousa BA, Correia RTP. Phenolic content, antioxidant activity and anti-amylolytic activity of extracts obtained from bioprocessed pineapple and guava wastes. *Brazilian Journal of Chemical Engineering [Internet]*. 2012;29(01):25–30. Available from: www.abeq.org.br/bjche
35. Londoño Londoño J. Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad PARTE III. In: *Desarrollo y transversalidad: serie Lasallista Investigación y Ciencia [Internet]*. 2012 [cited 2022 May 30]. p. 129–62. Available from: <http://hdl.handle.net/10567/133>

