



SOCIBI
Sociedad Científica Internacional
de Biotecnólogos A.C.

World Journal of Bioscience and Biotechnology 2026, 2 (1):43-61

Journal homepage: <https://socibiotech.com/journals/wjbb>



ORIGINAL RESEARCH

ISSN:3061-8185



In vitro antihyperlipidemic properties of pineapple peel extracts

Propiedades antihiperlipidémicas *in vitro* de extractos de cáscara de piña

Ramiro Baeza-Jiménez¹, Gustavo A. González Aguilar², Leticia Xochitl López-Martínez^{2,3}

¹Laboratorio de Biotecnología y Bioingeniería, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C., Coordinación Regional Delicias. Avenida Cuarta Sur No. 3820, Fraccionamiento Vencedores del Desierto, 33089, Ciudad Delicias, Chihuahua, Mexico.

²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas No. 46, Col. La Victoria, 83304, Hermosillo, Sonora, Mexico.

³SECIHTI-CIAD, Laboratorio de Antioxidantes y Alimentos Funcionales. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas No. 46, Col. La Victoria, 83304, Hermosillo, Sonora, Mexico.



Leticia Xochitl López-Martínez
leticia.lopez@ciad.mx

ABSTRACT

Pineapple peel represents up to 40% of the total weight of the fruit. Peels can be valued for their phenolic compound content because they have demonstrated beneficial effects such as antiglycemic and anti-obesogenic properties. This study aimed to evaluate the *in vitro* antihyperlipidemic properties of pineapple peel flour for its potential use as a functional ingredient. Total phenolic compounds were quantified at 3.73 mg GAE/g, containing gallic, caffeic, *p*-coumaric, sinapic, and ferulic acids, as well as quercetin-3- β -D-glucoside. The flours showed bile acid trapping capacity (18.65-40.34%) and cholesterol micellization capacity (9.56-

43.45%), as well as inhibitory activities on cholesterol esterase (75%) and pancreatic lipase (50.81%) enzymes at the maximum concentration evaluated. Further studies in animal and human models are required to definitively confirm these bioactivities. However, based on the composition and results obtained, it is possible to suggest that pineapple peel could be used as an unconventional source of phenolic compounds with potential health benefits.

Keywords: Bioactivities, enzyme inhibition, peels, phenolic compounds profile, pineapple.

RESUMEN

La cáscara de piña representa hasta el 40% del peso total del fruto. Las cáscaras pueden revalorizarse por su contenido de compuestos fenólicos, los cuales han demostrado efectos benéficos como antiglicémicos y antiobesogénicos. En este estudio se evaluaron las propiedades antihiperlipidémicas *in vitro* de extractos de harina de cáscaras de piña para su posible uso como ingredientes funcionales. Los compuestos fenólicos totales se cuantificaron en 3.73 mg EAG/g, conteniendo en su perfil los ácidos fenólicos: gálico, cafeico, *p*-cumárico, sinápico y ferúlico, así como quercetina-3- β -D-glucósido. Los extractos mostraron una capacidad de atrapamiento de

ácidos biliares (18.65-40.34%) y de micelización de colesterol (9.56-43.45%), además de inhibir la enzima colesterol esterasa (75%) y la lipasa pancreática (50.81%), a la concentración máxima evaluada. Se requieren más estudios en modelos animales y humanos para confirmar de manera fehaciente dichas bioactividades. Con base en la composición y los resultados obtenidos, es posible sugerir que la cáscara de piña podría utilizarse como fuente no convencional de compuestos fenólicos, con potenciales efectos benéficos para la salud.

Palabras clave: Bioactividades, cáscara, inhibición enzimática, perfil de compuestos fenólicos, piña.

Received: 24 March 2026 / Received in revised form: 25 March 2026 / Accepted: 20 June 2026 / Published online: 30 June 2026.

<https://doi.org/10.29267/wjbb.2026.2.1.43-61>

1. INTRODUCCIÓN

La hiperlipidemia es un conjunto de trastornos metabólicos caracterizados por niveles elevados de triglicéridos y colesterol plasmáticos (Verma, 2016). Su prevalencia ha aumentado en todo el mundo debido a un estilo de vida sedentaria y a un mayor consumo de dietas ricas en ácidos grasos saturados y *trans* y representa uno de los principales factores de riesgo asociados con la enfermedad coronaria (Saeed *et al.*, 2017). El riesgo de sufrir estas alteraciones patológicas puede reducirse manteniendo el colesterol en sangre dentro del rango normal. Las estrategias para reducir el colesterol en sangre se han orientado a inhibir la síntesis endógena de colesterol o su absorción (Ros, 2000). Por lo general, los inhibidores de la absorción de colesterol pueden actuar como secuestrantes de ácidos biliares y como disruptores de la micelización del colesterol, lo que puede constituir una de las estrategias para reducir la absorción de colesterol (Su *et al.*, 2016; He *et al.*, 2024).

Otra estrategia importante puede ser la inhibición de la acción de enzimas como colesterol esterasa (hidroliza los ésteres de colesterol en colesterol y ácidos grasos libres, previos a su absorción) y lipasa pancreática (hidroliza los triglicéridos en ácidos grasos libres listos para su absorción) (Adisakwattana *et al.*, 2012). Como las células epiteliales intestinales no son capaces de absorber los triglicéridos y los ésteres de colesterol directamente, el papel que desempeñan estas enzimas en la absorción es indispensable, por lo que su inhibición favorecería una reducción de los niveles de lípidos circulantes y del riesgo de enfermedad cardiovascular.

La investigación epidemiológica ha demostrado que la mayoría de las frutas, leguminosas y plantas medicinales ejercen efectos antihiperlipidémicos debido a su contenido de moléculas bioactivas, como las saponinas, los carotenoides y los compuestos fenólicos (Song *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2024). En las frutas, los compuestos fenólicos, además de encontrarse en sus pulpas, diversos estudios han demostrado que la concentración de estos es mayor en sus cáscaras (Lopez-Martínez *et al.*, 2023; Molina *et al.*, 2023). Estudios previos han documentado que los extractos etanólicos de las cáscaras de piña pueden inhibir a la lipasa pancreática (Molina *et al.*, 2023), lo que podría constituir una alternativa frente a los medicamentos sintéticos y a la reducción de sus efectos secundarios (Azizan *et al.*, 2020).

Los extractos de cáscara de piña contienen diversos compuestos fenólicos, lo que sugiere que podrían ejercer diversas bioactividades promotoras de la salud. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo caracterizar sus propiedades antihiperlipidémicas *in vitro*. Esta caracterización permitirá proponer posibles aplicaciones de las cáscaras, en lugar de desecharlas, generando así valor adicional para esta parte de la fruta que suele ser ignorada.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Material vegetal

Piña (*Ananas comosus*), variedad 'MD2', en estado de madurez de consumo comercial, se obtuvo en la Central de Abasto de Hermosillo, Sonora, México. Se

eligieron frutas sin daños aparentes y libres de hongos; se lavaron con agua purificada comercial y se desinfectaron sumergiéndolas en una solución de hipoclorito de sodio (0.3 mL/L) durante 3 minutos. A los frutos limpios se les retiró la cáscara manualmente con un cuchillo de acero inoxidable desinfectado. Las cáscaras se secaron en un horno (FD-23, Binder GmbH, Tuttlingen, Germany) a 40°C durante 12 horas. A continuación, las cáscaras secas se molieron en un molino para café Krups hasta obtener un polvo fino (que denominaremos harina), el cual se almacenó en la oscuridad en viales a 4°C hasta el momento de su análisis.

2.2. Obtención del extracto metanólico de harina de cáscara de piña

Los extractos metanólicos de harina de cáscara de piña (EMCP) se obtuvieron mezclando 1 gramo de harina con 10 mL de una solución metanol: agua (80:20 v/v). Las mezclas se sonicaron en un baño ultrasónico (Branson Ultrasonic Co., Danbury, CT, EUA) a 25 kHz durante 30 minutos. Posteriormente, los extractos se centrifugaron en una centrífuga Beckman Coulter Allegra™ 64R (EUA) a 9300 rpm durante 10 minutos a 4°C. Con los residuos se realizó una segunda extracción bajo las mismas condiciones. Los sobrenadantes de ambas extracciones se mezclaron y se utilizaron para determinar el contenido de compuestos fenólicos totales, la micelización del colesterol y el atrapamiento de las sales biliares. Para la determinación de la capacidad de inhibición enzimática, los sobrenadantes se sometieron a rotaevaporación a 40°C para eliminar el metanol y el agua residual se liofilizó. El extracto seco obtenido se almacenó hasta el momento del análisis.

2.3. Determinación de compuestos fenólicos

2.3.1. Contenido de compuestos fenólicos totales

El contenido de compuestos fenólicos totales se determinó de acuerdo con Baeza-Jiménez *et al.* (2026). Se adicionaron 30 µL de EMCP a 150 µL del reactivo Folin-Ciocalteu (2 N) en una microplaca de 96 pozos y se agitó suavemente durante 3 minutos. Después de ese tiempo, se adicionaron 120 µL de Na₂CO₃ al 7.5%. La microplaca se incubó durante 60 minutos a temperatura ambiente en la oscuridad. Después de ese tiempo, se determinó la absorbancia a 765 nm en un lector de microplacas (FLUOstar Omega BMG Labtech, Durham, NC, EE. UU.). Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico (mg AGE/g), calculados a partir de una curva de calibración de ácido gálico (0.01 a 0.7 mg/mL).

2.3.2. Determinación de compuestos fenólicos individuales

Los compuestos fenólicos de EMCP se evaluaron acorde a lo establecido por Velderrain-Rodríguez *et al.* (2018), utilizando un sistema UPLC (Acquity, Waters Co., Milford, MA, EE. UU.) con un detector de fotodiodos. La separación se realizó en una columna UPLC BEH C18 (1.7 µm, 3.0 × 100 mm). Los disolventes empleados, fase A (0.1%, v/v; ácido acético en agua) y fase B (0.1%, v/v; ácido acético en metanol) se inyectaron a un flujo de 0.7 mL/min, bajo un gradiente de 91% de A y 9% de B (0-15 min), del 9% al 14% de B (15-25 min) y del 15% de B (25-30 min).

Los compuestos fenólicos individuales se identificaron con base en sus tiempos de retención y espectros de absorción, comparados con los de sus respectivos estándares, y su concentración se estimó a partir de las curvas de calibración correspondientes. Los resultados se expresaron en µg/g de harina de cáscara.

2.4. Capacidad de atrapamiento de ácidos biliares

La capacidad de atrapamiento de EMCP con los ácidos biliares primarios (taurocólico) y secundarios (taurodeoxicólico y glicodesoxicólico) se evaluó mediante el método propuesto por Lin *et al.* (2020). Brevemente, 100 µL de EMCP (de 0.25 a 3.0 mg/mL) se mezclaron con 900 µL de ácidos biliares a una concentración de 2 mM en una solución salina de fosfatos 0.1 M, pH 7, y se incubaron durante 90 minutos a 37°C. Las mezclas se centrifugaron a 11,000 rpm durante 15 minutos. Los ácidos biliares libres en el sobrenadante se determinaron mediante un kit para ácidos biliares totales (Cosmo Bio Co. Ltd., Tokyo, Japón) de acuerdo con las instrucciones del fabricante. La colestiramina (3.0 mg/mL) se utilizó como control. La capacidad de atrapar a los ácidos biliares se reportó como porcentaje de retención.

2.5. Inhibición de la micelización de colesterol

Las micelas artificiales se prepararon según lo descrito por Lin *et al.* (2020). Mezclas de colesterol 2 mM, ácido oleico 1 mM y fosfatidilcolina 2.4 mM se disolvieron en metanol y la mezcla se secó bajo flujo de nitrógeno. Posteriormente, se añadió amortiguador salino de fosfatos 15 mM (pH 7.4) que contenía sal de taurocolato 6.6 mM. La suspensión se sonicó dos veces a 25 kHz durante 30 min para inducir la formación de micelas. Las soluciones de micelas se incubaron durante 8 h a 37°C. Se añadieron 25 µL de EMCP (0.25 a 4.0 mg/mL) o 25 µL de amortiguador salino de fosfatos (control) a las soluciones micelares y se incubaron durante 2 h adicionales a 37°C. A continuación, las soluciones se centrifugaron a 16,000 rpm durante 20 minutos a 25°C. La cantidad de colesterol en el sobrenadante (que representa el colesterol micelar) se determinó mediante un kit de análisis de colesterol total (Lab Assay™ Cholesterol Kit, Wako), según las instrucciones del fabricante. Los resultados se expresaron como porcentaje de inhibición de la micelización del colesterol.

2.6. Actividad enzimática

2.6.1. Inhibición de colesterol esterasa

La inhibición de la actividad de colesterol esterasa (Ceasa) se determinó según lo establecido por Pietsch & Gutschow (2002). Un volumen de 50 µL de EMCP, a concentraciones de 0.25 a 4.0 mg/mL, se incubó con una mezcla de 100 µL de ácido taurocólico 5.16 mM en amortiguador de fosfato de sodio 0.1 M y 90 µL de *p*-nitrofenilbutirato 0.2 mM (en amortiguador de fosfato de sodio, a pH 7.0, diluido con NaCl 100 mM). La reacción se inició añadiendo a la mezcla 50 µL de CEasa pancreática (1.0 mg/mL en amortiguador de fosfato de sodio, a pH 7.0). Después

de incubar durante 5 minutos a 25°C, se determinó la absorbancia a 405 nm en un lector de microplacas. Simvastatina (0.25 a 2.0 mg/mL) se utilizó como control positivo. Los resultados se expresaron como porcentaje de inhibición de CEasa.

2.6.2. Inhibición de la actividad de lipasa pancreática

La inhibición de la actividad de lipasa pancreática (LP) por los extractos se evaluó mediante el método de Worsztynowicz *et al.* (2014). Para ello, 20 µL de diferentes concentraciones de EMCP (0.25 a 4.0 mg/mL) y 20 µL de una solución de LP (1.0 mg/mL, en amortiguador de fosfato de sodio, a pH 7.0) se incubaron a 37°C por 10 minutos, después de ese tiempo se añadieron 140 µL de una solución de colato de sodio en amortiguador de fosfato de sodio 0.1 M que contenía goma arábica (0.55 mg/mL) y 20 µL de palmitato de *p*-nitrofenilo 0.01 M en isopropanol, y la mezcla se incubó a 37°C durante 10 minutos. El *p*-nitrofenilo liberado se determinó a 410 nm en un lector de microplacas tras incubar la mezcla durante 10 minutos a 37°C. Se utilizó orlistat como control positivo (0.25 a 4.0 mg/mL). Los resultados se expresaron como porcentaje de inhibición de LP.

Los porcentajes de inhibición se calcularon de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Inhibición} = [(A_{\text{blanco}} - A_{\text{extracto}}) / A_{\text{blanco}}] \times 100$$

Donde:

A_{blanco} es la absorbancia de la mezcla sin EMCP.

A_{extracto} es la absorbancia de la mezcla con EMCP.

Además, se determinó el valor de IC₅₀, definido como la concentración del extracto necesaria para inhibir el 50% de la actividad enzimática.

Los valores de IC₅₀ se obtuvieron mediante regresión del logaritmo de las concentraciones del extracto frente a la actividad inhibidora de CEasa y de LP.

2.7. Análisis estadístico

Todos los experimentos se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como media ± desviación estándar (DE). Se realizó una comparación de medias mediante el método de Tukey, con un nivel de significancia de $p < 0.05$. Los análisis se realizaron con el software NCSS 2012 (NCSS, LLC, Kaysville, UT, EE. UU.).

3. RESULTADOS

3.1. Contenido de compuestos fenólicos

EMCP presentó una concentración de compuestos fenólicos totales de 3.73 mg AGE/g. La identificación mediante UPLC-DAD reveló la presencia de seis compuestos: cinco ácidos fenólicos y un flavonoide. Entre los ácidos fenólicos identificados, el ácido *p*-cumárico (22.22 µg/g) es el más abundante, seguido del

ferúlico (20.60 $\mu\text{g/g}$), gálico (18.16 $\mu\text{g/g}$), sinápico (12.01 $\mu\text{g/g}$) y cafeico (6.54 $\mu\text{g/g}$); el único flavonoide identificado es la quercetina 3- β -D-glucósido (3.69 $\mu\text{g/g}$) (Fig. 1). La presencia de estos compuestos podría explicar las diversas bioactividades de las cáscaras de piña.

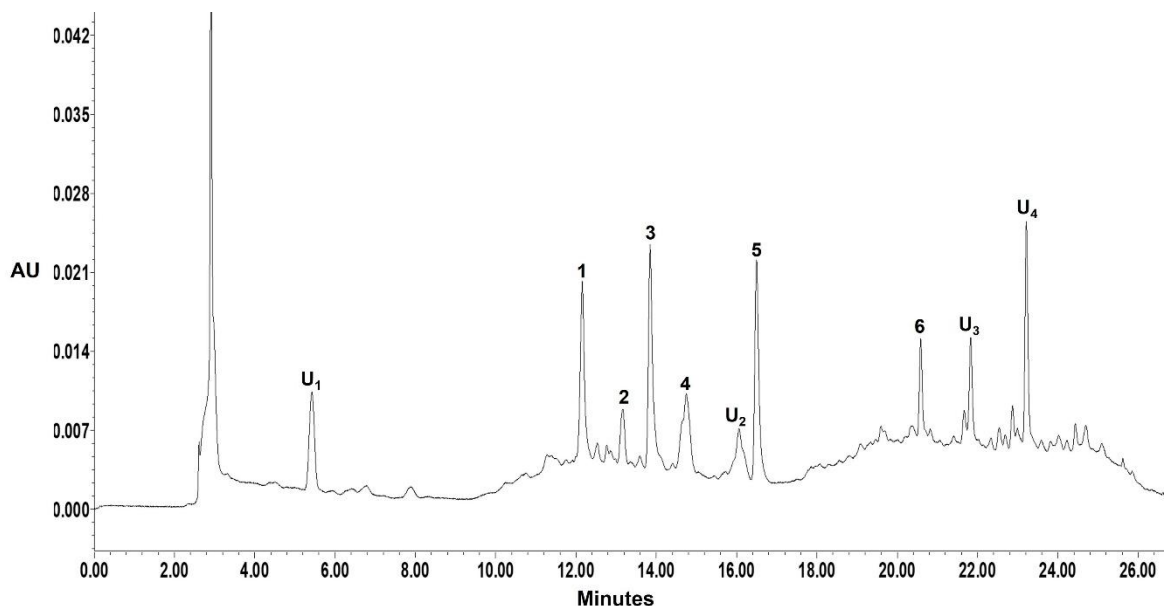


Fig. 1. Cromatograma del análisis UPLC-DAD de EMCP. Los números en los picos representan compuestos individuales. U₁) No identificado, 1) Ácido gálico, 2) Ácido cafeico, 3) Ácido *p*-cumárico, 4) Ácido sinápico, U₂) No identificado, 5) Ácido ferúlico, 6) Quercetina 3- β -D-glucósido, U₃) No identificado, U₄) No identificado.

Fig. 1. Chromatogram of the HPLC-DAD analysis of EMCP. Peak numbers represent individual compounds. U₁) Unidentified, 1) Gallic acid, 2) Caffeic acid, 3) *p*-coumaric acid, 4) Sinapic acid, U₂) Unidentified, 5) Ferulic acid, 6) Quercetin 3- β -D-glucoside, U₃) Unidentified, U₄) Unidentified.

En el material suplementario se muestran los espectros de los estándares, así como las estructuras químicas de los compuestos fenólicos detectados en el análisis de EMCP. Fig. S1: Ácido gálico, Fig. S2: Ácido cafeico, Fig. S3: Ácido *p*-cumárico, Fig. S4: Ácido sinápico, Fig. S5: Ácido ferúlico, Fig. S6: Quercetina 3- β -D-glucósido.

3.2. Capacidad de atrapamiento de ácidos biliares

Para evaluar el efecto del EMCP sobre el atrapamiento de los ácidos biliares, se determinó su afinidad por los ácidos biliares primarios (taurocólico) y secundarios (taurodeoxicólico y glicodesoxicólico).

Como se muestra en la Tabla 1, EMCP presentó una capacidad de atrapamiento independiente de la concentración, con mayor afinidad por el ácido taurodeoxicólico (del 25.11 al 40.34%), seguida del ácido taurocólico (del 22.43 al 37.69%) y, finalmente, del ácido glicodesoxicólico (del 18.65 al 31.67%) a las concentraciones mínima y máxima probadas (0.25 mg/mL y 3.0 mg/mL, respectivamente). La colestiramina (un secuestrante de ácidos biliares) a la máxima dosis probada (3.0

mg/mL) se unió 52.34% al ácido glicodesoxicólico, 42.70% al ácido taurodesoxicólico y 27.7% al ácido taurodeoxicólico.

Tabla 1. Capacidad de atrapamiento de ácidos biliares por EMCP.

Table 1. Bile acid trapping capacity by EMCP.

Ácido biliar	Concentración (mg/mL)				
	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0
ATC	22.43 ± 0.93 ^d	27.11 ± 1.66 ^c	34.11 ± 1.11 ^{ab}	37.32 ± 3.98 ^a	37.69 ± 1.70 ^a
AGDC	18.65 ± 0.86 ^d	24.61 ± 0.88 ^c	27.43 ± 1.66 ^b	31.12 ± 1.71 ^a	31.67 ± 2.02 ^a
ATDC	25.11 ± 1.11 ^d	33.19 ± 2.66 ^{bc}	35.30 ± 1.17 ^b	40.03 ± 3.44 ^a	40.34 ± 2.17 ^a

Los datos se expresan como media y desviación estándar (n = 3). ^{a-d} Los valores en la misma fila con letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (p < 0.05).

ATC: Ácido taurocólico; AGDC: Ácido glicodesoxicólico; ATDC: Ácido taurodeoxicólico.

The data are expressed as mean and standard deviation (n = 3). ^{a-d} Values in the same row with different letters in the same row indicate significant differences (p < 0.05).

ATC: Taurocholic acid; GDCA: Glycodeoxycholic acid; TDCA: Taurodeoxycholic acid.

3.3. Capacidad de inhibición de la micelización de colesterol

La figura 2 muestra el porcentaje de inhibición de la micelización del colesterol inducida por EMCP a distintas concentraciones. La inhibición se muestra dependiente de la concentración EMCP con una actividad inhibitoria de 9.56% a 43.45%.

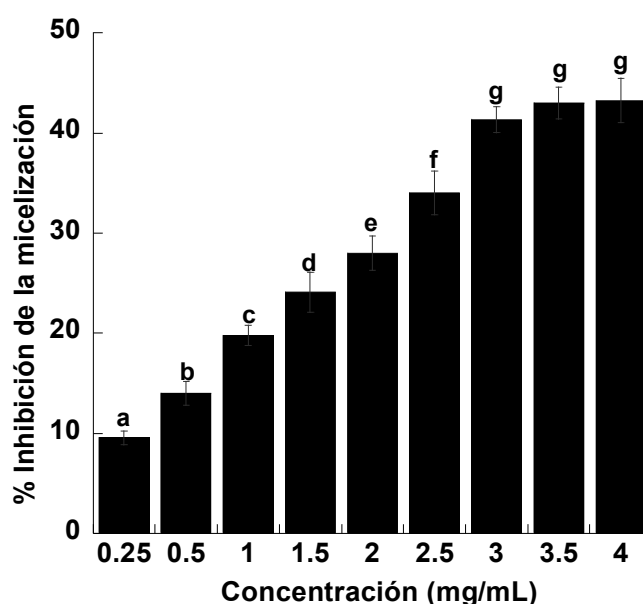


Fig. 2. Inhibición de la micelización de colesterol por EMCP. Los valores se presentan como media y desviación estándar (n = 3). ^{a-g} Diferentes letras sobre las barras indican diferencias significativas (p < 0.05).

Fig. 2. Inhibition of cholesterol micellization by EMCP. Values are presented as mean and standard deviation (n = 3). ^{a-g} Different letters above bars indicate significant differences (p < 0.05).

3.4. Efecto de EMCP sobre la actividad enzimática

Los resultados revelaron una inhibición dependiente de la concentración (Fig. 3) mostrando que el potencial inhibidor de EMCP sobre la enzima CEasa (75%, IC₅₀ = 1.12 mg/mL), la cual es muy cercana a la simvastatina (79.34%, IC₅₀ = 1.02 mg/mL), y mostró menor efecto sobre la enzima LP (50.81%, IC₅₀ = 2.34 mg/mL). Orlistat alcanzó una inhibición del 96.4% (IC₅₀ = 0.28 mg/mL) a la máxima concentración probada de 4.0 mg/mL.

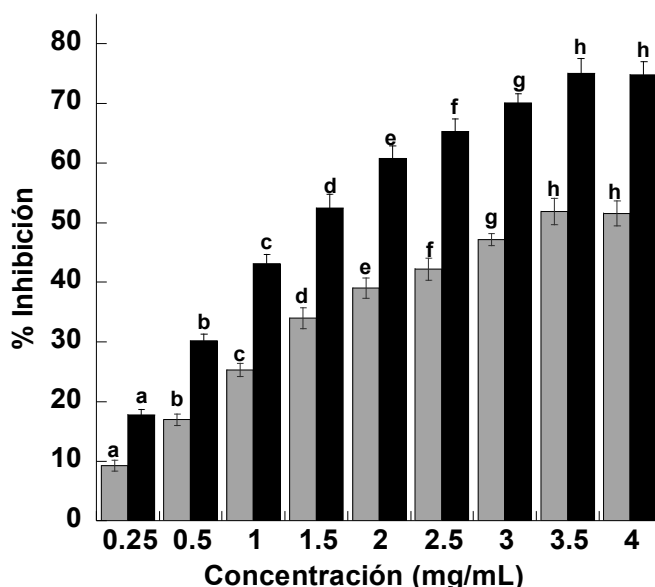


Fig. 3. Inhibición de la actividad de las enzimas lipasa pancreática (barras grises) y colesterol esterasa (barras negras) de los EMCP. ^{a-h} Diferentes letras sobre las barras de cada actividad enzimática indican diferencias significativas (p < 0.05).

Fig. 3. Inhibition of enzymatic activity of pancreatic lipase (gray bars) and cholesterol esterase (black bars) from EMCP. ^{a-h} Different letters above the bars of each enzymatic activity indicate significant differences (p < 0.05).

4. DISCUSIÓN

Los compuestos fenólicos se consideran los principales contribuyentes a las diferentes bioactividades, entre ellas la antihiperlipidémica, en plantas medicinales y en subproductos de frutas, como sus cáscaras. Los valores de compuestos fenólicos totales obtenidos en este estudio son superiores a los reportados por Lopez-Martínez *et al.* (2023) en extractos etanólicos de cáscara de piña variedad

'MD2' (2.66 mg EAG/g) e inferiores a los reportados por Suleria *et al.* (2020) y Mala *et al.* (2024), con valores de 7.63 mg EAG/g y 7.39 mg EAG/g, en extractos etanólicos de cáscaras de piña de las variedades reina y cayena lisa, respectivamente. El perfil fenólico en este estudio (Fig. 1) es similar al obtenido por Lopez-Martínez *et al.* (2023) en extractos etanólicos de cáscara de piña madura variedad 'MD2'; no obstante, existen diferencias en las concentraciones de cada compuesto fenólico reportado. Los autores reportan el ácido ferúlico como el más abundante (72.42 µg/g), seguido del ácido gálico (9.37 µg/g) y del ácido *p*-cumárico (7.47 µg/g). Al igual que en nuestro estudio, Lubaina *et al.* (2020) reportaron la presencia de ácido cafeico (0.027 µg/g) en extractos de cáscaras de piña de la variedad 'Mauritiu', obtenidos mediante una mezcla de éter de petróleo, acetato de etilo, etanol y agua.

Por otra parte, Zampar *et al.* (2022) reportaron la presencia de ácido siríngico (32.72 µg/g) y ácido trans-cinámico (39.26 µg/g) en extractos etanólicos obtenidos mediante ultrasonido de cáscaras de piñas de Brasil. Mala *et al.* (2024) identificaron ácido vanílico (21.63 µg/g), quercetina (2.92 µg/g), catequina (29.85 µg/g) y rutina (5.63 µg/g) en extractos etanólicos de cáscaras de piña de la variedad 'Cayena lisa', compuestos fenólicos que no se detectaron en este estudio.

Las diferencias en el contenido de compuestos fenólicos totales, así como en los compuestos fenólicos individuales, pueden deberse a la variedad, el origen y la etapa de maduración de la fruta utilizada, a los procesos de secado empleados y a las condiciones específicas durante la producción y el análisis de los extractos (Baeza-Jiménez *et al.*, 2026; Zhang *et al.*, 2024). No todos los picos detectados en EMCP en la determinación por UPLC fueron identificados; el uso de otros sistemas de detección, como HPLC-MS, permitiría un rango de identificación más amplio de compuestos fenólicos.

Se ha propuesto que la unión de los ácidos biliares a los compuestos fenólicos genera complejos insolubles en el intestino y, como consecuencia, un aumento de su excreción fecal podría ser un mecanismo para reducir el nivel de colesterol plasmático (Ontawong *et al.*, 2019). EMCP demostró la capacidad de unirse tanto a ácidos biliares primarios como a secundarios, independientemente de la concentración (Tabla 1). Un comportamiento similar al observado en nuestros resultados fue reportado por Inchai *et al.* (2026); los autores hipotetizan que la ausencia de un efecto dependiente de la concentración podría deberse a la saturación de los sitios de unión de los ácidos biliares por los compuestos fenólicos presentes en los extractos acuosos de flores de albahaca (*Ocimum sanctum* L.).

Estudios previos han mostrado el efecto de extractos de plantas y subproductos de frutas sobre la capacidad de capturar ácidos biliares en modelos *in vitro*, lo que sugiere que el atrapamiento se debe a su contenido de compuestos fenólicos (Aissata *et al.*, 2019; Da Ressurreição *et al.*, 2022; Baeza-Jiménez *et al.*, 2026).

La reducción de la absorción de colesterol mediante la disminución de la solubilidad de sus micelas en el lumen intestinal, inducida por compuestos de origen natural, es una estrategia plausible para el tratamiento de la hiperlipidemia (Kuriya *et al.*, 2023; Inchai *et al.*, 2026). En este contexto, la presencia de compuestos fenólicos en extractos de pulpas de frutas y de sus cáscaras ha demostrado su capacidad para inhibir la formación de la estructura micelar, esencial para la absorción de colesterol en el intestino. Ngamukote *et al.* (2011) demostraron que ácidos fenólicos,

como el ácido gálico, presentes en subproductos de frutas, son capaces de inhibir la micelización del colesterol en un 50% a una concentración de 100 µg/mL. Los autores sugieren que esta inhibición podría estar asociada a cambios en la estructura de las micelas del colesterol. Este ácido fenólico también se identificó en el EMCP de nuestro estudio (Fig. 1). Resultados similares a los nuestros (Fig. 2) fueron reportados por Adisakwattana *et al.* (2010), quienes indicaron que los extractos de semilla de uva ricos en catequina, ácido gálico y epicatequina inhibieron la formación de micelas de colesterol. De acuerdo con Su *et al.* (2016), la interacción entre extractos acuosos de melón amargo y colesterol provoca un aumento del tamaño de las micelas, lo que induce su coprecipitación debido a la disminución de la solubilidad del colesterol. Este complejo se observó mediante microscopía electrónica de transmisión, lo que confirmó la interacción entre el colesterol y los compuestos fenólicos presentes en el extracto acuoso.

La hiperlipidemia es un conjunto de trastornos del metabolismo caracterizados por niveles elevados de triglicéridos y colesterol en sangre (Shattat, 2015). Una de las estrategias más significativas en la prevención y el tratamiento de la hiperlipidemia incluye ralentizar la digestión y la absorción de las grasas mediante mecanismos gastrointestinales, como la inhibición de las actividades de las enzimas CEasa y LP. Los estudios sobre la inhibición de estas enzimas se han realizado ampliamente en extractos de plantas medicinales (Zor *et al.*, 2023; Yang *et al.*, 2025). Sin embargo, las investigaciones sobre los subproductos de frutas son escasas.

Los extractos metanólicos de la cáscara de piña MD2 contienen cantidades variables de ácido gálico, quercetina y otros compuestos fenólicos. Por lo tanto, los compuestos fenólicos presentes en la cáscara podrían desempeñar un papel significativo en la inhibición de la actividad del CEasa. En este contexto, Sukketsiri *et al.* (2023) evaluaron extractos etanólicos de maracuyá, reportando una inhibición del 70% y un valor de IC₅₀ = 0.34 mg/mL para la CEasa, lo que representa extractos más activos que los reportados en nuestro estudio (Fig. 3). En nuestra revisión de la literatura científica, podemos mencionar que es la primera vez que se reporta la inhibición de la CEasa por subproductos de piña.

Los valores de inhibición de la LP obtenidos en este estudio (Fig. 3) son menores que los descritos por Huang *et al.* (2020), con valores de IC₅₀ = 0.164 mg/mL y 0.216 mg/mL para extractos acuosos de cáscara de limón y de cáscara de toronja, respectivamente, pero son mayores a los valores reportados en extractos etanólicos de cáscara de guayaba (IC₅₀ = 3.50 mg/mL), y similares a los obtenidos en extractos etanólicos de cáscara de mamey (IC₅₀ = 2.61 mg/mL) reportados por López-Martínez *et al.* (2023).

Los compuestos fenólicos identificados en EMCP han sido reportados como inhibidores de la actividad de la CEasa y de la LP y podrían ser los responsables del efecto observado (Sukketsiri *et al.*, 2023; López-Martínez *et al.*, 2023).

5. CONCLUSIÓN

Este estudio muestra la aplicación potencial de un subproducto que suele ser desechado: un residuo agroindustrial. Los extractos metanólicos de cáscara de piña evaluados retrasaron la digestión y la absorción de grasas mediante la inhibición de la actividad de las enzimas lipasa pancreática y colesterol esterasa, así como de

otros mecanismos gastrointestinales importantes, como la inhibición de la micelización del colesterol y el atrapamiento de los ácidos biliares. Estas bioactividades se deben a la presencia de compuestos bioactivos en los extractos, como los compuestos fenólicos, lo que evidencia los importantes efectos benéficos para la salud al revalorizar este residuo como ingrediente funcional en el tratamiento de la hiperlipidemia. Se requieren investigaciones adicionales *in vivo* sobre las propiedades de los subproductos de frutas, como el de la piña, así como sobre su potencial mecanismo de acción.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto fue financiado por SECIHTI, con el número CBF2023-2024-2808 “Bioaccesibilidad de compuestos fenólicos y actividad antiobesogénica de un alimento desarrollado con subproductos de frutas tropicales, en un modelo de digestión *in vitro*”. Otorgado a L.X. López-Martínez. Este estudio se enmarca en los objetivos del proyecto 997, denominado “Fenoles y fibra de frutos tropicales. Interacciones y biodisponibilidad en digestiones *in vitro*”, del Programa Investigadoras e Investigadores por México del CONAHCYT”.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Ramiro Baeza-Jiménez: Investigación, visualización y redacción - revisión y edición. Gustavo A. González-Aguilar: Supervisión y redacción - revisión y edición. Leticia Xochitl López-Martínez: Administración del proyecto, supervisión, redacción - borrador original, redacción - revisión y edición, y obtención del financiamiento.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- Adisakwattana, S., Intrawangso, J., Hemrid, A., Chanathong, B., & Mäkynen, K. (2012). Extracts of edible plants inhibit pancreatic lipase, cholesterol esterase and cholesterol micellization, and bind bile acids. *Food Technology and Biotechnology*, 50(1), 11–16.
- Adisakwattana, S., Moonrat, J., Srichairat, S., Chanasit, C., Tirapongporn, H., Chanathong, B., Ngamukote, S., Mäkynen, K., & Sapwarabol, S. (2010). Lipid-lowering mechanisms of grape seed extract (*Vitis vinifera* L.) and its antihyperlipidemic activity. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(20), 2113–2120.
- Aissata, K. M., Wenping, L., Lamine, T. S., Barra, C. J., & Sidikiba, S. (2019). Effect of selected plant extracts on pancreatic lipase inhibition, pancreatic cholesterol esterase activities and cholesterol micellization. *Journal of Academia and Industrial Research*, 7(11), 150–157.

- Azizan, A., Lee, A. X., Abdul Hamid, N. A., Maulidiani, M., Mediani, A., Abdul Ghafar, S. Z., Zulaikha Zolkeflee, N. K., & Abas, F. (2020). Potentially bioactive metabolites from pineapple waste extracts and their antioxidant and α -glucosidase inhibitory activities by ^1H NMR. *Foods*, 9(2), 173. <https://doi.org/10.3390/foods9020173>
- Baeza-Jiménez, R., Noriega-Rodríguez, J. A., Villegas-Ochoa, M. A., González-Aguilar, G. A., & López-Martínez, L. X. (2026). Guava byproducts (*Psidium guajava* L.) as a source of phenolic compounds with in vitro antihyperlipidemic potential. *Molecules*, 31(10), 1647. <https://doi.org/10.3390/molecules31101647>
- Da Ressurreição, S., Pedreiro, S., Batista, M. T., & Figueirinha, A. (2022). Effect of phenolic compounds from *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. leaves on micellar solubility of cholesterol. *Molecules*, 27(21), 7338. <https://doi.org/10.3390/molecules27217338>
- He, X., Chen, L., Pu, Y., Cao, J., Jiang, W., Liu, L., & Shu, C. (2024). Evaluation of cholesterol and cholates binding capacity and mechanism exploration of 'Yali' pear polyphenol extracts: In vitro. *Food Innovation and Advances*, 3(3), 268–278. <http://www.maxapress.com/article/doi/10.48130/fia-0024-0025>
- Huang, R., Zhang, Y., Shen, S., Zhi, Z., Cheng, H., Chen, S., & Ye, X. (2020). Antioxidant and pancreatic lipase inhibitory effects of flavonoids from different citrus peel extracts: An in vitro study. *Food Chemistry*, 326, 126785. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126785>
- Inchai, J., Ontawong, A., Trisuwan, K., Tunkaew, K., Holasut, P., Saithong, T., Yasanga, T., & Vaddhanaphuti, C. S. (2026). Inhibition of intestinal cholesterol absorption by *Ocimum sanctum* L. flower aqueous extract via changing physicochemical properties of cholesterol micelles. *Journal of Food Biochemistry*, 2026(1), 8639786. <https://doi.org/10.1155/jfbc/8639786>
- Kuriya, K., Goto, S., Kobayashi, E., Nishio, M., Nakamura, M., & Umekawa, H. (2023). Cholesterol-lowering activity of adzuki bean (*Vigna angularis*) polyphenols. *Molecular Biology Reports*, 50(7), 5575–5584. <https://doi.org/10.1007/s11033-023-08481-7>
- Lin, T., O'Keefe, S., Duncan, S., & Fernández-Fraguas, C. (2020). Manipulation of the dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) matrix by hydrothermal and high-pressure treatments: Impact on in vitro bile salt-binding ability. *Food Chemistry*, 310, 125699. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125699>
- Lopez-Martínez, L. X., Villegas-Ochoa, M. A., Domínguez-Ávila, J. A., Yahia, E. M., & González-Aguilar, G. A. (2023). Techno-functional and bioactive properties and chemical composition of guava, mamey sapote, and passion fruit peels. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 73(4). <https://doi.org/10.31883/pjfn/173218>

Lubaina, A. S., Renjith, P. R., Roshni, A. S., & Thompson, J. (2020). Identification and quantification of polyphenols from pineapple peel by high-performance liquid chromatography analysis. *Advances in Zoology and Botany*, 8(5), 431–438.

Mala, T., Piayura, S., & Itthivadhanapong, P. (2024). Characterization of dried pineapple (*Ananas comosus* L.) peel powder and its application as a novel functional food ingredient in cracker product. *Future Foods*, 9, 100322. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100322>

Molina, O. M., Domínguez-Avila, J. A., Lopez-Martínez, L. X., Pareek, S., Santana, T. J. M., & Aguilar, G. A. G. (2023). Valorization of tropical fruit peel powders: Physicochemical composition, techno-functional properties, and in vitro antioxidant and antidiabetic activities. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 35, 577–587.

Ngamukote, S., Mäkynen, K., Thilawech, T., & Adisakwattana, S. (2011). Cholesterol-lowering activity of the major polyphenols in grape seed. *Molecules*, 16(6), 5054–5061. <https://doi.org/10.3390/molecules16065054>

Ontawong, A., Duangjai, A., Muanprasat, C., Pasachan, T., Pongchaidecha, A., Amornlerdpison, D., & Srimaroeng, C. (2019). Lipid-lowering effects of *Coffea arabica* pulp aqueous extract in Caco-2 cells and hypercholesterolemic rats. *Phytomedicine*, 52, 187–197. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2018.06.021>

Pietsch, M., & Gütschow, M. (2002). Alternate substrate inhibition of cholesterol esterase by thieno [2, 3-d][1, 3] oxazin-4-ones. *Journal of Biological Chemistry*, 277(27), 24006–24013. <https://doi.org/10.1074/jbc.M112252200>

Ros, E. (2000). Intestinal absorption of triglyceride and cholesterol. Dietary and pharmacological inhibition to reduce cardiovascular risk. *Atherosclerosis*, 151(2), 357–379. [https://doi.org/10.1016/S0021-9150\(00\)00456-1](https://doi.org/10.1016/S0021-9150(00)00456-1)

Saeed, A., Feofanova, E., Yu, B., Virani, S., Nambi, V., Coresh, J., Guild, C., Sun, W., Boerwinkle, E., Ballantyne, C., & Hoogeveen, R. (2017). Association of elevated triglycerides and atherogenic lipoproteins with cardiovascular diseases: Insights from genetic data in the atherosclerosis risk in communities study. *Journal of Clinical Lipidology*, 11(3), 788. <https://doi.org/10.1016/j.jacl.2017.04.028>

Shattat, G. F. (2015). A review article on hyperlipidemia: Types, treatments and new drug targets. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 7(1), 399–409. <https://doi.org/10.13005/bpj/504>

Song, H., Zhang, Y., Huang, Q., Deng, R., & Zheng, X. (2023). *Averrhoa carambola* L. fruit polyphenols ameliorate hyperlipidemia, hepatic steatosis, and hyperglycemia by modulating lipid and glucose metabolism in mice with obesity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(13), 6531–6539. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12731>

- Su, J., Wang, H., Ma, C., Liu, C., Gao, C., Nie, R., & Tanver Rahman, M. R. (2016). Hypocholesterolaemic mechanism of bitter melon aqueous extracts via inhibition of pancreatic cholesterol esterase and reduction of cholesterol micellar solubility. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 67(1), 20–28. <https://doi.org/10.3109/09637486.2015.1121470>
- Sukketsiri, W., Daodee, S., Parhira, S., Malakul, W., Tunsophon, S., Sutthiwong, N., Tanasawet, S., & Chonpathompikunlert, P. (2023). Chemical characterization of *Passiflora edulis* extracts and their in vitro antioxidant, anti-inflammatory, anti-lipid activities, and ex-vivo vasodilation effect. *Journal of King Saud University-Science*, 35(1), 102431. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102431>
- Suleria, H. A., Barrow, C. J., & Dunshea, F. R. (2020). Screening and characterization of phenolic compounds and their antioxidant capacity in different fruit peels. *Foods*, 9(9), 1206. <https://doi.org/10.3390/foods9091206>
- Velderrain-Rodríguez, G. R., Torres-Moreno, H., Villegas-Ochoa, M. A., Ayala-Zavala, J. F., Robles-Zepeda, R. E., Wall-Medrano, A., & González-Aguilar, G. A. (2018). Gallic acid content and an antioxidant mechanism are responsible for the antiproliferative activity of 'Ataulfo' mango peel on LS180 cells. *Molecules*, 23(3), 695. <https://doi.org/10.3390/molecules23030695>
- Verma, N. (2016). Introduction to hyperlipidemia and its treatment: A review. *International Journal of Current Pharmaceutical Review and Research*, 9(1), 6–14. <https://doi.org/10.22159/ijcpr.2017v9i1.16616>
- Wang, X., Ren, Y., Li, S., Guo, C., & Gao, Z. (2024). Development of a polyphenol-enriched whole kiwifruit dietary supplement and its potential in ameliorating hyperlipidemia. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(4), 2142–2155. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13099>
- Worsztynowicz, P., Napierała, M., Białas, W., Grajek, W., & Olkiewicz, M. (2014). Pancreatic α -amylase and lipase inhibitory activity of polyphenolic compounds present in the extract of black chokeberry (*Aronia melanocarpa* L.). *Process Biochemistry*, 49(9), 1457–1463. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.06.002>
- Yang, J., Jiang, W., Park, J. H., Seong, E. S., Kwon, Y. S., & Kim, M. J. (2025). Antioxidant and pancreatic lipase inhibitory activities of *Panax japonicus* (T. Nees) CA Meyer. *Plants*, 14(13), 2003. <https://doi.org/10.3390/plants14132003>
- Zampar, G. G., Zampar, I. C., de Souza, S. B. D. S., da Silva, C., & Barros, B. C. B. (2022). Effect of solvent mixtures on the ultrasound-assisted extraction of compounds from pineapple by-product. *Food Bioscience*, 50, 102098. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102098>

Zhang, Q., Peng, Y., Li, F., Xu, Y., Zhang, Q., Wu, D., Chen, M., Lin, S., & Qin, W. (2024). An updated review of composition, health benefits, and applications of phenolic compounds in *Ficus Carica* L. *Efood*, 5(3), e154.

Zor, M., Özüpek, B., Pekacar, S., & Deliorman Orhan, D. (2023). Antioxidants, enzyme inhibitory activities, and phytochemical profiles of seven medicinal plants grown with organic farming techniques. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 47(6), 918–930. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3137>

MATERIAL SUPLEMENTARIO

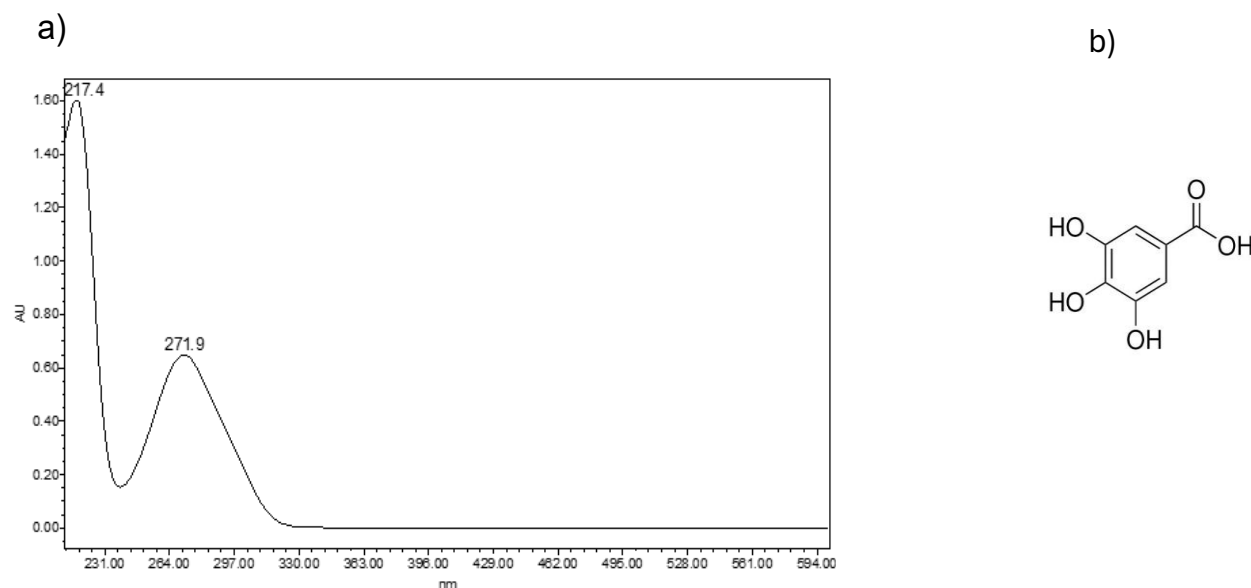


Fig. S1. Espectro de absorción UV-visible del estándar de ácido gálico (a) y estructura química del ácido gálico (b).

Fig. S1. UV-visible absorption spectrum of the gallic acid standard (a) and chemical structure of gallic acid (b).

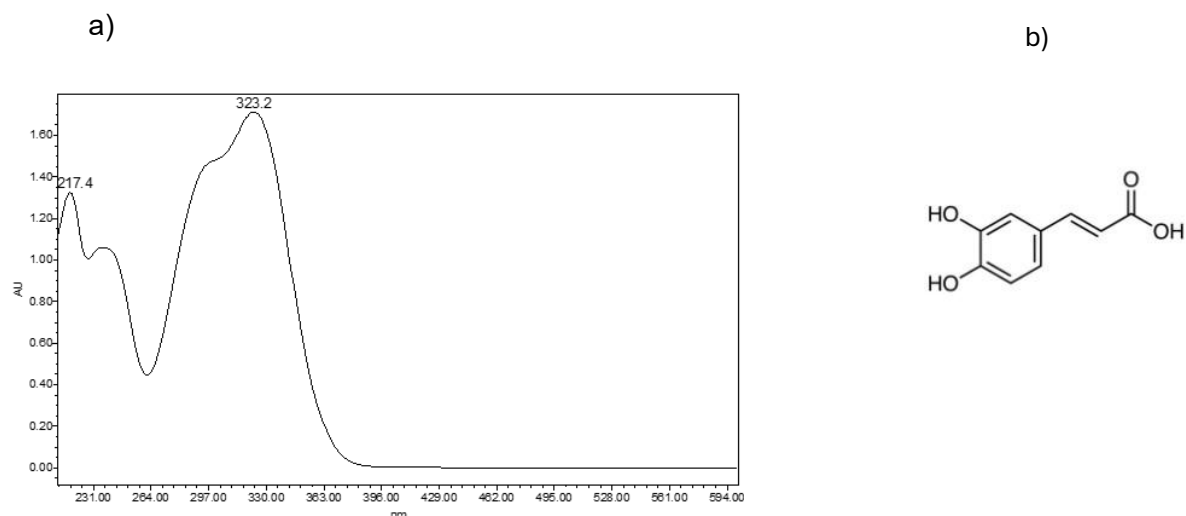


Fig. S2. Espectro de absorción UV-visible del estándar de ácido cafeico (a) y estructura química del ácido cafeico b).

Fig. S2. UV-visible absorption spectrum of the caffeic acid standard (a) and chemical structure of caffeic acid (b).

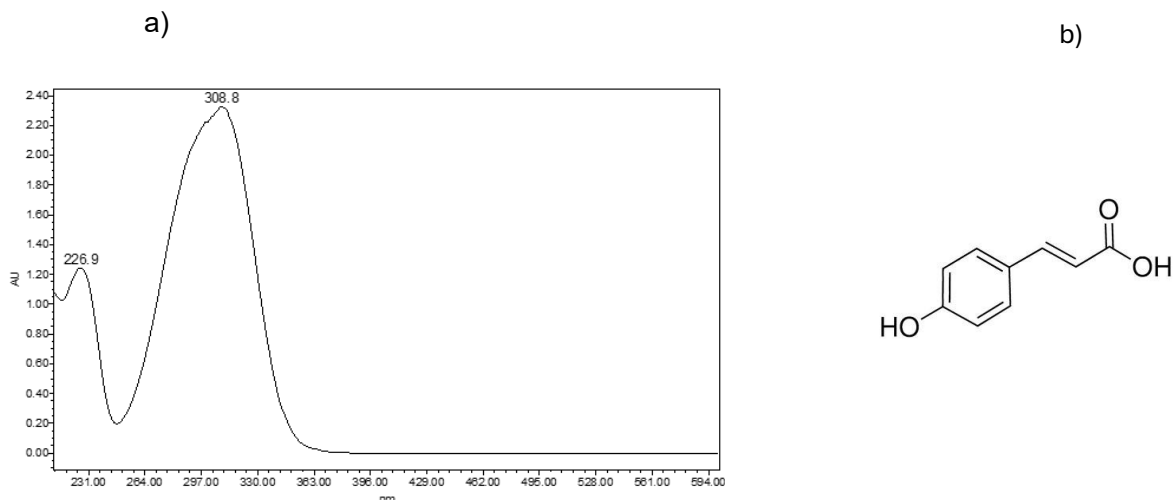


Fig. S3. Espectro de absorción UV-visible del estándar de ácido p-cumárico (a) y estructura química del ácido p-cumárico (b).

Fig. S3. UV-visible absorption spectrum of the p-coumaric acid standard (a) and chemical structure of p-coumaric acid (b).

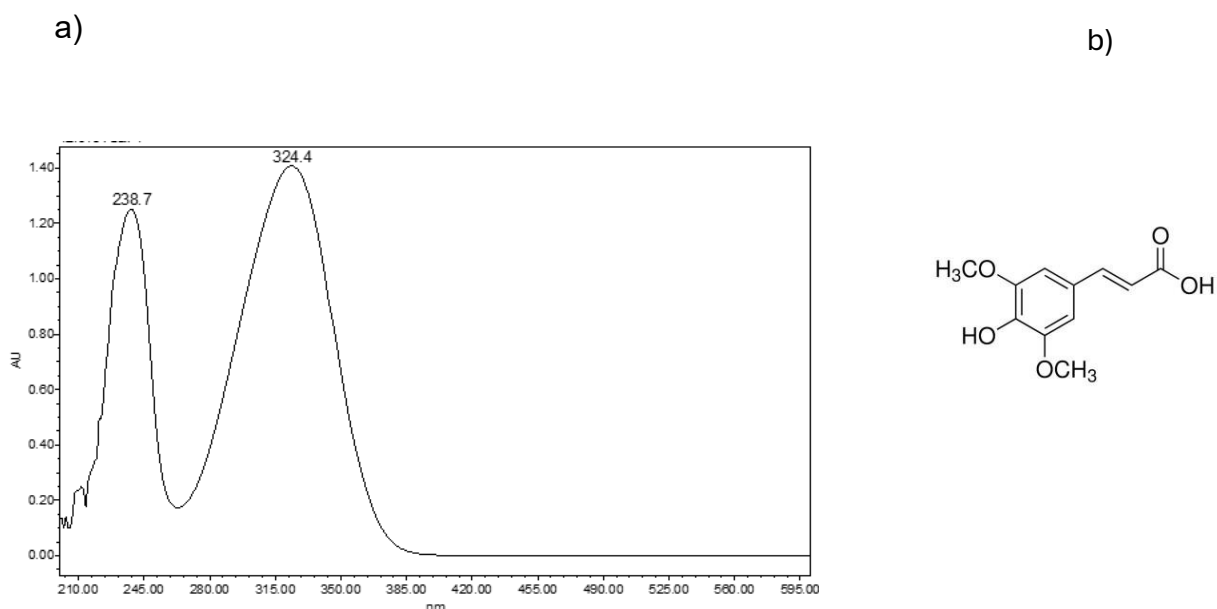


Fig. S4. Espectro de absorción UV-visible del estándar de ácido sinápico (a) y estructura química del ácido sinápico (b).

Fig. S4. UV-visible absorption spectrum of the sinapic acid standard (a) and chemical structure of sinapic acid (b).

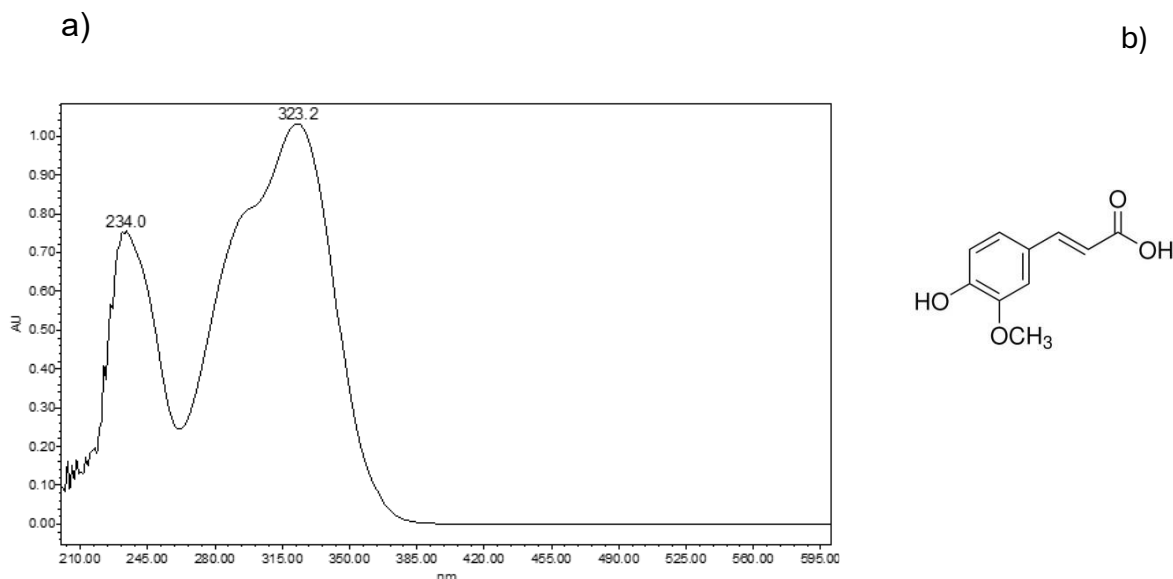


Fig. S5. Espectro de absorción UV-visible del estándar de ácido ferúlico (a) y estructura química del ácido ferúlico (b).

Fig. S5. UV-visible absorption spectrum of the ferulic acid standard (a) and chemical structure of ferulic acid (b).

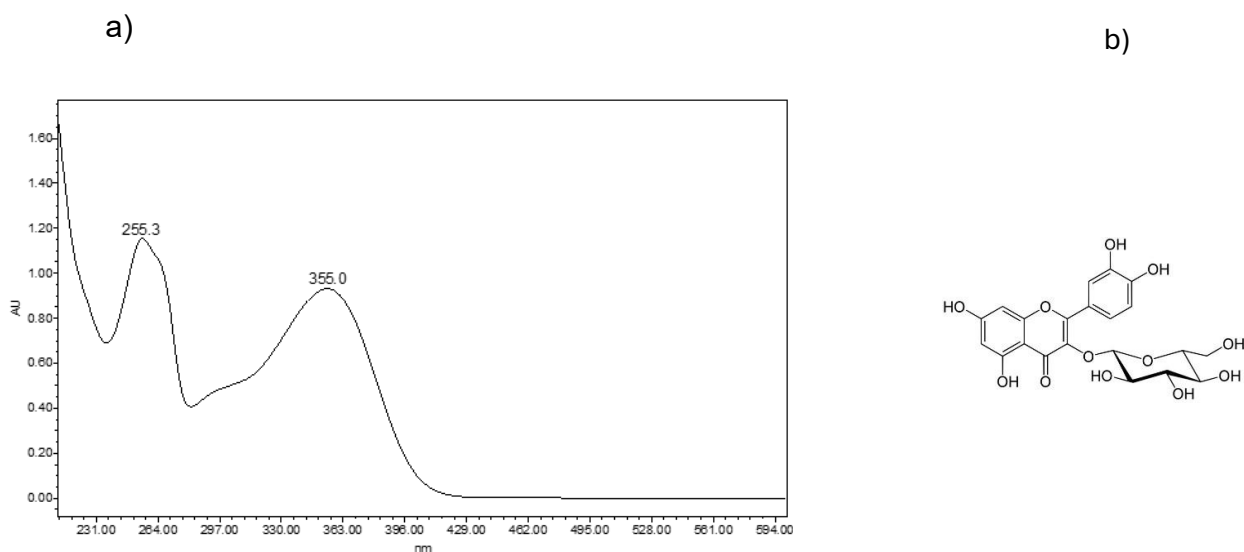


Fig. S6. Espectro de absorción UV-visible del estándar de quercetina-3-β-D-glucósido (a) y estructura química de quercetina-3-β-D-glucósido (b).

Fig. S6. UV-visible absorption spectrum of the quercetin-3-β-D-glucoside standard (a) and chemical structure of quercetin-3-β-D-glucoside (b).