

# Compuestos bioactivos en granos subutilizados de café verde como una ruta para su revalorización

## Bioactive compound content in underutilized green coffee beans as a route for their revalorization

Blanca Aidé Albarrán-Contreras<sup>1</sup>, Luis Jorge Coronado Cáceres<sup>1</sup>, Juan Carlos Mateos Díaz<sup>2</sup> y Gustavo Adolfo Castillo Herrera<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> *Tecnología Alimentaria. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ) Camino Arenero 1227, El Bajío del Arenal, Zapopan, Jalisco, México.*

<sup>2</sup> *Biotecnología Industrial. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C. (CIATEJ) Camino Arenero 1227, El Bajío del Arenal, Zapopan, Jalisco, México.*

\*Autor de correspondencia: Gustavo Adolfo Castillo Herrera, [gcastillo@ciatej.mx](mailto:gcastillo@ciatej.mx)

### Palabras clave:

Café verde, *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, ácido clorogénico, actividad antioxidante

### Keywords:

Green coffee, *Coffea arabica*, *Coffea canephora*, chlorogenic acid, antioxidant activity

Recibido: 07 de marzo 2025  
Revisado: 24 de mayo 2025  
Aceptado: 04 de junio 2025  
Publicado: 21 de julio 2025



Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

### Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar el contenido de compuestos bioactivos y el potencial antioxidante de dos tipos de granos de café verde con bajo valor comercial provenientes de Veracruz: el subproducto “Arábica desmanche” y la variedad Robusta. Se obtuvieron extractos acuosos para cuantificar fenoles, flavonoides, cafeína y ácido clorogénico (5-CQA), y se evaluó su actividad antioxidante mediante los ensayos ABTS y DPPH. Las determinaciones se realizaron por triplicado. Ambos extractos mostraron concentraciones importantes: cafeína (>10 mg/g), 5-CQA (>46 mg/g), fenoles (>28 mg GAE/g) y flavonoides (>7 mg QE/g). La actividad antioxidante también fue significativa, con valores de IC<sub>50</sub> para “desmanche” de 57.55 µg ACG/mL (ABTS) y 87.99 µg ACG/mL (DPPH) y para Robusta de 63.04 µg ACG/mL (ABTS) y 73.86 µg ACG/mL (DPPH). Estos resultados sugieren que ambos granos podrían aprovecharse como materias primas viables para la recuperación de bioactivos, generando valor agregado y nuevas oportunidades de comercialización.

### Abstract

The aim of this study was to evaluate the bioactive compound content and antioxidant potential of two types of low-commercial-value green coffee beans from Veracruz, Mexico: the by-product known as “Arábica desmanche” and the Robusta variety. Aqueous extracts were obtained to quantify total phenols, flavonoids, caffeine, and chlorogenic acid (5-CQA), and their antioxidant activity was assessed using ABTS and DPPH assays. All determinations were performed in triplicate. Both extracts showed notable concentrations of caffeine (>10 mg/g), 5-CQA (>46 mg/g), phenols (>28 mg GAE/g), and flavonoids (>7 mg QE/g). Antioxidant activity was also significant, with IC<sub>50</sub> values for “desmanche” of 57.55 µg ACG/mL (ABTS) and 87.99 µg ACG/mL (DPPH), and for Robusta of 63.04 µg ACG/mL (ABTS) and 73.86 µg ACG/mL (DPPH). These results suggest that both types of beans could serve as viable raw materials for bioactive compound recovery, offering added value and new commercialization opportunities.



## Introducción

El café es una de las bebidas no alcohólicas más consumidas en el mundo, con un consumo estimado de aproximadamente 3 millones de tazas al día. Las especies más cultivadas son *Coffea arabica* (Arábica) y *Coffea canephora* (Robusta), que representan el 66.6 y 33.4%, respectivamente, de la comercialización global de granos de café verdes durante el ciclo 2024-2025. El continente americano concentró el 44% de la producción y el 37% del consumo; México se posicionó entre los principales países productores (Organización Internacional del Café, 2025).

En México, los estados de Chiapas, Veracruz, Oaxaca y Puebla lideran la producción cafetalera, donde predomina la variedad Arábica con más del 96% de la producción. Sin embargo, existen productos de bajo aprovechamiento comercial, como el subproducto conocido como “Arábica desmanche” y la variedad Robusta, que representa menos del 1% de la producción nacional (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2025). El “Arábica desmanche” es una categoría en donde los granos presentan más del 30% de defectos, tales como manchados, negros, mordidos, quebrados, dañados, con cáscara, con presencia de hongos o con deformaciones. Este subproducto se clasifica en dos tipos: *granza*, cuando los granos no han estado en contacto con el suelo durante el beneficio y *barredura* cuando sí lo han tenido (Primero café, s/f).

El alto consumo de café ha despertado el interés científico por sus efectos en la salud. Estudios recientes en modelos animales han demostrado que una ingesta moderada puede tener propiedades antiinflamatorias (Ontawong et al., 2023), también se reporta que puede contribuir a la reducción de la grasa visceral (Bhandarkar et al., 2019), prevenir enfermedades cardiovasculares e incluso reducir la proliferación de tumores malignos en cáncer colorrectal (Silva et al., 2022). Estos beneficios se atribuyen a sus compuestos bioactivos, como los ácidos clorogénicos (ACGs), la cafeína y el ácido gálico (Dong et al., 2023; Kashksara et al., 2023; Várady et al., 2022).

A pesar de ello, la clasificación comercial del grano se basa en criterios físicos (color, tamaño, defectos) y no en su valor nutraceútico, según la NMX-F-597-SC-FI-2016 (Secretaría de Economía, 2016). No obstante, el grano verde conserva una mayor cantidad de compuestos bioactivos en comparación con el grano tostado, sobre todo los ACGs los más abundantes -especialmente el ácido 5-cafeoilquínico (5-CQA)- (Várady et al., 2022), junto con los alcaloides como la cafeína y la trigonelina (Dong et al., 2023; Kashksara et al., 2023; Panja, 2018). Su concentración varía según la variedad, el origen geográfico, las prácticas agronómicas, el manejo poscosecha, entre otros. Por ejemplo, Robusta suele presentar niveles más altos de ACGs y cafeína en comparación con Arábica (Gutiérrez Ortiz et al., 2019; Pedan et al., 2020).



El creciente interés en estos compuestos ha incrementado su demanda en las industrias farmacéutica, cosmética y alimentaria (Business Research Insights, 2025; Maximize Market Research, 2024; Verified Market Research, 2024). En 2023, el mercado global de la cafeína alcanzó los 840 millones de dólares y el del ácido clorogénico, 150 millones de dólares, con proyecciones de crecimiento sostenido para los próximos años (Maximize Market Research, 2024).

Ante este panorama, resulta necesario explorar el potencial de granos de café subvalorados como fuentes de compuestos bioactivos, sin afectar la producción destinada a cafés de especialidad. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar el contenido de cafeína, ácido clorogénico (5-CQA) y el potencial antioxidante de dos tipos de granos de café verde de Veracruz con bajo valor comercial: “desmanche” (variedad Arábica) y variedad Robusta.

## Materiales y métodos

### Muestras de granos de café verde

Se utilizaron dos muestras de grano de café verde provenientes de Veracruz, México: una de variedad Arábica (*C. arabica* L.) denominada “desmanche”, correspondiente a granos que no cumplen con los estándares de calidad para una taza de especialidad, y otra de variedad Robusta (*C. canephora*), que se usa en menor proporción para el consumo nacional. Ambas muestras fueron molidas en un molino de café (KitchenAid, BCG111OB) hasta obtener un tamaño de partícula promedio de 3.35 mm, determinado mediante tamizado con malla #6 (6 hilos por pulgada).

### Obtención de extractos

La extracción de compuestos bioactivos se realizó por lixiviación con agua caliente. Se pesaron 3g de café molido y se añadieron 15g de agua destilada a 95 °C. La mezcla se mantuvo en agitación constante durante 15 minutos, se enfrió a 25 °C y se centrifugó durante 15 minutos a 4000 rpm (Z 446 K, Hermle Labortechnik GmbH, Alemania). El sobrenadante se recolectó, y al pellet se le agregó nuevamente agua caliente (15g a 95°C), repitiendo el proceso. Este proceso se realizó en tres ciclos para recuperar la mayor cantidad de compuestos bioactivos (Ochoa Becerra, 2020). Las extracciones se efectuaron por triplicado para cada muestra.

### Cuantificación de compuestos bioactivos por HPTLC

La cuantificación se realizó de acuerdo con lo reportado por Pedan et al. (2020), con algunas modificaciones: los extractos acuosos (2.0 µL) se dosificaron sobre placas de TLC silica gel con marcador fluorescente f254 de aluminio de 10 x 10,



logrando colocar 12 muestras por placa. Se empleó una jeringa de 100  $\mu\text{L}$  y el Automatic TLC Linomat 5 (CAMAG, Muttenz, Switzerland). La separación del ácido clorogénico y cafeína se realizó con una fase móvil compuesta por acetato de etilo, tolueno, diclorometano, ácido fórmico y agua (11:1.75:0.75:0.65:0.65 v/v/v/v/v).

El análisis cualitativo y cuantitativo de los compuestos objetivo se realizó con densitometría, registrando los espectros de absorbancia-reflectancia en 275 nm para cafeína y 325 nm para ACG utilizando el escáner TLC 3 con el software winCATS 1.4.4 (CAMAG, Muttenz, Switzerland). La cuantificación se realizó utilizando curvas de calibración polinomial generadas con estándares de cada compuesto evaluado.

### **Determinación de fenoles**

El contenido total de fenoles (TPC) se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu, con modificaciones (Várady et al., 2022). En microplacas de 96 pocillos, se mezclaron 25  $\mu\text{L}$  de extracto con 100  $\mu\text{L}$  de reactivo Folin-Ciocalteu diluido 1:4 en agua destilada, la mezcla se agitó durante 60 segundos y se dejó reposar durante 4 minutos. Posteriormente, se añadieron 75  $\mu\text{L}$  de solución de carbonato de sodio (100 g/L), se agitó durante 60 segundos y se incubó durante 2 horas a temperatura ambiente. La absorbancia se leyó a 765 nm usando un espectrofotómetro UV/Vis (Infinite M200 Pro, Tecan, Suiza). Los resultados se expresaron como equivalentes de ácido gálico (mg GAE/g de café).

El contenido total de flavonoides (TFC) se midió con un ensayo colorimétrico modificado (Várady et al., 2022). En microplacas de 96 pocillos, se mezclaron 50  $\mu\text{L}$  de extracto con 10  $\mu\text{L}$  de solución de cloruro de aluminio al 10%, 150  $\mu\text{L}$  de etanol al 96% y 10  $\mu\text{L}$  de solución de acetato de sodio 1 M. Las placas se incubaron 40 minutos a temperatura ambiente, protegidas de la luz. La absorbancia se leyó a 415 nm utilizando un espectrofotómetro UV/Vis (Infinite M200 Pro, Tecan, Suiza). Los resultados se expresaron como equivalentes de quercetina (mg QE/g de café).

### **Determinación de la actividad antioxidante**

La actividad antioxidante se evaluó mediante los ensayos DPPH y ABTS.

Ensayo DPPH: Se siguió el método de Aissaoui et al. (2020), con algunas modificaciones. En microplacas de 96 pocillos, se mezclaron 20  $\mu\text{L}$  de extracto con 180  $\mu\text{L}$  de solución de DPPH (0.147 mM en metanol), preparada justo antes de su uso. La mezcla se incubó 30 minutos a temperatura ambiente y protegida de la luz. La absorbancia se midió a 517 nm utilizando un espectrofotómetro UV/Vis (Infinite M200 Pro, Tecan, Suiza). El porcentaje de inhibición se calculó con la ecuación:

$$\text{Inhibición (\%)} = \frac{(A_c - A_s)}{A_c} \times 100 \quad (1)$$



donde  $AC$  es la absorbancia del control y  $AS$  de la muestra. La concentración inhibitoria media ( $IC_{50}$ ) se determinó a partir de la curva de inhibición vs concentración.

Ensayo ABTS: El radical  $ABTS^+$  se generó mezclando una solución de ABTS (7 mM) con persulfato de potasio (2.45 mM). La mezcla se diluyó con metanol para obtener valores de absorbancia de 0.70 a 734 nm. Se siguió el método de Aissaoui et al. (2020) con algunas modificaciones. En microplacas de 96 pocillos se mezclaron 20  $\mu$ L de extracto con 270  $\mu$ L de radical  $ABTS^+$  y se incubó durante 6 minutos a temperatura ambiente y protegido de la luz. La absorbancia se midió a 734 nm utilizando un espectrofotómetro UV/Vis (Infinite M200 Pro, Tecan, Suiza). El cálculo del porcentaje de inhibición y el  $IC_{50}$  se realizó como en el ensayo DPPH.

### **Análisis estadístico**

Todos los ensayos se realizaron de forma independiente y por triplicado. Los datos se analizaron mediante ANOVA de una vía (95% de confiabilidad) con el software estadístico MINITAB v18. Se aplicó la prueba post hoc de Tukey ( $p < 0.05$ ) para determinar diferencias estadísticas entre grupos. Los valores de  $IC_{50}$  se calcularon y graficaron utilizando Graphpad Prism versión 8.0.1 (GraphPad, Software, Inc., San Diego, CA, EE. UU.).

## **Resultados y discusión**

### **Cuantificación de compuestos bioactivos en extractos de café verde**

A partir de los granos de café verde, se obtuvieron extractos acuosos siguiendo la metodología descrita. El volumen promedio de extracto obtenido para la muestra de “Arábica desmanche” fue de  $28.5 \pm 2.6$  mL, mientras que para la variedad Robusta fue de  $34.17 \pm 3.69$  mL. Ambos extractos, de manera visual, presentaron una coloración café oscuro con tonalidades verdosas, atribuible a los defectos físicos presentes en los granos utilizados, como se observa en la Figura 1. Además, se evidenciaron diferencias en el color, tamaño y forma de los granos que conformaban cada muestra, características que limitan su aceptación para la preparación de la bebida de café de especialidad, pero que no necesariamente comprometen el contenido de compuestos bioactivos.



**Figura 1.** Comparación visual de granos de café verde: a) Arábica con calidad comercial, b) “Arábica desmanche” y c) Robusta  
**Fuente:** Propia

Se identificó que la variedad del grano influye significativamente en el contenido de ácido clorogénico, cafeína, fenoles totales y flavonoides (Tabla 1). Estos resultados coinciden con lo reportado en la literatura, donde se ha documentado que la variedad Robusta suele presentar concentraciones más altas de estos compuestos en comparación con la variedad Arábica (Gutiérrez Ortiz et al., 2019). Además, existe escasa información sobre el perfil de compuestos bioactivos en granos clasificados como “Arábica desmanche”, lo que resalta la relevancia de este estudio.

**Tabla 1.** Compuestos bioactivos en los extractos acuosos de granos de café verde

Muestra	Variedad	ACG (mg/g)	Cafeína (mg/g)	TPC (mg GAE/g)	TFC (mg QE/g)
AVER	Arábica	46.17±2.13 b	10.76±0.26 b	28.58±1.56 b	7.20±0.17 b
RVER	Robusta	68.19±5.34 a	27.00±1.99 a	40.97±2.33 a	10.05±0.57 a

Abreviaturas: AVER (“Arábica desmanche”), ACG: ácido clorogénico (5-CQA), TPC: contenido de fenoles totales, TFC: contenido de flavonoides totales. Los valores se expresan en miligramos por gramo de grano de café y se presentan como promedio ± desviación estándar. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (prueba de Tukey’s;  $p < 0.05$ ).

**Fuente:** Elaboración propia

Se encontró que el contenido de cafeína en ambas muestras es comparable con los valores reportados previamente para cada variedad. No obstante, es importante considerar que la mayoría de estos estudios disponibles se han realizado con granos verdes de calidad comercial y provenientes de países distintos a México, lo cual podría explicar algunas de las variaciones observadas. En el caso del café verde Arábica, Awwad et al. (2021) reportaron una concentración promedio de 16.67 mg de cafeína/g de café en 11 muestras provenientes de cuatro países, mientras que Dong et al. (2023) registraron concentraciones entre 9.84 y 12.29 mg de cafeína/g



de café en 16 muestras de ocho países. Para la variedad Robusta, Chindapan et al. (2025) reportaron una concentración de 32.64 mg de cafeína/g de café en granos de origen tailandés.

Respecto al ácido clorogénico, se cuantificó el isómero 5-CQA que es el más abundante en el grano de café verde, observándose un comportamiento similar al de la cafeína, con mayores concentraciones en la variedad Robusta. Dong et al. (2023) reportaron concentraciones entre 35.52 y 49.22 mg 5-CQA/g de café en 16 muestras de Arábica de diferentes países, mientras que Awwad et al. (2021) cuantificaron un promedio de 54.32 mg ACG/g de café en 11 muestras. Por su parte, Gutiérrez Ortiz et al. (2019) documentaron un rango de 51.92 a 65.62 mg ACG/g de café seco en nueve muestras de Arábica, y de 57.97 a 83.95 mg ACG/g de café seco en dos muestras de Robusta.

En relación con el contenido de compuestos fenólicos totales, los granos “Arábica desmanche” (28.58 mg GAE/g de café) presentaron valores superiores a los reportados para extractos acuosos de granos de calidad comercial. Por ejemplo, Alnsour et al. (2022) obtuvieron un promedio de 15.59 mg GAE/g de café en muestras de cuatro países, mientras que Várady et al. (2022) reportaron un rango de 17.4 a 25.1 mg GAE/g de café en ocho muestras de cuatro países. Cabe destacar que el empleo de procesos de desengrasado pudiera favorecer la recuperación de compuestos fenólicos. En este sentido, Dong et al. (2023) reportaron concentraciones entre 35.42 y 49.87 mg GAE/g en 16 muestras de extractos previamente desengrasados con hexano. Por su parte, Liao et al. (2022) reportaron un promedio de 36.3 mg GAE/g de café seco para granos verdes de México, utilizando una mezcla de acetonitrilo y agua como solvente de extracción, este aumento podría estar relacionado con la modificación de la polaridad del sistema; sin embargo, es importante señalar que el acetonitrilo presenta toxicidad y su uso no es recomendable en aplicaciones alimentarias.

Existen distintos estudios que demuestran que los compuestos fenólicos cumplen funciones clave en la defensa de la planta frente a factores bióticos como insectos, y abióticos como la radiación ultravioleta (Vuolo et al., 2019). En este sentido, los granos “Arábica desmanche” son principalmente los granos dañados que se separan durante el beneficio, incluyendo granos quebrados, dañados por insectos o con presencia de hongos, por lo que es razonable suponer que han desarrollado mayores niveles de fenoles como respuesta a estos factores de estrés, en comparación con los granos de calidad comercial que no han estado expuestos a estas condiciones.

En cuanto a los flavonoides, que también pertenecen al grupo de los polifenoles y están asociados con la coloración de los granos (Vuolo et al., 2019), se cuantificaron 7.20 mg QE/g en la muestra “Arábica desmanche” y 10.05 mg QE/g en la muestra Robusta. Hasta el momento, se ha identificado un solo estudio que cuantifica fla-



vonoides en granos de café verde como equivalentes de quercetina (QE). En dicho estudio, Várady et al., (2022) reportaron un contenido promedio significativamente menor, de 2.2 mg GAE/g en ocho muestras de Arábica de cuatro países. Al igual que con los fenoles, se infiere que el mayor contenido de flavonoides se debe al daño visible en los granos, que se manifiesta con una coloración más oscura y que podría sugerir una mayor cantidad de estos compuestos.

El análisis de ambas muestras ofrece una perspectiva clara sobre su potencial como materia prima para el desarrollo de ingredientes nutraceuticos. La presencia de compuestos bioactivos en concentraciones relevantes en estos granos de bajo valor comercial indica que podrían aprovecharse para la obtención de extractos con actividad antioxidante, con posibles aplicaciones en alimentos funcionales o productos cosméticos. Este hallazgo cobra relevancia al considerar que los niveles de compuestos bioactivos determinados son comparables, e incluso superiores en algunos casos, a los reportados en granos de calidad comercial. En este sentido, tanto el “Arábica desmanche” como la variedad Robusta podrían representar fuentes alternativas viables para atender la creciente demanda de la industria, sin comprometer la disponibilidad del café destinado a bebidas de especialidad. Como se ha señalado, la variabilidad en el contenido de compuestos bioactivos está influenciada por múltiples factores, que van desde las condiciones de cultivo hasta el manejo poscosecha, lo cual explica las diferencias observadas entre los resultados reportados, incluso dentro de una misma variedad.

### Actividad antioxidante en extractos de café verde

Para evaluar el potencial uso de los extractos acuosos como como antioxidantes en la industria alimentaria, se determinó la capacidad antioxidante mediante los ensayos de ABTS y DPPH, los cuales permiten medir la habilidad de los compuestos presentes para neutralizar radicales libres y prevenir el daño oxidativo. Los resultados obtenidos evidencian que ambas muestras presentan un potencial antioxidante relevante, como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Actividad antioxidante de extractos acuosos de granos de café verde (IC<sub>50</sub>)

Muestra	Variedad	ABTS* (µg ACG/mL)	DPPH* (µg ACG/mL)
AVER	Arábica	57.55±2.93 a	87.99± 5.60 a
RVER	Robusta	63.04±6.95 a	73.86±14.89 a

Abreviaturas: AVER (“Arábica desmanche”). Los valores se expresan en microgramos de ACG por mililitro de extracto y se presentan como promedio ± desviación estándar. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (prueba de Tukey's; p < 0.05).

**Fuente:** Elaboración propia



Jolly et al. (2024) evaluaron la concentración inhibitoria media ( $IC_{50}$ ) del antioxidante Trolox, que es un análogo hidrosoluble de la vitamina E y se usa ampliamente como estándar en este tipo de ensayos, mediante el método ABTS, reportando un valor de 50.39  $\mu\text{g}/\text{mL}$ . En comparación, los resultados obtenidos en este estudio para el ensayo ABTS son cercanos a los de Trolox, lo que respalda el potencial antioxidante de los extractos acuosos obtenidos a partir de los granos de café verde.

Respecto al ensayo DPPH, en la literatura se han reportado valores de  $IC_{50}$  para antioxidantes comúnmente utilizados en la industria alimenticia y cosmética, tales como el ácido ascórbico (64  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), el ácido gálico (25  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) y el butilhidroxitolueno (BHT), un antioxidante lipofílico (8.31  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) (El Finou et al., 2024). En comparación, los valores de  $IC_{50}$  obtenidos para los extractos acuosos de café verde en este estudio son similares a los reportados para antioxidantes hidrosolubles como la vitamina C. Este hallazgo refuerza el valor funcional de los granos de café verde como fuente natural de antioxidantes, con aplicaciones potenciales en el desarrollo de alimentos funcionales, por ejemplo, mediante el enriquecimiento de productos como galletas.

Se observó que el valor de  $IC_{50}$  puede variar en función de la concentración de ACG y del método de extracción empleado. En este estudio, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre las muestras en ninguno de los dos ensayos. A pesar de que la muestra de “Arábica desmanche” presentó un menor contenido de compuestos fenólicos y ácido clorogénico en comparación con Robusta, sus valores de  $IC_{50}$  fueron similares. Esto sugiere que los granos con defectos podrían contener otros compuestos con capacidad antioxidante, distintos al ACG, que no fueron identificados en este estudio, pero que podrían estar contribuyendo al efecto antioxidante observado.

## Conclusiones

Los granos de café verde analizados en este estudio, “Arábica desmanche” y Robusta, mostraron un contenido importante de ácido clorogénico, por lo que podrían ser una opción viable que atienda la creciente demanda de antioxidante, de igual manera presentan un alto contenido de cafeína, misma que podría usarse en la industria de bebidas; por lo que su aprovechamiento no afectaría el modelo actual de comercialización del café verde destinado al consumo como bebida.

El aprovechamiento de estos granos, considerados de bajo valor comercial, como materia prima para la obtención de ácido clorogénico y cafeína representaría una oportunidad estratégica dentro de la cadena productiva del café. Dado su bajo costo, resulta pertinente evaluar la factibilidad técnico-económica de los procesos de extracción, con el fin de confirmar su viabilidad como una estrategia de revalorización que contribuya a diversificar las aplicaciones del café verde y ampliar las oportunidades de comercialización para los productores.



Finalmente, los resultados de este trabajo abren nuevas líneas de investigación enfocadas en la obtención de ingredientes funcionales a partir de otros subproductos generados durante el beneficiado del café, como la pulpa, el mucilago, la cascarilla o el pergamino, los cuales podrían constituir fuentes adicionales de compuestos antioxidantes de interés para la industria alimentaria y cosmética.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

### Financiamiento

Este trabajo fue financiado por CONAHCYT con el No. 320885: “Aplicación de modelos computacionales de acceso abierto para el estudio metabólico y farmacológico de proteínas y compuestos fenólicos del café (*Coffea* sp.) y cacao (*Theobroma cacao* l.) contra objetivos moleculares relacionados con el síndrome metabólico.”

### Referencias

- Aissaoui, M., Rahmoun, N. M., Berek, S., Bensouici, C., & El Haci, I. A. (2020). Structural characterization of phenolic content, antioxidant and antibacterial activities of *Coffea arabica* green seeds. *Vegetos*, 33(3), 466–474. <https://doi.org/10.1007/s42535-020-00130-9>
- Alnsour, L., Issa, R., Awwad, S., Albals, D., & Al-Momani, I. (2022). Quantification of Total Phenols and Antioxidants in Coffee Samples of Different Origins and Evaluation of the Effect of Degree of Roasting on Their Levels. *Molecules*, 27(05), 1591, 1–10. <https://doi.org/10.3390/molecules27051591>
- Awwad, S., Issa, R., Alnsour, L., Albals, D., & Al-Momani, I. (2021). Quantification of caffeine and chlorogenic acid in green and roasted coffee samples using HPLC-DAD and evaluation of the effect of degree of roasting on their levels. *Molecules*, 26(24), 7502, 1–9. <https://doi.org/10.3390/molecules26247502>
- Bhandarkar, N. S., Brown, L., & Panchal, S. K. (2019). Chlorogenic acid attenuates high-carbohydrate, high-fat diet-induced cardiovascular, liver, and metabolic changes in rats. *Nutrition Research*, 62, 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2018.11.002>
- Business Research Insights. (2025, febrero 26). *Chlorogenic Acid Market Size, Share, Growth, Trend, Forecast, 2032*. Recuperado de <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/chlorogenic-acid-market-108441>
- Chindapan, N., Puangngoen, C., & Devahastin, S. (2025). Caffeine removal and compositions losses from whole Robusta coffee beans during conventional and ultrasound-assisted aqueous decaffeination. *Journal of Food Engineering*, 387(112349), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2024.112349>



- Dong, R., Zhu, M., Long, Y., Yu, Q., Li, C., Xie, J., Huang, Y., & Chen, Y. (2023). Exploring correlations between green coffee bean components and thermal contaminants in roasted coffee beans. *Food Research International*, 167, 112700, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112700>
- El Finou, H., Salhi, N., Zaid, A., & El Rhaffari, L. (2024). Phytotoxicity, antioxidant activity and chemical profile of aqueous extracts from Moroccan caper (*Caparis spinosa* L.). *Scientific African*, 24(e02176), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02176>
- Gutiérrez Ortiz, A. L., Berti, F., Solano Sánchez, W., Navarini, L., Colomban, S., Crisafulli, P., & Forzato, C. (2019). Distribution of p-coumaroylquinic acids in commercial *Coffea* spp. of different geographical origin and in other wild coffee species. *Food Chemistry*, 286(2019), 459–466. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.039>
- Jolly, A. M., Sijisha, K. S., Mishra, V., Priya, S., & Mishra, T. (2024). Exploratory studies of tea seed & tea fruit shell (*Camellia sinensis* (L) O. Kuntze for their value addition. *Industrial Crops and Products*, 219(119086), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119086>
- Kashksara, K. M., Tavakolipour, H., & Mokhtarian, M. (2023). Effects of atmospheric-thermosonication process on phenolic compounds extraction, extraction productivity and antioxidant activity of freeze-dried green tea and green coffee aqueous extracts. *Journal of Agriculture and Food Research*, 12(100582), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100582>
- Liao, Y.-C., Kim, T., Silva, J. L., Hu, W.-Y., & Chen, B.-Y. (2022). Effects of roasting degrees on phenolic compounds and antioxidant activity in coffee beans from different geographic origins. *LWT*, 168(113965), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113965>
- Maximize Market Research. (2024). *Caffeine Market: Pharmaceutical sector is expected to fuel the market growth over the forecast period*. Recuperado de <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/caffeine-market/185261/>
- Ochoa Becerra, M. A. (2020). *Extracción de cafeína y ácido clorogénico de la pulpa de café por medio de tecnologías no convencionales y su purificación mediante resinas poliméricas*. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.
- Ontawong, A., Duangjai, A., Vaddhanaphuti, C. S., Amornlerdpison, D., Pengnet, S., & Kamkaew, N. (2023). Chlorogenic acid rich in coffee pulp extract suppresses inflammatory status by inhibiting the p38, MAPK, and NF- $\kappa$ B pathways. *Heliyon*, 9(3), e13917, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13917>



- Organización Internacional del Café. (2025). *Anuario. Alianzas más fuertes: Soluciones para superar desafíos regulatorios y del mercado*. Recuperado de <https://icocoffee.org/documents/cy2023-24/annual-review-2022-2023-c.pdf>
- Panja, P. (2018). Green extraction methods of food polyphenols from vegetable materials. *Current Opinion in Food Science*, 23, 173–182. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.11.012>
- Pedan, V., Stamm, E., Do, T., Holinger, M., & Reich, E. (2020). HPTLC fingerprint profile analysis of coffee polyphenols during different roast trials. *Journal of Food Composition and Analysis*, 94, 103610, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103610>
- Primer café. (s/f). *Café desmanche, granza y barredura*. Consultado el 9 de junio de 2025. <https://primerocafe.com.mx/caficultura/cafede/manche-granza-barredura/>
- Secretaría de Economía. (2016, septiembre 29). *Declaratoria de Vigencia de la Norma Mexicana NMX-F-597-Scfi-2016 Café Verde-Especificaciones, Preparaciones y Evaluación Sensorial (Cancela a la NMX-F-551-Scfi-2008)*. Diario Oficial de la Federación. Publicado en. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5454681&fecha=29/09/2016#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5454681&fecha=29/09/2016#gsc.tab=0)
- Silva, C. W., Zanardi, K. R., Grancieri, M., Costa, N. M. B., Trivillin, L. O., Viana, M. L., Silva, P. I., & Costa, A. G. V. (2022). Green coffee extract (*Coffea canephora*) improved the intestinal barrier and slowed colorectal cancer progression and its associated inflammation in rats. *PharmaNutrition*, 22(100314). <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2022.100314>
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2025). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Recuperado de [https://nube.agricultura.gob.mx/cierre\\_agricola/](https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/)
- Várady, M., Tauchen, J., Fraňková, A., Klouček, P., & Popelka, P. (2022). Effect of method of processing specialty coffee beans (natural, washed, honey, fermentation, maceration) on bioactive and volatile compounds. *LWT - Food Science and Technology*, 172, 114245. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114245>
- Verified Market Research. (2024, junio). *Global Chlorogenic Acid Market*. Recuperado de <https://www.verifiedmarketresearch.com/product/chlorogenic-acid-market/>
- Vuolo, M. M., Lima, V. S., & Maróstica Junior, M. R. (2019). Phenolic Compounds: Structure, Classification and Antioxidant Power. En M. R. Segura Campos (ed.), *Bioactive Compounds: Health Benefits and Potential Applications* (pp. 33–50). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00002-5>