

Composición química y actividad biológica de la cascarilla de café (*Coffea arabica* L. var. Catucaí amarillo)

Chemical Composition and Biological Activity of Coffee Chaff (*Coffea arabica* L. var. Catucaí amarillo)

Madelayne Elizabeth Vera Mena¹ <https://orcid.org/0009-0004-2499-9477>

Wilmer Smith González Guerrero¹ <https://orcid.org/0009-0003-5314-2301>

Mercedes Campo Fernández^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-9835-6886>

Osmany Cuesta-Rubio¹ <https://orcid.org/0000-0002-9490-8735>

Ingrid Márquez-Hernández¹ <https://orcid.org/0000-0002-1629-6657>

Jefferson Manuel Tocto-León¹ <https://orcid.org/0000-0001-5148-3629>

¹Universidad Técnica de Machala. Machala, Ecuador.

*Autor para la correspondencia: mcampo1972@yahoo.es

RESUMEN

Introducción: La agroindustria del café en Ecuador genera un volumen considerable de residuos, como la cascarilla, subproducto con reconocido potencial antioxidante y representa una oportunidad para su valorización como ingrediente funcional; pero su aprovechamiento depende de sus métodos de procesamiento, especialmente del secado, debido a su influencia en la composición química y actividad biológica.

Objetivo: Evaluar la composición química y actividad biológica de la cascarilla de *Coffea arabica* L. var. Catucaí amarillo, deshidratada mediante liofilización y seca en estufa, para explorar su potencial en aplicaciones beneficiosas para salud humana.

Métodos: Las cascarillas fueron sometidas a secado por estufa y liofilización, seguidas de extracción hidroalcohólica (etanol: agua, 80:20 v/v) asistida por

ultrasonido. Los extractos se analizaron por cromatografía líquida de alta eficiencia acoplada a espectrometría de masas. Se cuantificaron fenoles totales (método de Folin-Ciocalteu), taninos (precipitación con gelatina y Folin-Ciocalteu) y cafeína, mediante métodos espectrofotométricos; y se determinó la capacidad antioxidante equivalente a trolox a través del método del radical difenil-1-picrilhidrazilo y mediante el poder reductor de iones férricos. El efecto hipoglucemiante preliminar se evaluó en ratones albinos (*Mus musculus*) mediante prueba de tolerancia a la glucosa, empleando glibenclamida como control positivo y tres dosis (100, 200 y 400 mg/kg) del extracto.

Resultados: Ambos métodos de secado produjeron cascarillas con composición química y capacidad antioxidante comparables. Se identificaron metabolitos como cafeína, trigonelina, derivados del ácido clorogénico y otros compuestos fenólicos bioactivos. Los extractos mostraron actividad antioxidante significativa en ambos ensayos y evidenciaron un efecto hipoglucemiante, con disminución de los niveles de glucosa basal.

Conclusiones: Los resultados confirman el potencial de la cascarilla de café como fuente natural de compuestos con propiedades antioxidantes e hipoglucemiantes, destacándose como un recurso prometedor para el desarrollo de productos alimenticios funcionales o terapéuticos.

Palabras clave: *Coffea arábica*; cascarilla de café; capacidad antioxidante; compuestos fenólicos; hipoglucemiante.

ABSTRACT

Introduction: The coffee agroindustry in Ecuador generates a considerable volume of waste, such as coffee husks, a byproduct with recognized antioxidant potential. This material presents an opportunity for valorization as a functional ingredient; however, its utilization depends on processing methods, especially drying, due to their influence on chemical composition and biological activity.

Objective: To evaluate the chemical composition and biological activity of *Coffea arabica* L. var. Catucaí amarillo coffee husks, dehydrated via freeze-drying and oven drying, to explore their potential in applications beneficial to human health.

Methods: The husks were subjected to oven drying and freeze-drying, followed by ultrasound-assisted hydroalcoholic extraction (ethanol: water, 80:20 v/v). The extracts were analyzed by high-performance liquid chromatography coupled with mass spectrometry. Total phenols (Folin-Ciocalteu method), tannins (gelatin precipitation and Folin-Ciocalteu), and caffeine were quantified using spectrophotometric methods; and the Trolox-equivalent antioxidant capacity was determined using the 1-diphenylpicrylhydrazyl radical method and by measuring the reducing power of ferric ions. The preliminary hypoglycemic effect was evaluated in albino mice (*Mus musculus*) using a glucose tolerance test, with glibenclamide as the positive control and three doses (100, 200, and 400 mg/kg) of the extract.

Results: Both drying methods produced coffee husks with comparable chemical composition and antioxidant capacity. Metabolites such as caffeine, trigonelline, chlorogenic acid derivatives, and other bioactive phenolic compounds were identified. The extracts exhibited significant antioxidant activity in both assays and demonstrated a hypoglycemic effect, with a decrease in basal glucose levels.

Conclusions: The results confirm the potential of coffee husks as a natural source of compounds with antioxidant and hypoglycemic properties, highlighting them as a promising resource for the development of functional or therapeutic food products.

Keywords: *Coffea arabica*; coffee husks; antioxidant capacity; phenolic compounds; hypoglycemic.

Recibido: 29/06/2025

Aceptado: 29/03/2026

Introducción

La producción agroindustrial de café en Ecuador genera un elevado volumen de residuos orgánicos. La cascarilla de *Coffea arábica* es uno de los más abundantes, al representar aproximadamente el 95 % del peso del fruto fresco. Según datos del

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos,⁽¹⁾ su producción alcanza un total de 0,27 t/ha. Este subproducto es descartado sin tratamiento previo, lo que contribuye a la contaminación ambiental por lixiviación de compuestos fenólicos como polifenoles y cafeína.⁽²⁾ Frente a desafíos globales como el cambio climático, la escasez de recursos naturales y el crecimiento demográfico, se ha enfatizado en la necesidad de reducir los residuos agroindustriales para mitigar el impacto ambiental y mejorar la calidad de vida.⁽³⁾

En este contexto, diversos estudios han destacado el potencial antioxidante de este subproducto, atribuible, principalmente, a su contenido de compuestos bioactivos como la cafeína y los ácidos fenólicos.⁽²⁾ Además, se ha reportado su uso como aditivos antioxidantes en la industria alimentaria, en particular en bebidas funcionales,^(4,5) al evidenciar su potencial como materia prima bioactiva.

Para la deshidratación o proceso de secado de las materias primas vegetales, se llevan a cabo métodos como la liofilización o el secado en estufa, que pueden influir significativamente en la concentración y estabilidad de los metabolitos bioactivos.⁽³⁾ Investigaciones recientes han demostrado que factores como la congelación poscosecha del material vegetal (cascarilla de café) y la variedad vegetal, pueden afectar los niveles de compuestos fenólicos totales y su capacidad antioxidante.⁽⁶⁾

Sin embargo, la información sobre el impacto comparativo de distintos métodos de secado en la cascarilla de café es limitada. Ante las problemáticas expuestas, el estudio tuvo como objetivo evaluar la composición química y la actividad biológica de la cascarilla de *Coffea arábica* L. var. Catucaí amarillo, deshidratada mediante liofilización y secado en estufa, para explorar su potencial en aplicaciones beneficiosas para la salud humana.

Métodos

Material de estudio

La muestra correspondió a cascarillas de *Coffea arábica* variedad Catucaí amarillo, recolectadas en abril 2024 en el cafetal Don Salvador Café, cantón Las Lajas, provincia

de El Oro. El material vegetal se obtuvo mediante procesamiento húmedo de frutos maduros de café. El enfoque adoptado fue experimental-correlacional.

Métodos de secado

Para el secado de la cascarilla de café, esta se dividió aproximadamente en dos partes iguales, que fueron sometidas a la deshidratación:

- Secado en estufa: la muestra fresca se colocó a una temperatura de 45 °C en una estufa (MEMMERT UF 55, Alemania) con circulación de aire forzado al 100 % y trampilla abierta al 100 %, durante un período de 24 h.
- Secado por liofilización: El segundo método corresponde al secado por liofilización utilizando un liofilizador (BIOBASE). Para dicho secado se congeló previamente la muestra en un refrigerador doméstico durante 24 h. Posteriormente, se colocaron las cascarillas congeladas en las bandejas de acero inoxidable y se llevó a ultracongelación por una h hasta que la materia prima alcanzó una temperatura de (- 40 °C). La sublimación tuvo lugar con una bomba de vacío a una presión de 0,00008 Pa durante un tiempo de 22 h.

Tras el secado, se determinó la humedad residual mediante termobalanza halógena (OHAUS MB90) a 105 °C hasta peso constante. Las muestras secas se almacenaron en bolsas herméticas a temperatura ambiente, dentro de un desecador, y se trituraron manualmente con mortero antes de la extracción.

Preparación de extractos

Los extractos se prepararon con una relación 1:8 m/v (g de cascarilla/ml disolvente), empleando una disolución hidroalcohólica etanol:agua (80:20 v/v).

Se aplicó el método descrito por *Fernández y otros*,⁽⁶⁾ utilizando extracción asistida por ultrasonido (EAU) (baño ultrasónico *ULTRASONIC BATH 5.7 L*, *Fisher Scientific*) a 30 °C durante 30 min. Posteriormente, se filtraron con papel de filtro analítico (*Filtrak*).

Análisis cualitativo por cromatografía líquida de alta eficiencia acoplada a espectrometría de masas (CLAE-EM)

Se preparó una muestra de concentración 10 mg/ml (extracto seco obtenido por rotoevaporación/metanol HPLC), las que fueron filtradas con ayuda de filtros de 0,20 μ m. La metodología empleada fue descrita por *Campo* y otros.⁽⁷⁾

Cuantificación de metabolitos especializados

La cuantificación de fenoles totales (FT), se realizó por el método de Folin-Ciocalteu, siguiendo la metodología descrita por *Fernández* y otros.⁽⁶⁾

Los resultados fueron referidos como mg equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra seca (EAG/g).

Para la determinación de taninos totales (TT), se empleó la metodología planteada por *Mex* y otros,⁽⁸⁾ con ligeras modificaciones.⁽⁶⁾

Los resultados se informaron como mg por gramo de materia vegetal seca (mg/g). La cafeína se cuantificó por espectrofotometría UV-Visible, utilizando una curva de calibración obtenida a partir de una disolución madre de cafeína (0,4 mg/ml) diluida en el rango de 1 a 16 μ g/ml y siguiendo la metodología descrita por *Fernández* y otros.⁽⁶⁾

Determinación de la capacidad antioxidante

Poder antioxidante reductor de iones férricos (FRAP)

La preparación del reactivo se realizó según la metodología descrita por *Benzie* y otros,⁽⁹⁾ con algunas modificaciones.⁽⁶⁾

El resultado fue expresado como la capacidad antioxidante equivalente a trolox (TEAC, por sus siglas en inglés) por gramo de cascarilla (TEAC/g).

Ensayo del 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH)

Se aplicó el método de *Brand, Cuvelier* y *Berset*,⁽¹⁰⁾ con algunas modificaciones,⁽⁶⁾ y se evaluó la capacidad de secuestro de radicales libres tras 30 min de reacción, a temperatura ambiente y en ausencia de luz.

El porcentaje de inhibición se calculó mediante la ecuación 1:

$$\%DPPH = \frac{A_{control} - A_{muestra}}{A_{control}} \times 100 \quad (1)$$

En la que, $A_{control}$ representa a la absorbancia del control y $A_{muestra}$ a la absorbancia de la muestra tras la reacción con DPPH durante 30 min.

La capacidad antioxidante se expresó en mg equivalentes de trolox por gramo de muestra seca.

Este cálculo se realizó a partir de la ecuación de regresión lineal, que correlacionó el porcentaje de inhibición del radical libre con la concentración de trolox.

Ensayo hipoglucemiante *in vivo*

El efecto hipoglucemiante se evaluó mediante la curva de tolerancia a la glucosa, adaptando la metodología de Venkatesh y otros.⁽¹¹⁾

Se utilizó un extracto de cascarrilla de *Coffea arábica* (16 mg/ml) suspendido en carboximetilcelulosa al 0,1 % (mezcla etanol: agua 2:8, v/v).

Los resultados se compararon con glibenclamida (GLI, 2 mg/kg de peso), siguiendo el procedimiento descrito en la figura 1.

Previo al ensayo, se midió la glucosa basal (T0), mientras que la glucosa sanguínea se midió a los 30 (T1), 60 (T2) y 120 min (T3) mediante glucómetro y tiras reactivas ACCU-CHEK®, con muestras extraídas de la vena caudal.

El estudio incluyó 30 ratones albinos machos (*Mus musculus*, cepa CD1), de 6-8 semanas de edad con un peso entre 25-40 g, provenientes del bioterio de la Universidad Técnica de Machala.

Los ratones fueron distribuidos en seis grupos (n = 5), y fueron mantenidos a 22 ± 2 °C, 50 ± 10 % de humedad y ciclo luz/oscuridad 12 h, con libre acceso a agua y alimento (retirado cinco horas antes del experimento).

Todos los procedimientos se ajustaron al protocolo UTMACH-CEEA-2024-045-AC y a las normas de manejo ético en experimentación animal.

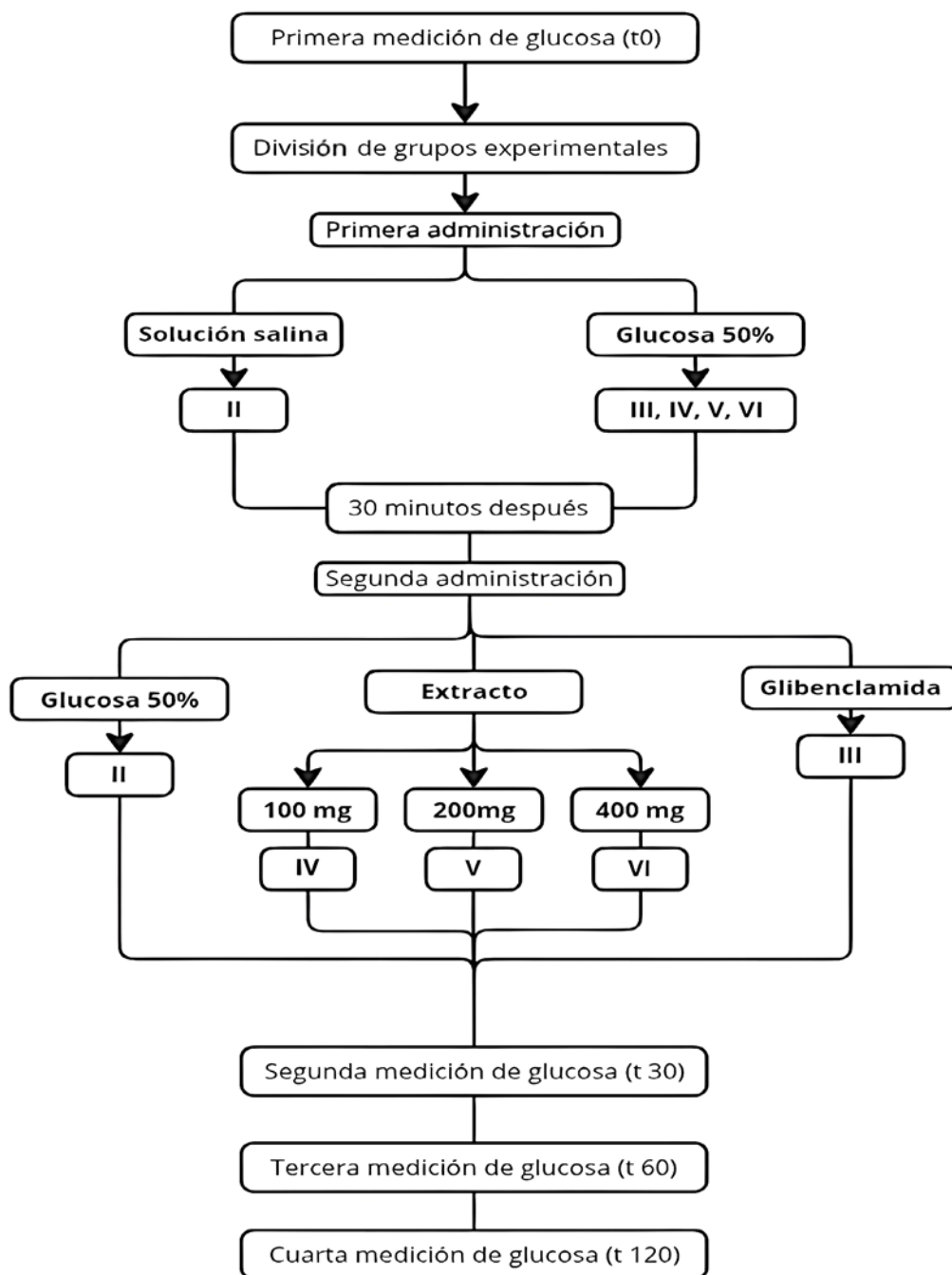


Figura 1 - Esquema de la metodología experimental para evaluar la actividad hipoglucemiante del extracto de cascarilla de *Coffea arabica*.

Análisis estadístico

Se emplearon los programas Microsoft Excel y Jamovi versión 2.5, a partir de los cuales se calculó tanto la media como la desviación estándar.

La comparación entre los métodos de secado se realizó a través de la t de Student. Las curvas de calibración se ajustaron mediante regresión lineal, para calcular el coeficiente de determinación correspondiente.

Resultados

Métodos y técnicas de procesamiento

Tras el secado, la cascarilla mostró diferencias en la apariencia física entre los métodos empleados.

La muestra secada en estufa presentó un color más oscuro y textura más dura, mientras que la liofilizada mantuvo un color más claro, con apariencia frágil y quebradiza.

La liofilización preservó la estructura del material sin contracciones volumétricas significativas, mientras que el secado por aire caliente provocó contracción, generando un material arrugado. El análisis de la humedad residual mostró que el secado en estufa alcanzó 3,69 %, mientras que la liofilización obtuvo 5,77 %. Ambos valores se encuentran por debajo del límite de 12 % establecido por la Norma NTE INEN 2392⁽¹²⁾ para plantas aromáticas.

Análisis mediante cromatografía líquida de alta eficiencia acoplada a espectrometría de masas (CLAE/EM)

Los cromatogramas obtenidos a diferentes longitudes de onda (250, 280, 330 y 520 nm) fueron superponibles en ambas condiciones de secado, sin diferencias cualitativas apreciables. En ambas muestras se identificaron alcaloides y compuestos fenólicos mediante espectrometría de masas (EM). Los metabolitos detectados incluyeron cafeína, trigonelina, rutina, catequina, epicatequina, procianidinas, ácidos dicafeoilquínicos, mangiferina y ácido quínico (tabla 1). Asimismo, se observaron iones diméricos ($[2M-H]^-$, m/z 707) y las xantinas fueron las únicas estructuras que se detectaron en modo ion positivo.

La cafeína (m/z 195, TR = 10 min) presentó la señal más intensa del espectro, mientras

que la trigonelina (m/z 138, TR = 0,81 min) fue el primero en eludir de la columna, entre todos los compuestos identificados.

Tabla 1 - Compuestos identificados en muestras de cascarrilla de café mediante CLAE/EM con ionización en modo ion negativo

Compuesto químico	TR (min)	[M-H] ⁻ (m/z)	MS ² (-) (m/z)
Dímero de uno de los isómeros del ácido cafeoilquínico ^(6,13)	9,70	707	353, 191
Epi-catequina ^(13,14)	10,86	289	271, 245, 205, 179
Mangiferina ^(13,14)	10,94	421	403, 331, 301
Trímero de procianidina tipo A ⁽¹⁴⁾	11,44	863	711, 573, 451, 411
Procianidina C ⁽¹⁴⁾	11,59	865	739, 695, 577, 847, 425
Rutina ^(13,14)	12,44	609	301, 300, 255
Ácido di-O-cafeoilquínico ^{*(13,14)}	13,14	515	353, 173, 179, 203
Ácido quínico ⁽¹⁴⁾	9,79	191	173, 127, 111, 93
Ácido quínico (isómero) ⁽¹⁴⁾	13,36	191	173, 127, 111, 93

Leyenda: TR: tiempo de retención. [M-H]⁻: ion pseudomolecular. MS²: iones fragmentos, se resalta en negrita el pico base de espectro. *Puede ser cualquiera de los isómeros que la bibliografía ha informado para esta especie.

Cuantificación de metabolitos especializados y de la capacidad antioxidante

La cuantificación del contenido de FT y taninos para las muestras de *C. arabica* secadas en estufa y por liofilización, así como de la capacidad antioxidante de las mismas, se detalla en la tabla 2.

El ajuste de la curva de calibración para el método de Folin-Ciocalteu presentó un coeficiente de determinación elevado ($R^2 = 0,9997$), lo que confirma la linealidad del método. La cuantificación se llevó a cabo con base en la ecuación 2:

$$\text{Absorbancia} = 1,0106 * \text{Conc. (mg/mL)} + 0,0195 \quad (2)$$

La capacidad antioxidante se evaluó mediante los métodos FRAP y DPPH, empleando curvas de calibración con trolox.

Para el ensayo FRAP se obtuvo un coeficiente de determinación de $R^2 = 0,9933$, y la cuantificación se realizó con base en la ecuación 3:

$$Absorbancia = 5,2994 * Conc. \left(\frac{mg}{mL} \right) - 0,0364 \quad (3)$$

De igual forma, en el método DPPH se alcanzó un coeficiente de determinación de $R^2 = 0,9941$, aplicándose la ecuación 4 para el cálculo de los resultados:

$$Absorbancia = 431,23 \times Conc. \left(\frac{mg}{mL} \right) - 0,6842 \quad (4)$$

Tabla 2 - Cuantificación de metabolitos especializados y de la capacidad antioxidante en las dos muestras de cascarilla evaluadas

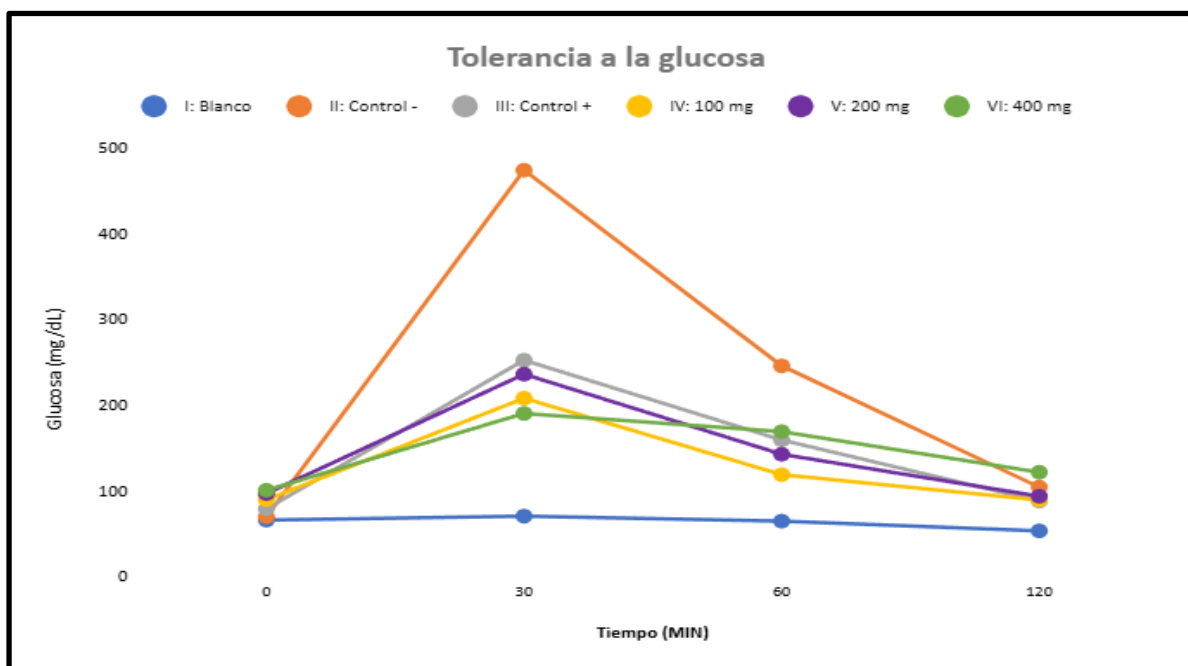
Muestras	FTEAG (mg/g)	TT (mg/g)	Cafeína (mg/g)	TEAC/FRAP (mg TEAC/g)	TEAC/DPPH (mg TEAC/g)
Secado en estufa Media ± S	22,73 ± 0,98	8,37 ± 0,67	8,95 ± 0,15	17,10 ± 0,49	11,35 ± 0,37
Secado por liofilización Media ± S	21,60 ± 0,91	7,36 ± 0,52	8,89 ± 0,18	16,10 ± 0,66	11,82 ± 0,57

Leyenda: S= desviación estándar; FT: Fenoles totales; TT: Taninos totales; TEAC-DPPH: capacidad antioxidante equivalente a Trolox, utilizando el radical libre DPPH; TEAC-FRAP: capacidad antioxidante equivalente a trolox, determinada mediante el poder reductor de iones férricos. En ninguno de los ensayos se observaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos.

Ensayo hipoglucemiante *in vivo*

El grupo control positivo (GLI) y los grupos tratados con extracto de cascarilla de café (100, 200 y 400 mg/kg) mostraron una disminución significativa de los niveles de glucosa respecto al control negativo (fig. 2).

Las dosis de 100 y 200 mg/kg mantuvieron niveles de glucosa más estables durante la evaluación, mientras que la dosis de 400 mg/kg presentó un efecto menos sostenido.



*Leyenda: I: Grupo blanco; II: Control negativo; III: Control positivo; IV: Extracto (100 mg/kg); V: Extracto (200 mg/kg); VI: Extracto (400 mg/kg).

Fig. 2 - Curva de tolerancia a la glucosa en los grupos de experimentación.

Discusión

El secado en estufa y la liofilización generaron diferencias físicas evidentes en la cascarilla, atribuibles al efecto térmico y al proceso de sublimación del agua. Coincidiendo con Serna y otros,⁽¹⁵⁾ la liofilización favorece una estructura más porosa y menos compacta por la sustitución del agua por aire en la matriz vegetal. Pese a las diferencias visuales, los valores de humedad residual en ambos métodos fueron inferiores al límite normativo, lo que garantiza estabilidad y preservación de los metabolitos, como señalan López y otros.⁽¹⁶⁾

En cuanto al perfil químico, la similitud entre cromatogramas indica que los procesos de secado no alteraron cualitativamente los compuestos detectables mediante CLAE/EM. Adicional a ello, fueron identificados los mismos metabolitos en ambas muestras. La presencia de alcaloides, flavonoides, ácidos fenólicos y xantonas concuerda con lo reportado para la cascarilla de café.^(6,13,14) Entre los flavonoides identificados, la rutina destaca por sus propiedades antioxidantes y beneficiosas

sobre el sistema cardiovascular, al inhibir enzimas inflamatorias y mejorar el flujo sanguíneo,^(13,14) mientras que los isómeros catequina y epicatequina muestran actividades antiinflamatorias, cardioprotectoras y hepatoprotectoras.⁽¹⁷⁾

De los ácidos fenólicos se identificaron los isómeros de ácido dicafeoilquínico, moléculas con propiedades antivirales y antioxidantes, entre ellos el ácido 3,4-dicafeoilquínico (3,4-DCQ), el ácido 3,5-dicafeoilquínico (3,5-DCQ) y el ácido 4,5-dicafeoilquínico (4,5-DCQ).^(13,14) Sus iones fragmentos (m/z 353, 173, 179, 203) no permiten diferenciar isómeros, por lo que se recomienda el uso de patrones de referencia para confirmar su presencia. También se observaron iones diméricos, probablemente derivados del proceso de ionización. La formación de este ion dimérico ha sido reportada en la literatura para la especie.⁽⁶⁾

Estudios realizados por *El-Askary* y otros,⁽¹⁸⁾ indican que los ácidos 3,5- y 4,5-DCQ aislados de *Artemisia annua*, inhiben significativamente la enzima dipeptidil peptidasa IV y moderadamente la α -glucosidasa, mostrando la mayor actividad el ácido 3,5-DCQ. Además de que, adicionalmente evidenciaron los potentes efectos antioxidantes y una moderada actividad de cicatrización de las heridas, sugiriendo su potencial terapéutico en el manejo de la diabetes y sus complicaciones.

Asimismo, se detectaron procianidinas (trímero tipo A y C), de reconocida actividad antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana e hipoglucemiante⁽¹⁹⁾ y la mangiferina, xantona con propiedades anticancerígenas, antivirales e inmunomoduladoras.⁽²⁰⁾ Finalmente, se constató la presencia del ácido quínico en dos tiempos de retención, lo que sugiere la presencia de isómeros, los cuales se han referido con actividad antimicrobiana, antidiabética y antioxidante.⁽²¹⁾

Con relación a los alcaloides, la cafeína fue el principal metabolito, confirmando su estabilidad frente a ambos métodos de secado. Investigaciones realizadas han demostrado que la trigonelina tiene numerosos efectos beneficiosos, que incluyen actuar como agente antioxidante, antihiper glucémico, antihiperlipidémico, antihipercolesterolémico, anticariogénico y antimicrobiano.^(22,23)

La cuantificación de fenoles totales, taninos y cafeína sugiere que ambos procesos de deshidratación de la materia prima, conservan eficazmente los compuestos bioactivos. La ausencia de diferencias significativas respalda la viabilidad de ambos

métodos, lo cual es consistente con estudios que reportan estabilidad de fenoles bajo condiciones controladas de secado.⁽²⁴⁾

En los ensayos antioxidantes, los valores obtenidos por FRAP y DPPH corroboran la alta capacidad reductora del material, y su correlación positiva con los fenoles totales coincide con lo descrito por *Alnsour* y otros⁽²⁵⁾ y *Rumpf* y otros.⁽²⁶⁾

Finalmente, el ensayo *in vivo* demostró una marcada reducción de la glucosa en los grupos tratados con extracto de cascarilla, particularmente a dosis de 100 y 200 mg/kg. Este efecto podría atribuirse a la acción combinada de los ácidos clorogénicos y la cafeína, tal como informaron *Chávez* y *De la Cruz*⁽²⁷⁾ e *Ihara* y otros.⁽²⁸⁾

El comportamiento bifásico observado a dosis altas (400 mg/kg) sugiere un fenómeno de hormesis,⁽²⁹⁾ asociado a la saturación de vías metabólicas o activación de mecanismos contrarreguladores. Dosis moderadas parecen optimizar la respuesta glucémica, mientras que dosis elevadas podrían inducir estrés oxidativo adicional, como señalan *Meng* y otros.⁽³⁰⁾ No obstante, cabe señalar como una limitante de la investigación que no se realizaron estudios de toxicidad *in vivo*. Por lo tanto, se plantea como perspectiva futura la ejecución de estas evaluaciones a fin de establecer un perfil de seguridad adecuado, paso fundamental que permitirá dimensionar el valor de estos extractos para su potencial desarrollo y aplicación como suplemento nutricional o fitofármaco.

Se concluye que los resultados de la investigación evidencian que las condiciones de secado empleadas no generaron diferencias significativas en la composición química ni en la capacidad antioxidante de los metabolitos especializados de la cascarilla de café. Tanto la liofilización como el secado en estufa demostraron ser métodos adecuados para la preservación de compuestos bioactivos; sin embargo, el secado en estufa se consolida como una alternativa más económica, sostenible y tecnológicamente viable, al ofrecer resultados comparables con menores costos de operación y mayor accesibilidad para su aplicación a nivel industrial o artesanal.

Desde el punto de vista biológico, los resultados *in vivo* sugieren un potencial efecto hipoglucemiante del extracto, asociado a su actividad antioxidante, lo que respalda su posible uso como terapia complementaria en la prevención y manejo de enfermedades metabólicas crónicas, particularmente la diabetes mellitus tipo 2.

En términos prácticos, estos hallazgos evidencian que la cascarilla de café puede revalorizarse como materia prima de alto valor, favoreciendo el desarrollo de ingredientes funcionales y fitofármacos naturales, previo desarrollo de los correspondientes estudios de seguridad, contribuyendo a la salud metabólica y al aprovechamiento económico y sostenible de un subproducto agroindustrial.

Referencias bibliográficas

1. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). *Agroproductive figures. Coffee*. Ecuador; 2022 [acceso 12/10/2025]. Disponible en: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
2. Hoseini M, Cocco S, Casucci C, Cardelli V, Corti G. Coffee by-products derived resources: A review. *Biomass Bioenergy*. 2021;148:106009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106009>
3. López MB, Gómez I, Iriondo M, Villamediana ME, Sánchez V, Mendiola JA, et al. The impact of the drying process on the antioxidant and anti-inflammatory potential of dried ripe coffee cherry pulp soluble powder. *Foods*. 2024;13(7):1114. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13071114>
4. de Farias MA, de Lima TJ, de Carvalho LM, Abreu TL, Pereira DA, Santos MMF, et al. Oxidative stability of chicken burgers using organic coffee husk extract. *Food Chem*. 2022;393:133451. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133451>
5. Iriondo A, Elizondo AS, Iriondo M, Ríos MB, Mufari R, Mendiola JA, et al. Assessment of healthy and harmful Maillard reaction products in a novel coffee cascara beverage: Melanoidins and acrylamide. *Foods*. 2020;9(5):620. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9050620>
6. Fernández MC, Marín MCP, Cuenca APP, Castro NLM, Rubio OC, Hernández IM, et al. Chemical composition and antioxidant capacity of three coffee husk (*Coffea arabica*) varieties. *Rev Colomb Quim*. 2024;53(2):3-12. DOI: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v53n2.117439>
7. Campo M, Granja DF, Matute NL, Cuesta O, Márquez I. Microencapsulation by spray

- drying from an extract of *Hibiscus sabdariffa* L. calyces. Rev Colomb Quím. 2020;50(1):40-50. DOI: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v50n1.88424>
8. Mex R, Guillen M, Garma P, Sarabia B, Yanez D, Kantún J, et al. Antioxidant activity of *Cochlospermum vitifolium*. J Agric Sci Res. 2022;2(15):1-11. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.9732152212114>
9. Benzie IF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. Anal Biochem. 1996;239(1):70-6. DOI: <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
10. Brand W, Cuvelier M, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food Sci Technol. 1995;28(1):25-30. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
11. Venkatesh S, Kusuma R, Sateesh V, Reddy MB, Mullangi R. Antidiabetic activity of *Pandanus odoratissimus* root extract. Indian J Pharm Educ Res. 2012 [acceso 12/10/2025];46(4):340-5. Disponible en: https://www.ijper.org/sites/default/files/ijper_46_4_7.pdf
12. NTE INEN 2392. Ecuadorian Technical Standard. Aromatic herbs. Requirements. 2017 [acceso 12/10/2025]. Disponible en: <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC069280/>
13. Esquivel P, Viñas M, Steingass CB, Gruschwitz M, Guevara E, Carle R, et al. Coffee (*Coffea arabica* L.) by-products as a source of carotenoids and phenolic compounds—Evaluation of varieties with different peel color. Front Sustain Food Syst. 2020;4:590597. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.590597>
14. Cangeloni L, Bonechi C, Leone G, Consumi M, Andreassi M, Magnani A, et al. Characterization of extracts of coffee leaves (*Coffea arabica* L.) by spectroscopic and chromatographic/spectrometric techniques. Foods. 2022;11(16):2495. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11162495>
15. Serna L, Torres C, Ayala A. Effect of the addition of non-caloric sweeteners on physicochemical properties and drying kinetics of lyophilized mango peel. Inform Tecnol. 2015;26(4):37-44. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000400006>
16. López IC, Espín SM, Guamanquispe JP. Parámetros que influyen en la deshidratación de frutas y hortalizas. Rev Ci Arbitrada Multidiscip PENTACIENCIAS.

2024;6(5):64-75.D OI: <https://doi.org/10.59169/pentaciencia.s.v6i4.1181>

17. García MDC, Hernández LM, Arenas F. Green tea catechins: antigenotoxic and genotoxic effects. A systematic review. Arch Latinoam Nutr. 2022;72(3):205-17. DOI: <https://doi.org/10.37527/2022.72.3.006>

18. El-Askary H, Salem HH, Abdel A. Potential mechanisms involved in the protective effect of dicaffeoylquinic acids from *Artemisia annua* L. leaves against diabetes and its complications. Molecules. 2022;27(3):857. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27030857>

19. Castillo G, Carrillo ML, Reyes A, Muñiz DB, Valencia LJ, Wong JE. Litchi (*Litchi chinensis*): general aspects, biological activity and applications. TIP Rev Espc Cienc Quím-Biol. 2022;25:1-14. DOI: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.508>

20. Mei S, Ma H, Chen X. Anticancer and anti-inflammatory properties of mangiferin: A review of its molecular mechanisms. Food Chem Toxicol. 2021;149:111997. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.111997>

21. Ercan L, Doğru M. Antioxidant and antimicrobial capacity of quinic acid. Bitlis Eren Univ Fen Bilimleri Derg. 2022;11(4):1018-25. DOI: <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.1167047>

22. Cruz LV. La agroindustria del café es fuente promisorio de ingredientes fotoprotectores para el sector dermocosmético [tesis en opción al título de Químico Farmacéutico]. Medellín, Colombia: Universidad CES; 2022 [acceso 12/10/2025]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10946/7084>

23. Konstantinidis N, Franke H, Schwarz S, Lachenmeier DW. Risk assessment of trigonelline in coffee and coffee by-products. Molecules. 2023;28(8):3460. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28083460>

24. Carreira A, Carpena M, Pereira AG, Chamorro F, Soria A, García PP, et al. Critical variables influencing the ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds: A review. Chem Proc. 2021;5(1):50. DOI: <https://doi.org/10.3390/CSAC2021-10562>

25. Alnsour L, Issa R, Awwad S, Albals D, Al-Momani I. 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. 2022;27(5):3-10. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules27051591>

26. Rumpf J, Burger R, Schulze M. Statistical evaluation of DPPH, ABTS, FRAP, and Folin-Ciocalteu assays to assess the antioxidant capacity of lignins. *Int J Biol Macromol*. 2023;233:123470. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123470>
27. Chávez ME, De la Cruz W. Efecto hipoglicemiante de los extractos hidroalcohólicos de los granos verdes y granos tostados de *Coffea arabica* L. "café" en *Rattus rattus* var. albinus con hiperglicemia inducida [tesis en opción al título de Farmacia y Bioquímica]. Cajamarca, Perú: Universidad Privada Antonio Guillermo Urrello; 2019 [acceso 12/10/2025]. Disponible en: <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/926>
28. Ihara Y, Asahara SI, Inoue H, Seike M, Ando M, Kabutoya H, et al. Chlorogenic acid and caffeine in coffee restore insulin signaling in pancreatic beta cells. *Kobe J Med Sci*. 2023 [acceso 12/10/2025];69(1):E1-E8. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10128592/>
29. Calabrese EJ, Pressman P, Hayes AW, Dhawan G, Kapoor R, Agathokleous E, et al. The chemoprotective hormetic effects of rosmarinic acid. *Open Med*. 2024;19(1):20241065. DOI: <https://doi.org/10.1515/med-2024-1065>
30. Meng S, Cao J, Feng Q, Peng J, Hu Y. Roles of chlorogenic acid on regulating glucose and lipid metabolism: A review. *Evid Based Complement Alternat Med*. 2013;2013:801457. DOI: <https://doi.org/10.1155/2013/801457>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Conceptualización: Mercedes Campo Fernández.

Análisis formal: Madelayne Elizabeth Vera Mena, Wilmer Smith González Guerrero, Mercedes Campo Fernández e Ingrid Márquez-Hernández.

Adquisición de fondos: Universidad Técnica de Machala.

Investigación: Madelayne Elizabeth Vera Mena, Wilmer Smith González Guerrero, Osmany Cuesta-Rubio y Jefferson Manuel Tocto-León.

Metodología: Mercedes Campo Fernández, Osmany Cuesta-Rubio y Jefferson Manuel Tocto-León

Administración del proyecto: Mercedes Campo Fernández.

Supervisión: Mercedes Campo Fernández, Ingrid Márquez-Hernández.

Redacción-borrador original: Madelayne Elizabeth Vera Mena y Wilmer Smith González Guerrero.

Redacción-revisión y edición: Mercedes Campo Fernández, Osmany Cuesta-Rubio, Ingrid Márquez-Hernández y Jefferson Manuel Tocto-León.

Financiamiento

La investigación fue realizada con recursos obtenidos a partir del proyecto de investigación titulado: Aprovechamiento de residuos agroindustriales de interés para la industria farmacéutica y alimentaria, financiado por la Universidad Técnica de Machala.