

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**INFLUENCIA DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN EN LOS
COMPUESTOS BIOACTIVOS DE SUBPRODUCTOS DE
CAFÉ Y CACAO**

**Autor: Bach. Jeisin Jhoisber Fernández Vílchez
Asesores: Ms. Grobert Amado Guadalupe Chuqui
Mg. Luz Maribel Quispe Sánchez**

Registro: (.....)

CHACHAPOYAS - PERÚ

2024

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a Dios, quien en momentos complicados supo guiarme por un buen camino, me dio salud y la fuerza para seguir adelante.

A mis padres y hermana por haberme apoyado en todo este proceso con sus palabras de aliento que me ayudaron mucho a ser perseverante y me impulsaron a mejorar cada día para culminar mi carrera con éxito

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios en primer lugar por la vida, la salud y la sabiduría brindada, al equipo de profesionales que laboran en el laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal (FSIOBVEG), al Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados (PROCIENCIA) – CONTRATO PE501079737-2022 en el proyecto Desarrollo y caracterización de bioplásticos bioactivos a partir de subproductos de café y cacao por haberme brindado la asistencia técnica, los equipos y materiales necesarios para el desarrollo de mi proyecto.

A mis padres y hermana quienes fueron mi motor y motivo, confiaron en mí y estuvieron apoyándome en todo este proceso universitario impulsándome a ser mejor persona con sus consejos, palabras de aliento y su apoyo incondicional para conseguir mi sueño.

A mis asesores Grobert Amado Guadalupe Chuqui y Luz Maribel Quispe Sánchez por su dedicación, paciencia y compartirme sus conocimientos porque sin sus correcciones no hubiese podido llegar hasta esta instancia tan anhelada.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph. D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA

RECTOR

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

VICERRECTOR ACADÉMICO

Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA

VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

Dr. ERICK ALDO AUQUIÑIVIN SILVA

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS

VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Influencia del método de extracción en los compuestos bioactivos de subproductos de café y cacao; del egresado Jeison Jhoisber Fernández Vilchez de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.



Chachapoyas, 17 de mayo de 2024

Firma y nombre completo del Asesor

Ms. Grobert Amado Guadalupe Chugui

VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Influencia del método de extracción en los compuestos bioactivos de subproductos de café y cacao; del egresado Jeisin Jhoisber Fernández Vilches de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.



Chachapoyas, 17 de mayo de 2024

Firma y nombre completo del Asesor

203 Maribel Quispe Sánchez

JURADO EVALUADOR DE LA TESIS




Ph.D. Armstrong Barnard Fernández Jeri

PRESIDENTE



Ing. MsC. Segundo Grimaldo Chavez Quintana

SECRETARIO



Ing. Mg. Sc. Elí Pariente Mondragón

VOCAL

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Influencia del método de extracción en las composiciones bioactivas de subproductos de café y cacao

presentada por el estudiante () / egresado (X) Teissa Johisber Fernanda Vilchee

de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial

con correo electrónico institucional 7376408441@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- La citada Tesis tiene 21 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.

Chachapoyas, 17 de Mayo del 2024


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....
.....

REPORTE DEL TURNITIN

INFLUENCIA DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN EN LOS COMPUESTOS BIOACTIVOS DE SUBPRODUCTOS DE CAFÉ Y CACAO

INFORME DE ORIGINALIDAD

21 %

INDICE DE SIMILITUD

20 %

FUENTES DE INTERNET

7 %

PUBLICACIONES

5 %

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	8 %
2	repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet	1 %
3	doczz.es Fuente de Internet	1 %
4	oldri.ues.edu.sv Fuente de Internet	1 %
5	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	1 %
6	Felix Álvarez-Gomez, Nathalie Korbee, Felix L Figueroa. "Analysis of antioxidant capacity and bioactive compounds in marine macroalgal and lichenic extracts using different solvents and evaluation methods", Ciencias Marinas, 2016 Publicación	1 %

A. M. Rodríguez
A. M. Rodríguez
DNI 09304921

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-5

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 11 de junio del año 2014, siendo las 17:20 horas, el aspirante: José Shouber Fernández Vilchez, asesorado por Mg. Gilbert Amado Guadalupe Chuyi y defiende en sesión pública presencial () / a distancia () la Tesis titulada: Influencia del método de extracción en los compuestos bioactivos de subproductos de café y cacao, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Ph. D. Amador Bernard Fernández Jari

Secretario: Mg. Segundo Griselda Chávez Quintana

Vocal: Mg. Eli Lucio Montoya

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 15:16 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

SECRETARIO

PRESIDENTE

VOCAL

OBSERVACIONES:

INDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ	iv
DE MENDOZA DE AMAZONAS	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS	vi
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS.....	vii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....	viii
REPORTE DEL TURNITIN	ix
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....	x
INDICE.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	16
II. MATERIAL Y METODOS.....	19
2.1. Obtención de subproductos.....	19
2.2. Métodos de extracción para compuestos bioactivos de subproductos	19
2.3. Análisis de compuestos bioactivos	20
2.4. Análisis de datos	21
III. RESULTADOS	22
IV. DISCUSIÓN	32
V. CONCLUSIONES	35
VI. RECOMENDACIONES	36
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
ANEXOS.....	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fenoles totales de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por agitador magnético.	29
Tabla 2. Fenoles totales de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por microondas.	29
Tabla 3. Fenoles totales de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por agitador orbital.	30
Tabla 4. Fenoles totales de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por ultra sonido.	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Capacidad antioxidante de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por agitación magnética.....	23
Figura 2. Capacidad antioxidante de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por microondas.	23
Figura 3. Capacidad antioxidante de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por agitador orbital.	24
Figura 4. Capacidad antioxidante de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por ultra sonido.....	24
Figura 5. Flavonoides totales de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por agitador magnético.	26
Figura 6. Flavonoides totales de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por microondas.	26
Figura 7. Flavonoides totales de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por agitador orbital.	27
Figura 8. Flavonoides totales de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por ultra sonido.....	27
Figura 9. Obtención y manejo de la pulpa de café	44
Figura 10. Obtención y manejo de la mazorca de cacao	44
Figura 11. Obtención y manejos de los posos gastados de café.	44
Figura 12. Liofilizado de las muestras.....	45
Figura 13. Método de extracción	45
Figura 14. Extracción por agitador orbital (Shaker).....	45
Figura 15. Extracción por agitador magnético	46
Figura 16. Extracción por ultrasonido	46
Figura 17. Extracción por microondas.....	46

RESUMEN

Este estudio se investigó cómo diferentes métodos de extracción (agitación magnética, microondas, agitador orbital y ultrasonido), solventes (etanol, metanol y propilenglicol) y tiempo (10 y 20 min) influyen la capacidad antioxidante, contenido de flavonoides totales y fenoles totales en subproductos de café y cacao. Los resultados muestran que el solvente metanol mostró ser eficaz para extraer compuestos bioactivos de la pulpa de café (PC) y los posos gastados de café (PGC), mientras que el propilenglicol demostró mayor eficacia en la cáscara de mazorca de cacao (CMC). Específicamente, al analizar los resultados más destacados, se observó que el método de extracción por ultrasonido sobresalió en la obtención de fenoles totales en todos los subproductos evaluados. Por ejemplo, se registró una capacidad antioxidante excepcionalmente alta en PC y PGC cuando se utilizó metanol como solvente y se aplicó el método de extracción por ultrasonido, alcanzando valores de 10.32 y 10.31 mg AG/L respectivamente. Además, se identificó que tanto la duración del proceso de extracción como el tipo de solvente jugaron un papel crucial en los resultados obtenidos. La optimización de estos factores se mostró fundamental para alcanzar los niveles más altos de capacidad antioxidante y contenido de compuestos bioactivos. En concreto, se encontraron valores destacados de capacidad antioxidante, contenido de flavonoides totales y fenoles totales que respaldan la utilidad y eficacia de estos subproductos como fuentes de compuestos bioactivos de interés,

Palabras clave: compuestos bioactivos, capacidad antioxidante, flavonoides totales, fenoles totales.

ABSTRACT

This study investigated how different extraction methods (magnetic stirring, microwave, orbital shaker and ultrasound) and solvents (ethanol, methanol and propylene glycol) influence the antioxidant capacity, total flavonoid and total phenol content in coffee and cocoa by-products. The results show that the solvent methanol was shown to be effective in extracting bioactive compounds from coffee pulp (CP) and spent coffee grounds (SCG), while propylene glycol demonstrated greater efficacy on cocoa pod husk (CCC). Specifically, when analyzing the most outstanding results, it was observed that the ultrasound extraction method excelled in obtaining total phenols in all the by-products evaluated. For example, an exceptionally high antioxidant capacity was recorded in PC and PGC when methanol was used as solvent and the ultrasound extraction method was applied, reaching values of 10.32 mg AG/L and 10.31 mg AG/L, respectively. Furthermore, it was identified that both the duration of the extraction process and the type of solvent played a crucial role in the results obtained. The optimization of these factors proved to be fundamental to achieve the highest levels of antioxidant capacity and content of bioactive compounds. In particular, outstanding values of antioxidant capacity, total flavonoid content and total phenol content were found, which support the usefulness and efficacy of these by-products as sources of bioactive compounds of interest,

Key words: bioactive compounds, antioxidant capacity, total flavonoids, total phenols.

I. INTRODUCCIÓN

El café es una de las bebidas más consumidas en el mundo después del agua, y se produce en más de 80 países de los cuales el 90 % son países en vías de desarrollo (Cortés et al., 2020). La producción estimada de café para el 2020 fue de 10.7 millones de toneladas en el mundo (FAOSTAD, 2022), que va en aumento, debido a la creciente demanda de los consumidores (International Coffee Organization, 2020).

Su procesamiento genera gran cantidad de residuos donde la pulpa de café es el principal subproducto, este se obtiene durante el proceso fresco del fruto y representa un 43.58 % de su peso total (Rodríguez & Zambrano, 2010). Sin embargo, al generarse una cantidad considerable de residuos agroalimentarios por la alta producción de café, están propensos a deteriorarse cuando no se les da un uso o tratamiento adecuado, generando un impacto ambiental negativo severo que puede conducir a la acidificación de suelos y ríos, amenazando gravemente el sistema hídrico y el medio ambiente ecológico; Además, la pulpa de café es la menos explorada en comparación a la piel plateada y los posos gastados de café (Hu et al., 2023).

La pulpa de café es un residuo que contiene fibra dietética y mucho mucílago, y su aprovechamiento es de gran importancia porque contiene una diversidad de compuestos fenólicos como ácido clorogénico, antioxidantes, antocianina y flavonoides que son beneficiosos para la salud (Myo & Khat-udomkiri, 2022a). Además, es una fuente natural de bajo coste de componentes alimentarios como carbohidratos, proteínas, lípidos, minerales y cafeína (Klingel et al., 2020).

La piel plateada del café y los posos gastados de café también son subproductos que se obtienen durante el tostado y la elaboración de bebidas de café, respectivamente (M. R. da Silva et al., 2023; Spadi et al., 2021). Son de gran interés por el tipo de partículas que lo componen, principalmente los compuestos orgánicos como la celulosa, hemicelulosa, lignina, ácidos grasos, polisacáridos y fenoles (Essabir et al., 2018; Zhang et al., 2023); compuestos bioactivos, principalmente ácidos fenólicos (Sousa et al., 2015); flavonoides y otros componentes (Silva et al., 2022).

Por otro lado, el cacao es un producto agrícola importante para la exportación en varios países como Perú, Ecuador, Costa de Marfil, Nigeria, etc (Oliveira, et al., 2023). La cáscara de la mazorca es el principal subproducto en la industria del cacao, representa

hasta un 76% del peso total del fruto entero generando alrededor de 700 mil toneladas a nivel mundial (Oliveira, Ferreira, et al., 2023a).

De forma similar, la cáscara de la mazorca de cacao (CPH por sus siglas en inglés) es una fuente abundante, económica y renovable de compuestos bioactivos como pectina, fibra dietética, compuestos antioxidantes, teobromina y minerales (Campos-Vega et al., 2018); flavonoides (Oliveira, et al., 2023). También, contiene polímeros naturales como hemicelulosa, lignina y celulosa. Sin embargo, este residuo actualmente no tiene una cabida en la cadena de producción debido a prácticas inadecuadas de gestión de residuos (Muharja et al., 2023; Zambrano-Mite et al., 2023) generando un impacto ambiental de gran envergadura por la segregación de gas metano que se produce de forma natural por la pudrición de sustancias orgánicas en ambientes pobres de oxígeno y se convierte en un foco activo para la propagación de hongos del género *phytophthora* spp (Díaz-Oviedo et al., 2022).

La extracción de compuestos bioactivos es un proceso confiable que requiere de una selección cuidadosa de metodología y disolventes para evitar la degradación y adquirir un alto rendimiento de fenoles, flavonoides y antioxidante (Robles-Botero et al., 2020). Estos se vuelven inestables al ser expuestas a la humedad, al oxígeno, la luz ultravioleta y temperatura (V. T. Nguyen et al., 2021). Los métodos de extracción estándar por sus altas temperaturas y tiempos extensos de tratamientos disminuyen la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos naturales de importancia (Jha & Sit, 2023a). Sin embargo, el agitador orbital permite mejor la permeabilidad del solvente en la matriz del vegetal, el incremento de los niveles de compuestos bioactivos y potencial antioxidante dependen de la especie y condiciones de procesamiento (Carvalho Gualberto et al., 2021).

La extracción por microondas, proporciona un calentamiento uniformemente de la materia en un tiempo corto, mejorando la porosidad y produciendo la ruptura de las paredes celulares del vegetal facilitando mejor la penetración del solvente y la extracción de los compuestos (Jha & Sit, 2023); la extracción asistida por ultrasonido, las ondas sonoras permiten rompen la pared celular del vegetal y mejoran el ingreso del solvente pero el tiempo de sonicación tiene que optimizarse porque la irradiación ultrasónica puede dañar la calidad de los materiales sensibles al calor (Bachtler & Bart, 2021); el agitador magnéticos genera un campo magnético que permite mezclar el solvente con el subproducto automáticamente (Chamorro et al., 2018).

Por todo lo expuesto anteriormente, el objetivo de la investigación fue evaluar la influencia del método de extracción en los compuestos bioactivos de subproductos de café y cacao

II. MATERIAL Y METODOS

2.1. Obtención de subproductos

- Subproductos de café

Los cerezos maduros de café fueron cosechados en una finca ubicada en el Caserío La Unión, a una altitud de 1465 msnm, en el distrito de Lonya Grande, provincia de Utcubamba, región de Amazonas. Los posos gastados de café (PGC) se obtuvieron de dos cafeterías diferentes, Maná Coffee & Chocolate y Café Vivari, en la ciudad de Chachapoyas. Cada muestra fue transportada al laboratorio, donde los cerezos de café fueron lavados y desinfectados antes de ser despulpados manualmente, con el fin de evitar la contaminación de la muestra.

- Subproductos de cacao

La cáscara de la mazorca de cacao (CMC) se obtuvo de la Cooperativa APROCAM, ubicada en la provincia de Bagua, región de Amazonas. En el laboratorio, las cáscaras fueron lavadas con agua destilada y cortadas en trozos pequeños de aproximadamente 0.5 cm². Todas las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Fisiología y Biotecnología Vegetal (FISIOBVEG) de la UNTRM, donde fueron ultracongeladas individualmente a -80°C durante 24 h en recipientes separados. Posteriormente, fueron liofilizadas durante un mínimo de 72 h utilizando un liofilizador (Labconco 710401010, 230 V, USA). Después de este proceso, las muestras se pulverizaron utilizando una licuadora industrial (Oster BRLY07S00051, 600W, México) y se almacenaron en un lugar oscuro y libre de humedad para su posterior extracción.

2.2. Métodos de extracción para compuestos bioactivos de subproductos

- Preparación de los extractos

Para obtener los extractos, se tomó 1 g de subproducto liofilizado y se mezcló con 10 mL de solvente. Se emplearon tres tipos de solventes para preparar los tratamientos por separado: propilenglicol al 40, metanol al 70 y etanol al 70 %. Se utilizaron cuatro técnicas de extracción diferentes, cada una con dos tiempos de extracción (10 y 20 min). Posteriormente, los extractos fueron sometidos a centrifugación durante 15 min a 2700 rpm, y el sobrenadante resultante se almacenó a -4°C para su análisis posterior. Las condiciones específicas de cada técnica de extracción se detallan en las secciones siguientes.

- **Extracción asistida por agitador orbital**

Los extractos preparados fueron agitados a 300 rpm en un agitador orbital (Lauda varioshake VS 15 O, 130V, 0.065 KW, Germany) a 10 y 20 mins (Rodrigues da Silva et al., 2022).

- **Extracción asistida por agitación magnética**

Los extractos preparados fueron agitados a 300 rpm y 60°C por 10 y 20 min en un agitador magnético (Velp F20500011 AREC, 230V, 800W, EUROPE) (Rodrigues da Silva et al., 2022).

- **Extracción asistida por microondas**

Se siguió el método descrito por Puertas et al. (2016). Los extractos fueron sometidos a un microondas LG convencional (MH6596DIR, 220V, 1000W, CHINA) con un tiempo de exposición de 10 y 20 min a 360 W de potencia (Puertas-Mejía et al., 2016).

- **Extracción asistida por ultrasonido**

Los extractos fueron sumergidos en agua en ultrasonido (Bransonic CPX5800H – E, 490W, México) a una temperatura de 50°C durante 10 y 20 min a potencia máxima (Heeger et al. 2017; Magoni et al. 2018).

2.3. Análisis de compuestos bioactivos

- **Contenido de fenoles totales**

El contenido fenólico se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu descritos por Kieu et al. (2020) y Papadaki et al. (2022). Una alícuota de 150 µL de extracto fue diluida en 2400 µL de agua ultra pura, luego se añadió 375 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu (0,2 N) y se agitó con vortex. Finalmente se agregó 375 µL de Na₂CO₃ (75 g/L). Las mezclas fueron incubadas a temperatura ambiente durante 30 min. Las absorbancias de las muestras se midieron en espectrofotómetro (ThermoFisher SCIENTIFIC, GENESYS 1XX, China) a 765 nm y los resultados se calcularon de acuerdo a la curva de calibración de ácido gálico (0-300 mg/L). los resultados fueron expresados en mg de ácido gálico equivalente por 100 g de muestra (mg GAE/100 g muestra seca).

- **Determinación de flavonoides totales**

El contenido total de flavonoides se determinó siguiendo el método empleado por Kieu et al. (2020). Se agregó 250µL de extracto de muestra en 2 mL de H₂O, se adicionó 2720µL de etanol al 30% y 120µL de solución de NaNO₂ (0.5 mol/L), se agitó con vortex y almacenó la solución a temperatura ambiente durante 5 min. Luego, se adicionó 120 µL de la solución de AlCl₃.6H₂O a 0.3 mol/L y se homogenizo con vortex. Después de 5 min, se agregó 800 µL de solución NaOH (1 mol/L). La solución final fue homogenizada y se mantuvo a temperatura ambiente durante 5 min. Finalmente, las absorbancias de las muestras fueron medidas a una longitud de onda de 510 nm en un espectrofotómetro (Eppendorf ag 22331 hamburg, 250V, 25W, Germany). Se utilizó catequina para construir la curva estándar (0-100mg/L) y los resultados se presentaron como mg de equivalentes de catequina por litro de muestra (mg CAT/L).

- **Determinación de capacidad antioxidantes**

Siguiendo el método de Papadaki et al., (2022). Se preparó la solución DPPH (1 mg/mL) con etanol al 96 %. Posteriormente, se ajustó la absorbancia de la solución DPHP hasta alcanzar 0.9 -1. En tubos de ensayo se mezcló 2850 µL de solución DPPH y 150 µL de muestra, se agitó con vortex y se midió la absorbancia en espectrofotómetro (ThermoFisher SCIENTIFIC, GENESYS 1XX, China) a 517nm después de 40 min. Se utilizó ácido gálico para hacer la curva de calibración en una concentración de 0-100 mg/L.

2.4.Análisis de datos

Para determinar el efecto del método de extracción, se empleó un análisis de varianza y se utilizó una prueba post hoc, con la prueba estadística de Tukey al nivel (p<0,05) y diferencias mínimas significativa, empleando el paquete estadístico SPSS V. 25.

III. RESULTADOS

Capacidad Antioxidante

En las figuras 1, 2, 3 y 4 se presentan los resultados de la capacidad antioxidante de compuestos bioactivos de subproductos de café y cacao mediante los 4 métodos de extracción.

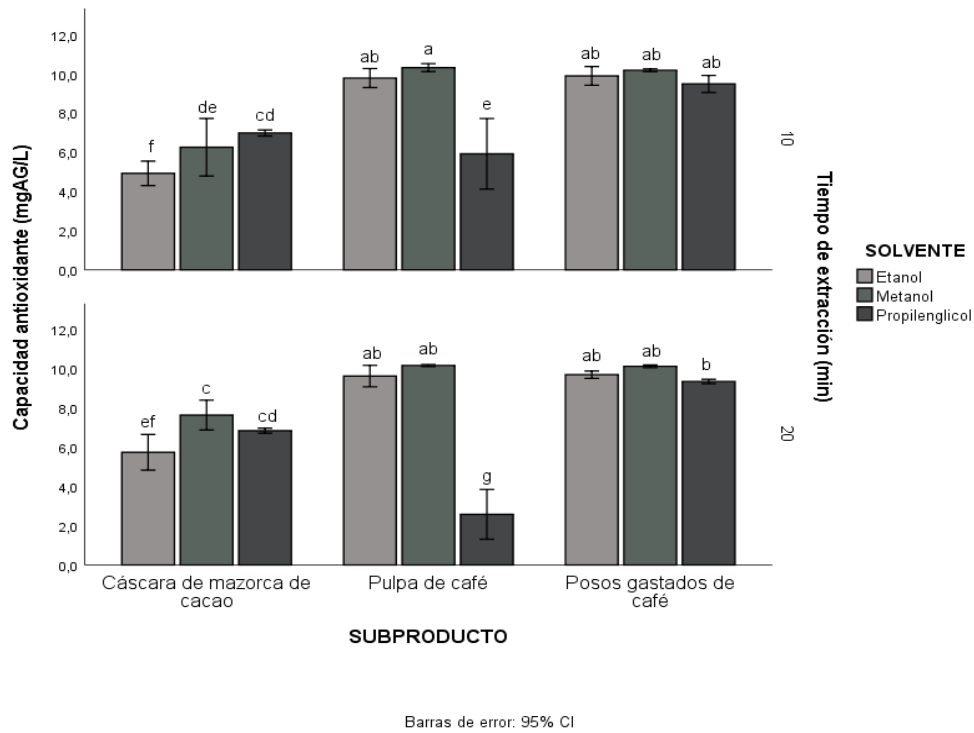
En la figura 1, se observan los valores de capacidad antioxidante en relación al método de extracción por agitación magnética. Se destaca que los compuestos bioactivos extraídos del subproducto de PC con solvente metanol durante 10 min muestran la mayor capacidad antioxidante, alcanzando 10.32 mg AG/L. Además, se encontró que en PGC la capacidad antioxidante es mayor utilizando como solvente metanol (10.18 mg AG/L) y etanol (9.89 mg AG/L) durante 10 min. Por otro lado, en CMC se extrajo un mayor contenido antioxidante (7.65 mg AG/L) utilizando metanol durante 20 min.

En la figura 2 se presentan los valores de capacidad antioxidante en relación al método de extracción por microondas. Aquí se destaca que se obtuvo una mayor capacidad antioxidante en PGC con solvente metanol (10.31 mg AG/L) durante 10 min. Asimismo, se observó que en PC la mayor capacidad antioxidante se obtuvo con el solvente etanol (9.85 mg AG/L) durante 20 min, mientras que en CMC la mayor capacidad antioxidante se logró con solvente propilenglicol durante 10 min, alcanzando un valor de 7.83 mg AG/L.

La figura 3 muestra los valores de capacidad antioxidante utilizando un agitador orbital, donde se obtuvo una mayor capacidad antioxidante al utilizar metanol como solvente en PGC por 10 min (10.75 mg AG/L). Para PC, se encontró una mayor capacidad antioxidante con el solvente etanol (10.53 mg AG/L) durante 20 min, y en CMC se logró una mayor capacidad antioxidante con solvente propilenglicol durante 10 min, alcanzando 6.98 mg AG/L.

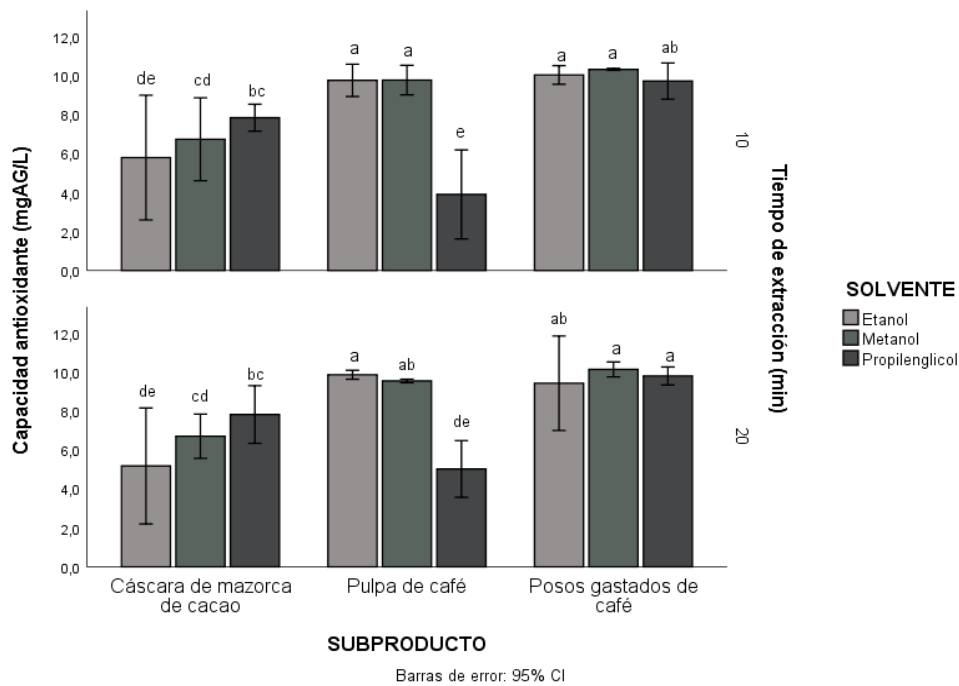
Por último, en la figura 4, mediante el método de ultrasonido, se identificó una mayor capacidad antioxidante en PC con solvente etanol por 20 min (9.99 mg AG/L), en los PGC con solvente metanol por 10 min (9.94 mg AG/L), y en el subproducto de CMC con solvente metanol por 20 min (7.33 mg AG/L).

Figura 1. Capacidad antioxidante de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por agitación magnética.



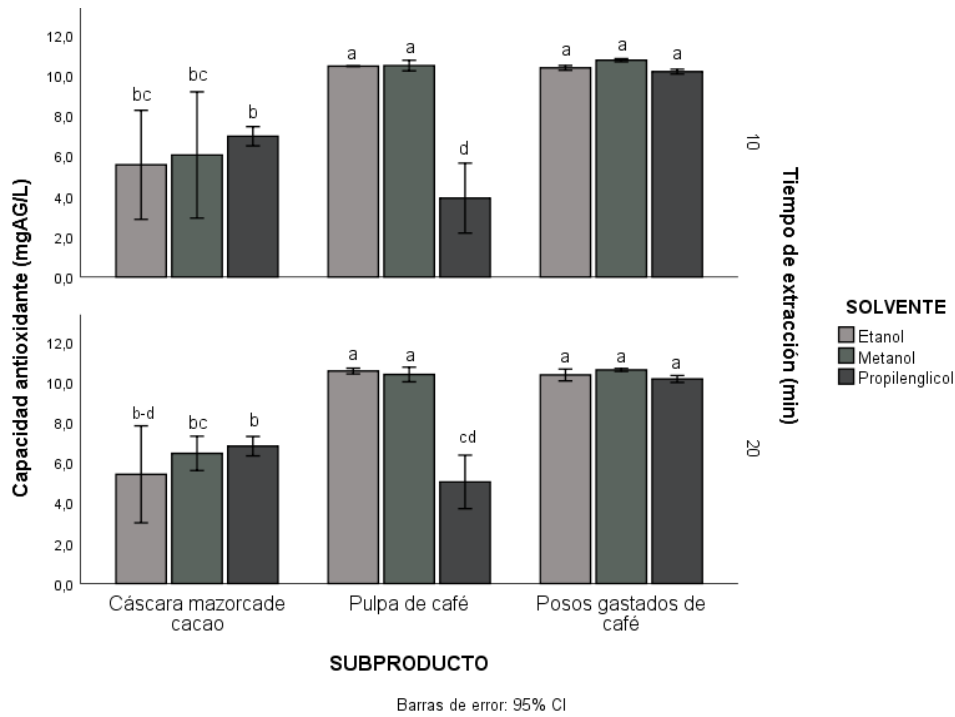
Nota. Las letras diferentes indican grupos significativamente diferentes, según Tukey ($p < 0.05$).

Figura 2. Capacidad antioxidante de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por microondas.



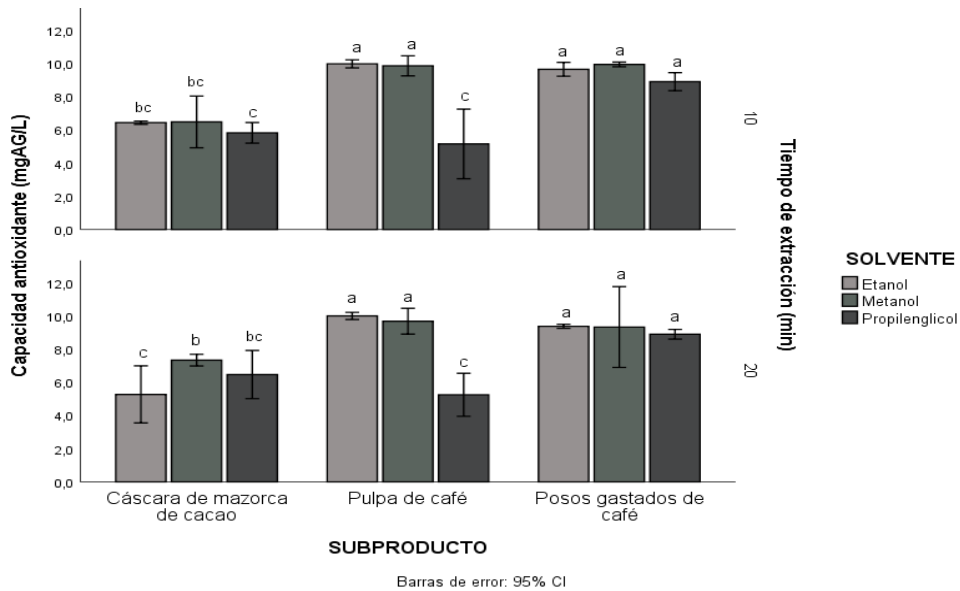
Nota. Las letras diferentes indican grupos significativamente diferentes, según Tukey ($p < 0.05$).

Figura 3. Capacidad antioxidante de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción pro agitador orbital.



Nota. Las letras diferentes indican grupos significativamente diferentes, según Tukey ($p < 0.05$).

Figura 4. Capacidad antioxidante de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por ultra sonido.



Nota. Las letras diferentes indican grupos significativamente diferentes, según Tukey ($p < 0.05$).

Flavonoides totales

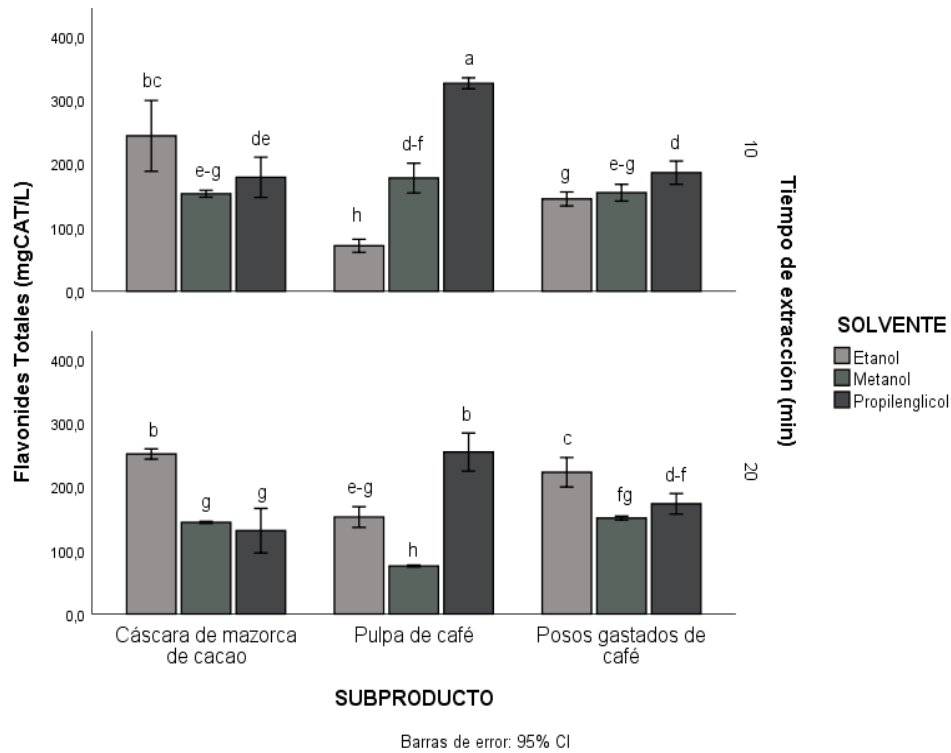
Los resultados de los análisis de flavonoides totales de los subproductos de café y cacao, obtenidos a través de cuatro métodos de extracción, se muestran en las figuras 5, 6, 7 y 8. En la Figura 5, utilizando el método de extracción por agitador magnético, se observa un mayor contenido de flavonoides totales en PC cuando se utilizó propilenglicol como solvente durante 10 min, con un valor de 326.22 mg CAT/L. En cuanto a CMC, se encontró un mayor contenido de flavonoides totales al utilizar etanol durante 20 min, con un valor de 251.026 mg CAT/L, mientras que en PGC, el mayor contenido se obtuvo con etanol durante 20 min, con 222.42 mg CAT/L.

Por otro lado, en la Figura 6, mediante el método de extracción por microondas, se observó un mayor contenido de flavonoides totales en CMC utilizando propilenglicol durante 20 min, con un valor de 296.84 mgCAT/L. Asimismo, en PC se encontró un mayor contenido de flavonoides totales utilizando propilenglicol durante 20 min, con 241.96 mg CAT/L, y en PGC, el mayor contenido se obtuvo con etanol durante 20 min, con 182.89 mg CAT/L.

En la Figura 7, mediante el método de extracción por agitador orbital, se observó un mayor contenido de flavonoides totales en PC utilizando propilenglicol como solvente durante 20 min, con un valor de 376.49 mg CAT/L. En cuanto a CMC, se encontró un mayor contenido de flavonoides totales al utilizar etanol durante 10 min, con un valor de 245.56 mg CAT/L, y en PGC, el mayor contenido se obtuvo con etanol durante 10 min, con 188.72 mg CAT/L.

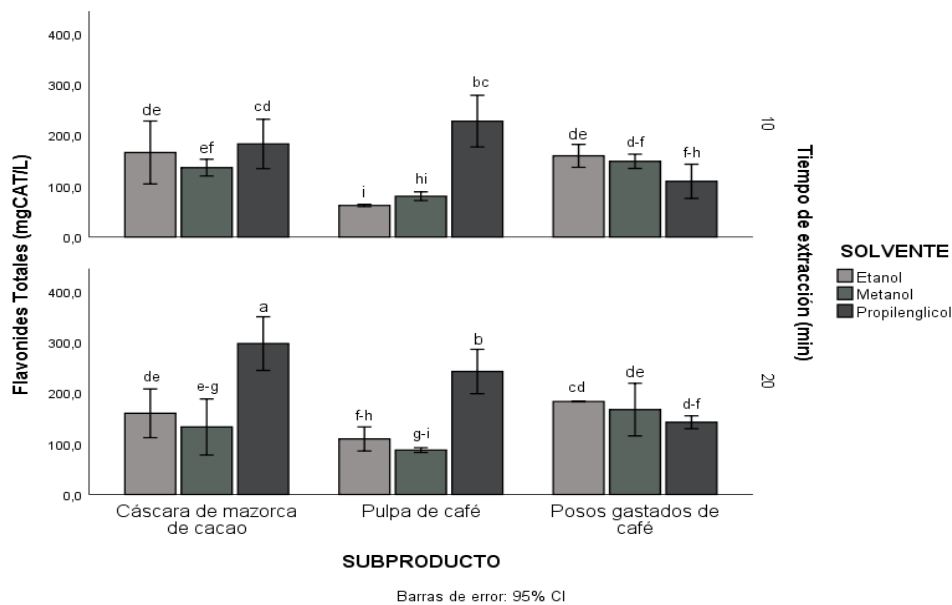
Finalmente, en la Figura 8, mediante el método de extracción por ultrasonido, se observó un mayor contenido de flavonoides totales en PGC utilizando propilenglicol durante 20 min, con un valor de 364.56 mg CAT/L. Igualmente, en PC se encontró un mayor contenido de flavonoides totales utilizando propilenglicol durante 10 min, con 343.42 mg CAT/L, y en CMC, el mayor contenido se obtuvo con etanol durante 10 min, con 173.16 mg CAT/L.

Figura 5. Flavonoides totales de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por agitador magnético.



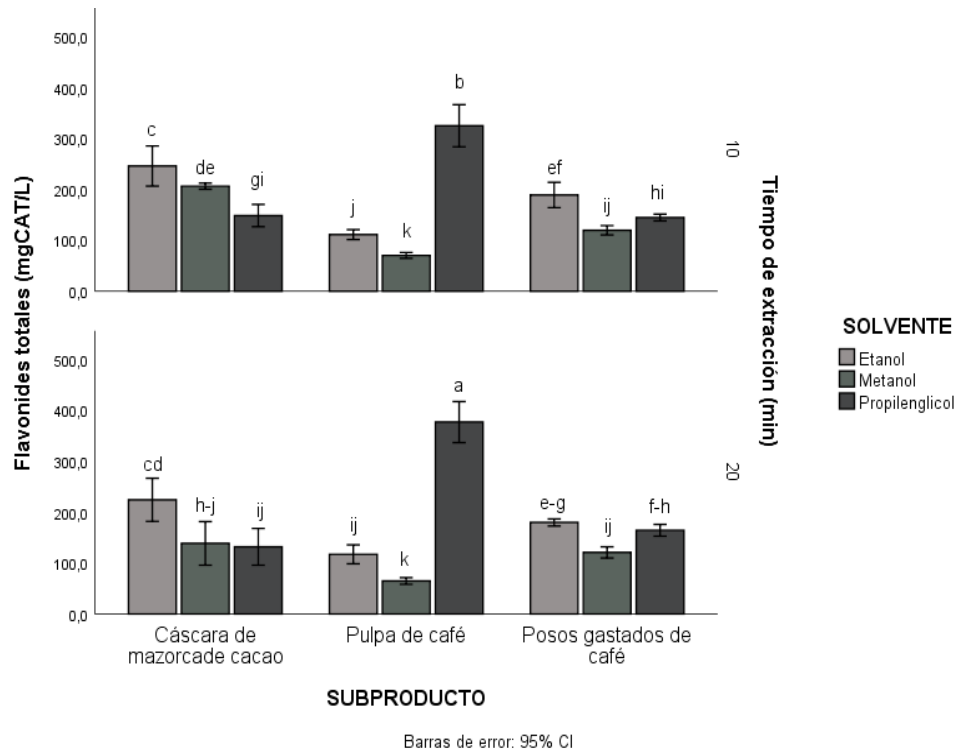
Nota. Las letras diferentes indican grupos significativamente diferentes, según Tukey ($p < 0.05$).

Figura 6. Flavonoides totales de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por microondas.



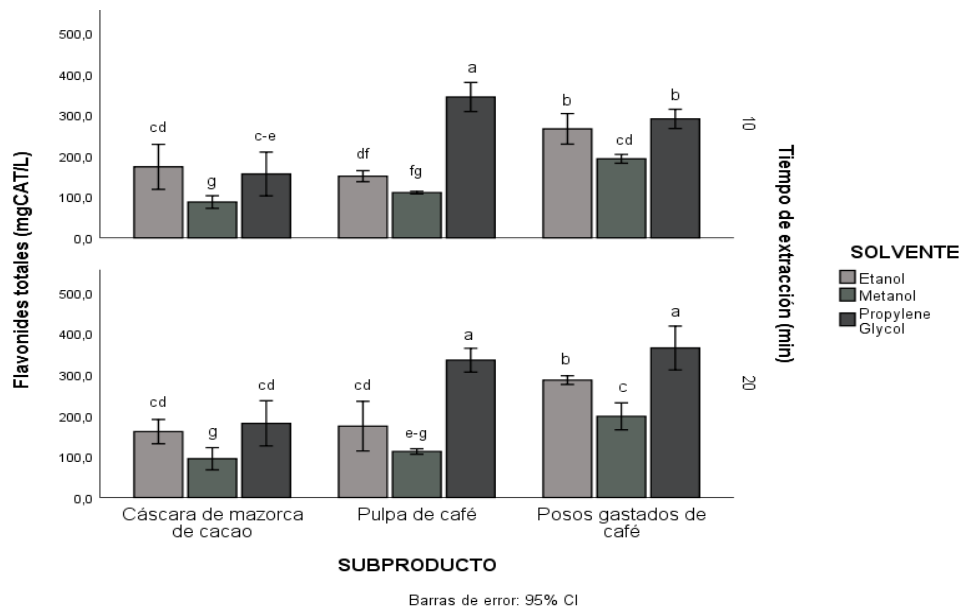
Nota. Las letras diferentes indican grupos significativamente diferentes, según Tukey ($p < 0.05$).

Figura 7. Flavonoides totales de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por agitador orbital.



Nota. Las letras diferentes indican grupos significativamente diferentes, según Tukey ($p < 0.05$).

Figura 8. Flavonoides totales de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por ultra sonido.



Nota. Las letras diferentes indican grupos significativamente diferentes, según Tukey ($p < 0.05$).

Fenoles totales

Las tablas 1, 2, 3 y 4 presentan los resultados de fenoles totales de los compuestos bioactivos de subproductos de café y cacao, obtenidos mediante cuatro métodos de extracción.

En la Tabla 1, utilizando el método de extracción por agitador magnético, se observa un mayor contenido de fenoles totales en PC cuando se utilizó etanol como solvente durante 10 min, obteniendo 123.68 mg GAE/g. En cuanto a PGC, se encontró un mayor contenido de fenoles totales (88.42 mg GAE/g) al utilizar etanol durante 20 min, mientras que, en la CMC, el mayor contenido (164.90 mg GAE/g) se obtuvo con etanol durante 20 min.

Por otro lado, en la Tabla 2, mediante el método de extracción por microondas, se observa un mayor contenido de fenoles totales (97.61 mg GAE/g) en PC utilizando metanol como solvente durante 20 min.

Respecto a PGC, se encontró un mayor contenido de fenoles totales (77.05 GAE/g) al utilizar etanol durante 10 min, mientras que, en la CMC, el mayor contenido (137.39 mg GAE/g) se obtuvo con etanol durante 20 min.

En la Tabla 3, mediante el método de extracción por agitador orbital, se observa un mayor contenido de fenoles totales (97 mg GAE/g) en PC utilizando etanol como solvente durante 10 min. En cuanto a los PGC, se encontró un mayor contenido de fenoles totales (75.14 mg GAE/g) al utilizar etanol durante 10 min, mientras que, en la CMC, el mayor contenido se obtuvo con propilenglicol durante 20 min, con un valor de 161.21 mg GAE/g.

Finalmente, en la Tabla 4, mediante el método de extracción por ultrasonido, se observa un mayor contenido de fenoles totales (128.74 mg GAE/g) en PC utilizando etanol como solvente durante 20 min. Respecto a los PGC, se encontró un mayor contenido de fenoles totales (95.51 mg GAE/g) al utilizar metanol durante 10 min, mientras que en CMC, el mayor contenido se obtuvo con propilenglicol durante 10 min, con un valor de 183.72 mg GAE/g.

Tabla 1. Fenoles totales de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por agitador magnético.

Método	Subproducto	Tiempo de extracción	Solvente	Fenoles Totales (mg GAE/g)
Agitador magnético	Posos gastados de café	10	Etanol	69.05±516.76 ^g
			Metanol	78.12±449.50 ^{fg}
			Propilenglicol	76.98±9.96 ^{fg}
		20	Etanol	88.42±9.87 ^{e-g}
			Metanol	71.68±48.18 ^{fg}
			Propilenglicol	86.92±71.34 ^{e-g}
	Cascará de mazorca de cacao	10	Etanol	161.60±30.49 ^a
			Metanol	145.87±191.19 ^{a-c}
			Propilenglicol	62.45±366.67 ^g
		20	Etanol	164.90±30.96 ^a
			Metanol	150.68±55.20 ^{ab}
			Propilenglicol	74.49±554.33 ^{fg}
	Pulpa de café	10	Etanol	123.68±71.63 ^{b-d}
			Metanol	100.16±150.08 ^{d-f}
			Propilenglicol	79.86±141.88 ^{fg}
20		Etanol	121.75±21.49 ^{cd}	
		Metanol	114.99±264.53 ^{de}	
		Propilenglicol	99.30±180.45 ^{d-f}	

Nota. Valores expresados como promedio ± desviación estándar. Las letras diferentes muestran diferencia significativa, según Tukey ($p < 0.05$).

Tabla 2. Fenoles totales de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por microondas.

Método	Subproducto	Tiempo de extracción	Solvente	Fenoles Totales (mg GAE/g)
Microondas	Posos gastados de café	10	Etanol	77.05±25.53 ^{b-f}
			Metanol	62.07±0.52 ^{fg}
			Propilenglicol	71.28±353.09 ^{c-g}
		20	Etanol	70.61±60.01 ^{c-g}
			Metanol	66.04±115.44 ^{e-g}
			Propilenglicol	67.87±188.8 ^{d-g}
	Cascará de mazorca de cacao	10	Etanol	134.97±340.19 ^a
			Metanol	123.42±57.02 ^a
			Propilenglicol	48.94±106.72 ^g
		20	Etanol	137.39±21.44 ^a

Pulpa de café	10	Metanol	135.08±194.75 ^a
		Propilenglicol	62.16±15.25 ^{fg}
		Etanol	85.95±53.29 ^{b-e}
	20	Metanol	92.43±74.58 ^{bc}
		Propilenglicol	96.94±204.54 ^b
		Etanol	91.13±86.95 ^{bc}
		Metanol	97.61±14.45 ^b
		Propilenglicol	90.87±148.33 ^{b-d}

Nota. Valores expresados como promedio ± desviación estándar. Las letras diferentes muestran diferencia significativa, según Tukey ($p < 0.05$).

Tabla 3. Fenoles totales de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por agitador orbital.

Método	Subproducto	Tiempo de extracción	Solvente	Fenoles Totales (mg GAE/g)
Agitador orbital	Posos gastados de café	10	Etanol	74.58±231.58 ^{d-g}
			Metanol	62.95±56.84 ^{eg}
			Propilenglicol	69.8±54.66 ^{d-g}
		20	Etanol	71.73±105.18 ^{d-g}
			Metanol	60.72±60.83 ^{fg}
			Propilenglicol	75.14±17.14 ^{c-f}
	Cascará de mazorca de cacao	10	Etanol	161.21±417.07 ^a
			Metanol	131.92±29.38 ^b
			Propilenglicol	52.37±19.8 ^g
		20	Etanol	158.32±86.73 ^a
			Metanol	128.34±10.02 ^b
			Propilenglicol	53.25±224.87 ^{fg}
Pulpa de café	10	Etanol	97.09±39.04 ^c	
		Metanol	84.05±10.1 ^{c-e}	
		Propilenglicol	88.02±309.84 ^{cd}	
	20	Etanol	92.03±33.99 ^{cd}	
		Metanol	85.51±31.62 ^{cd}	
		Propilenglicol	91.86±177.06 ^{cd}	

Nota. Valores expresados como promedio ± desviación estándar. Las letras diferentes muestran diferencia significativa, según Tukey ($p < 0.05$).

Tabla 4. Fenoles totales de compuestos bioactivos en subproductos de café y cacao mediante extracción por ultra sonido.

Método	Subproducto	Tiempo de extracción	Solvente	Fenoles Totales (mg GAE/g)
Ultra sonido	Posos gastados de café	10	Etanol	80.66±60.20 ^{d-f}
			Metanol	79.78±301.39 ^{ef}
			Propilenglicol	98.70±40.38 ^{b-f}
		20	Etanol	84.26±335.16 ^{c-f}
			Metanol	85.59±333.68 ^{c-f}
			Propilenglicol	95.51±102.15 ^{b-f}
	Cascará de mazorca de cacao	10	Etanol	162.56±105.9 ^a
			Metanol	176.90±1256.12
			Propilenglicol	69.77±125.58 ^f
		20	Etanol	183.72±133.32 ^a
			Metanol	175.48±29.56 ^a
			Propilenglicol	66.15±20.02 ^f
	Pulpa de café	10	Etanol	117.17±258.12 ^{bc}
			Metanol	128.74±642.05 ^b
			Propilenglicol	110.22±250.63 ^{b-e}
20		Etanol	116.99±146.92 ^{bc}	
		Metanol	113.66±72.48 ^{b-d}	
		Propilenglicol	124.73±28.09 ^b	

Nota. Valores expresados como promedio ± desviación estándar. Las letras diferentes muestran diferencia significativa, según Tukey ($p < 0.05$).

IV. DISCUSIÓN

La actividad antioxidante de los extractos depende en gran medida del tipo de disolvente utilizado (Amin & Mukhrizah, 2006), así como de la técnica de extracción (Dorta et al., 2012). En este estudio, se observó que para la PC se obtuvo una mayor capacidad antioxidante (10.32 mg AG/L) utilizando el método de extracción de Agitación magnética, con metanol como solvente y un tiempo de 10 minutos. Para PGC, la mayor capacidad antioxidante (10.31 mg AG/L) se logró mediante el método de extracción por Microondas, utilizando también metanol como solvente y un tiempo de extracción de 10 minutos. Por otro lado, en el caso de CMC, la mayor capacidad antioxidante (7.83 mg AG/L) se obtuvo con el método de extracción de microondas utilizando propilenglicol como solvente, también durante un tiempo de 10 minutos.

Es importante destacar que el método de extracción tiene un impacto significativo en la capacidad antioxidante de cada tipo de subproducto (PC, PGC y CMC). Esto se debe a que el rendimiento de la extracción y la pureza de los extractos pueden estar fuertemente influenciados por el procesamiento y el tipo de subproducto (Chaves et al., 2020).

Para PC y PGC, el uso de metanol como solvente mostró resultados más altos en ambos casos, posiblemente debido a su alta polaridad, lo que favorece una mayor solubilidad del metabolito bioactivo (Nkwocha et al., 2024). En otras palabras, el metanol logra extraer y disolver eficazmente los compuestos bioactivos, lo que se traduce en una mayor capacidad antioxidante de los extractos obtenidos. Investigaciones previas, como la de Geremu et al. (2016), han señalado que el metanol acuoso demostró ser más eficiente en la extracción de polifenoles totales y en la capacidad antioxidante. Asimismo, estudios realizados por Chavan et al. (2013) sobre la extracción de compuestos bioactivos de la pulpa de la fruta Saptarangi (*S. chinensis L.*) con diferentes solventes mostraron que el metanol absoluto proporcionó la mayor capacidad antioxidante. Estas investigaciones sugieren que, en comparación con otros solventes, el metanol demuestra ser más consistente y efectivo en la extracción de compuestos antioxidantes.

En contraste, para CMC la mayor capacidad antioxidante (7.83 mg AG/L) se obtuvo con el solvente propilenglicol. Hay que recalcar que el propilenglicol, es un solvente no acuoso, evita las reacciones de oxidación e hidrólisis en agua y mejorar la solubilidad de los bioactivos (Garcia et al., 2021) lo que permite una extracción más efectiva y una preservación mejorada de las propiedades antioxidantes.

Los flavonoides son una clase de compuestos fenólicos naturales sintetizados en plantas como metabolitos secundarios bioactivos (Nabavi et al., 2020). La investigación sobre las técnicas de extracción de flavonoides de productos naturales y alimentos ha sido un área de interés para los científicos (Chaves et al., 2020). En esta investigación, se encontró que el método de extracción por Agitador Orbital con solvente propilenglicol durante 20 minutos produjo el mayor contenido de flavonoides para el subproducto PC (376.49 mg CAT/L). Para PGC, el método de extracción por Ultrasonido con el mismo solvente y tiempo de extracción produjo el mayor contenido de flavonoides (364.56 mg CAT/L). En el caso de CMC, el método de extracción por Microondas también con el solvente propilenglicol durante 20 minutos mostró el mayor contenido de flavonoides (296.84 mg CAT/L). El método de extracción influye en los flavonoides para cada tipo de subproducto (PC, PGC y CMC). En esta investigación, los métodos de agitador orbital, ultrasonido y microondas destacaron como los más eficientes en la extracción de flavonoides. Estos métodos junto con solventes específicos, logran extraer polifenoles de manera efectiva de diversos materiales (Xu et al., 2022). Además se observó que el propilenglicol fue el solvente más efectivo en la extracción de flavonoides en los subproductos de PC, PGC y CMC. La recuperación de compuestos fenólicos en diversas plantas se ve influenciada por la polaridad de los solventes de extracción y la solubilidad de dichos compuestos en ellos (Kchaou et al., 2013). Se ha demostrado que los solventes altamente polares mejoran el rendimiento de los compuestos fenólicos (N.-V. T. Nguyen et al., 2022), y dado que el propilenglicol es un solvente altamente polar (Myo & Khatudomkiri, 2022), resulta ser eficiente en la extracción de flavonoides.

El método de extracción influye en los fenoles totales para cada tipo de subproducto (PC, PGC y CMC). En este estudio, se encontró que, para PC, el método de extracción por ultrasonido con etanol como solvente durante 20 minutos, que produce un contenido (128.74 mg GAE/g) de fenoles totales. Para PGC la extracción por ultra sonido utilizando metanol como solvente durante 10 minutos, que logra un contenido de 95.51 mg GAE/g. En el caso de CMC, la extracción por ultrasonido con propilenglicol como solvente durante 10 minutos, que obtiene un contenido de 183.72 mg GAE/g. En estos resultados los métodos de extracción más eficientes para cada subproducto son por Ultrasonido, este método no solo se caracteriza por su eficacia en la extracción, sino también por ser una técnica limpia, con alto rendimiento y pureza en los extractos obtenidos (López-Salas et al., 2024). El potencial de esta técnica radica en las vibraciones de las ondas ultrasónicas

aplicadas, las cuales ocasionan la ruptura o alteración de las paredes celulares del material vegetal, facilitando así la transferencia de masa a través de las membranas celulares (Chang et al., 2022). Factores como la composición del solvente, la relación entre solvente y muestra, el número de ciclos de ultrasonido, la duración del contacto entre fases, el pH del solvente y la temperatura pueden influir en la eficacia de la extracción (López-Salas et al., 2024). Además, se observa que el tipo de solvente varía para cada subproducto, lo que sugiere que la polaridad de los solventes puede ser un factor determinante en la eficiencia de extracción de compuestos bioactivos a partir de materias primas. Es crucial que la polaridad del solvente sea compatible con la de las moléculas bioactivas específicas (Kanerla et al., 2012)

En este estudio, también se evidenció la importancia de tener en cuenta el factor tiempo en cada análisis, como la capacidad antioxidante, los flavonoides y los fenoles totales. Se observó que para cada subproducto existen tiempos variables de extracción. Aunque es cierto que el rendimiento de la extracción tiende a aumentar con la prolongación del tiempo de extracción, es importante tener precaución. La exposición prolongada a la radiación luminosa (CSLE), la cavitación (UAE) y la radiación de microondas (MAE) puede incrementar el riesgo de degradación de los polifenoles (Wang et al., 2010) , Asimismo, tiempos de extracción excesivamente largos pueden ocasionar una pérdida de estabilidad química debido a la oxidación y degradación (Wang et al., 2010). Esto sugiere la necesidad de considerar cuidadosamente el tiempo de extracción para cada subproducto y método utilizado.

V. CONCLUSIONES

Los residuos que se generan del proceso de café y cacao ofrecen una excelente alternativa para la extracción de compuestos bioactivos, donde el método de extracción juega un papel significativo por las ventajas que poseen. Los resultados experimentales revelaron que el método de extracción asistida por ultrasonido destacó como el más eficiente en la extracción de compuestos bioactivos, produciendo los mayores contenidos de fenoles totales en todos los subproductos. De igual forma se observa que el disolvente empleado con cada tecnología también influye en cada método extracción, de modo que en la pulpa de café y posos gastados de café se observó que el metanol fue el disolvente más eficaz para extraer compuestos bioactivos, lo que resultó en una mayor capacidad antioxidante y contenido de flavonoides totales en la mayoría de los casos y para la cascara de mazorca de cacao, el propilenglicol mostró ser el disolvente más efectivo en la extracción de compuestos bioactivos, especialmente para flavonoides totales. Además, se observó que la duración del proceso de extracción también desempeña un papel crucial, ya que tiempos excesivamente largos pueden resultar en la degradación de los compuestos bioactivos.

VI. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones en la extracción de compuestos bioactivos de subproductos de café y cacao, se sugiere ampliar la diversidad de materiales estudiados, explorando no solo los posos de café, la pulpa y la cáscara de cacao, sino también otros subproductos derivados de estas plantas. Además, es crucial considerar la viabilidad económica y la escalabilidad de los métodos de extracción para su eventual aplicación a nivel industrial. Explorar aplicaciones específicas en la industria alimentaria podría revelar nuevas oportunidades para utilizar estos compuestos como ingredientes funcionales o conservantes naturales, enriqueciendo así su potencial valor nutricional y comercial.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amin, I., & Mukhrizah, O. (2006). Antioxidant capacity of methanolic and water extracts prepared from food-processing by-products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(5), 778–784. <https://doi.org/10.1002/JSFA.2414>
- Bachtler, S., & Bart, H. J. (2021). Increase the yield of bioactive compounds from elder bark and annatto seeds using ultrasound and microwave assisted extraction technologies. *Food and Bioproducts Processing*, 125, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.10.009>
- Campos-Vega, R., Nieto-Figueroa, K. H., & Oomah, B. D. (2018). Cocoa (Theobroma cacao L.) pod husk: Renewable source of bioactive compounds. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 81, pp. 172–184). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.022>
- Carvalho Gualberto, N., Santos de Oliveira, C., Pedreira Nogueira, J., Silva de Jesus, M., Caroline Santos Araujo, H., Rajan, M., Terezinha Santos Leite Neta, M., & Narain, N. (2021). Bioactive compounds and antioxidant activities in the agro-industrial residues of acerola (*Malpighia emarginata* L.), guava (*Psidium guajava* L.), genipap (*Genipa americana* L.) and umbu (*Spondias tuberosa* L.) fruits assisted by ultrasonic or shaker extraction. *Food Research International*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110538>
- Chamorro, R., Repo Carrasco, R., Ccapa Ramírez, K., Quispe Jacobo, F., & Molina, L. (2018). Composición química y compuestos bioactivos de treinta accesiones de kiwicha (*amaranthus caudatus* L.) Chemical composition and bioactive compounds of thirty accessions of kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.). In *Rev Soc Quím Perú* (Vol. 84, Issue 3).
- Chang, Y., Shi, X., He, F., Wu, T., Jiang, L., Normakhamatov, N., Sharipov, A., Wang, T., Wen, M., & Aisa, H. A. (2022). Valorization of Food Processing Waste to Produce Valuable Polyphenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(29), 8855–8870. https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.2C02655/ASSET/IMAGES/MEDIUM/JF2C02655_0008.GIF

- Chavan, J. J., Jagtap, U. B., Gaikwad, N. B., Dixit, G. B., & Bapat, V. A. (2013). Total phenolics, flavonoids and antioxidant activity of Saptarangi (*Salacia chinensis* L.) fruit pulp. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 22(4), 409–413. <https://doi.org/10.1007/S13562-012-0169-3/METRICS>
- Chaves, J. O., de Souza, M. C., da Silva, L. C., Lachos-Perez, D., Torres-Mayanga, P. C., Machado, A. P. da F., Forster-Carneiro, T., Vázquez-Espinosa, M., González-de-Peredo, A. V., Barbero, G. F., & Rostagno, M. A. (2020). Extraction of Flavonoids From Natural Sources Using Modern Techniques. *Frontiers in Chemistry*, 8, 507887. <https://doi.org/10.3389/FCHEM.2020.507887/BIBTEX>
- Cortés, Y. F., Rodríguez, K. D. S., & Marín, L. A. V. (2020). Environmental impacts from coffee production and to the sustainable use of the waste generated. *Produccion y Limpia*, 15(1), 93–110. <https://doi.org/10.22507/PML.V15N1A7>
- da Silva, M. R., Jelley, R. E., Carneiro, R. L., Fedrizzi, B., Weber, C. C., & Funari, C. S. (2023). Green solvents for the selective extraction of bioactive compounds from by-products of the coffee production chain. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103365>
- Díaz-Oviedo, A. F., Ramón-Valencia, B. A., & Moreno-Contreras, G. G. (2022). Caracterización físico-química de la cáscara de mazorca de cacao como posible uso en la elaboración de tableros aglomerados. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 12(1), 97–106. <https://doi.org/10.19053/20278306.v12.n1.2022.14211>
- Dorta, E., Lobo, M. G., & Gonzalez, M. (2012). Reutilization of Mango Byproducts: Study of the Effect of Extraction Solvent and Temperature on Their Antioxidant Properties. *Journal of Food Science*, 77(1), C80–C88. <https://doi.org/10.1111/J.1750-3841.2011.02477.X>
- Essabir, H., Raji, M., Laaziz, S. A., Rodrique, D., Bouhfid, R., & Qaiss, A. el kacem. (2018). Thermo-mechanical performances of polypropylene biocomposites based on untreated, treated and compatibilized spent coffee grounds. *Composites Part B: Engineering*, 149, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.05.020>
- FAOSTAD. (2022). *Statistics Division. Crop Statistic of Green Coffee*. FAO 2022. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

- Garcia, L. B., Pires, G. A., Oliveira, D. A. J., Silva, L. A. O., Gomes, A. F., Amaral, J. G., Pereira, G. R., & Ruela, A. L. M. (2021). Incorporation of glycolic extract of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) into microemulsions and emulgels for skincare. *Industrial Crops and Products*, *161*, 113181. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2020.113181>
- Geremu, M., Tola, Y. B., & Sualeh, A. (2016). Extraction and determination of total polyphenols and antioxidant capacity of red coffee (*Coffea arabica* L.) pulp of wet processing plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *3*(1), 1–6. <https://doi.org/10.1186/S40538-016-0077-1/TABLES/2>
- Heeger, A., Kosińska-Cagnazzo, A., Cantergiani, E., & Andlauer, W. (2017). Bioactives of coffee cherry pulp and its utilisation for production of Cascara beverage. *Food Chemistry*, *221*, 969–975. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.11.067>
- Hu, S., Gil-Ramírez, A., Martín-Trueba, M., Benítez, V., Aguilera, Y., & Martín-Cabrejas, M. A. (2023). Valorization of coffee pulp as bioactive food ingredient by sustainable extraction methodologies. In *Current Research in Food Science* (Vol. 6). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100475>
- International Coffee Organization. (2020). *World coffee consumption*. ICO. <https://www.ico.org/prices/new-consumption-table.pdf>
- Jha, A. K., & Sit, N. (2023). Effect of ultrasound, microwave, and enzymatically pre-treated *Terminalia chebula* pulp on extraction of bioactive compounds using supercritical CO₂. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, *33*. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101098>
- Kaneria, M. J., Bapodara, M. B., & Chanda, S. V. (2012). Effect of Extraction Techniques and Solvents on Antioxidant Activity of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Leaf and Stem. *Food Analytical Methods*, *5*(3), 396–404. <https://doi.org/10.1007/S12161-011-9257-6/METRICAL>
- Kchaou, W., Abbès, F., Blecker, C., Attia, H., & Besbes, S. (2013). Effects of extraction solvents on phenolic contents and antioxidant activities of Tunisian date varieties (*Phoenix dactylifera* L.). *Industrial Crops and Products*, *45*, 262–269. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2012.12.028>

- Kieu Tran, T. M., Kirkman, T., Nguyen, M., & van Vuong, Q. (2020). Effects of drying on physical properties, phenolic compounds and antioxidant capacity of Robusta wet coffee pulp (*Coffea canephora*). *Heliyon*, 6(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04498>
- Klingel, T., Kremer, J. I., Gottstein, V., De Rezende, T. R., Schwarz, S., & Lachenmeier, D. W. (2020). A review of coffee by-products including leaf, flower, cherry, husk, silver skin, and spent grounds as novel foods within the European Union. In *Foods* (Vol. 9, Issue 5). MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/foods9050665>
- López-Salas, L., Expósito-Almellón, X., Borrás-Linares, I., Lozano-Sánchez, J., & Segura-Carretero, A. (2024). Design of experiments for green and GRAS solvent extraction of phenolic compounds from food industry by-products - A systematic review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 171, 117536. <https://doi.org/10.1016/J.TRAC.2024.117536>
- Magoni, C., Bruni, I., Guzzetti, L., Dell'Agli, M., Sangiovanni, E., Piazza, S., Regonesi, M. E., Maldini, M., Spezzano, R., Caruso, D., & Labra, M. (2018). Valorizing coffee pulp by-products as anti-inflammatory ingredient of food supplements acting on IL-8 release. *Food Research International*, 112, 129–135. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.06.026>
- Muharja, M., Darmayanti, R. F., Fachri, B. A., Palupi, B., Rahmawati, I., Rizkiana, M. F., Amini, H. W., Putri, D. K. Y., Setiawan, F. A., Asrofi, M., Widjaja, A., & Halim, A. (2023). Biobutanol production from cocoa pod husk through a sequential green method: Depectination, delignification, enzymatic hydrolysis, and extractive fermentation. *Bioresource Technology Reports*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101298>
- Myo, H., & Khat-udomkiri, N. (2022a). Optimization of ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from coffee pulp using propylene glycol as a solvent and their antioxidant activities. *Ultrasonics Sonochemistry*, 89. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106127>
- Myo, H., & Khat-udomkiri, N. (2022b). Optimization of ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from coffee pulp using propylene glycol as a solvent and

- their antioxidant activities. *Ultrasonics Sonochemistry*, 89, 106127.
<https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2022.106127>
- Nabavi, S. M., Šamec, D., Tomczyk, M., Milella, L., Russo, D., Habtemariam, S., Suntar, I., Rastrelli, L., Daglia, M., Xiao, J., Giampieri, F., Battino, M., Sobarzo-Sanchez, E., Nabavi, S. F., Yousefi, B., Jeandet, P., Xu, S., & Shirooie, S. (2020). Flavonoid biosynthetic pathways in plants: Versatile targets for metabolic engineering. *Biotechnology Advances*, 38, 107316.
<https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2018.11.005>
- Nguyen, N.-V. T., Duong, N. T., Nguyen, K.-N. H., Bui, N. T., Pham, T.-L. T., Nguyen, K. T., Le, P. H., & Kim, K.-H. (2022). *Effect of Extraction Solvent on Total Phenol, Flavonoid Content, and Antioxidant Activity of Avicennia Officinalis*. 12(2), 2678–2690. <https://doi.org/10.33263/BRIAC122.26782690>
- Nguyen, V. T., Tran, A. X., & Le, V. A. T. (2021). Microencapsulation of phenolic-enriched extract from cocoa pod husk (*Theobroma cacao* L.). *Powder Technology*, 386, 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.03.033>
- Nkwocha, C. C., Felix, J. O., Michael, L. O., & Ale, B. A. (2024). Phytochemical Screening and GC-FID Identification of Bioactive Compounds in N-hexane, Ethylacetate and Methanol Fractions of Methanolic Leaves Extract of *Azanza garckeana*. *Food Chemistry Advances*, 100712.
<https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2024.100712>
- Oliveira, M. M., Badaró, A. T., Esquerre, C. A., Kamruzzaman, M., & Barbin, D. F. (2023). Handheld and benchtop vis/NIR spectrometer combined with PLS regression for fast prediction of cocoa shell in cocoa powder. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 298.
<https://doi.org/10.1016/j.saa.2023.122807>
- Oliveira, M. M., Ferreira, M. V. S., Kamruzzaman, M., & Barbin, D. F. (2023a). Prediction of impurities in cocoa shell powder using NIR spectroscopy. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis Open*, 2, 100015.
<https://doi.org/10.1016/j.jpba.2023.100015>
- Oliveira, M. M., Ferreira, M. V. S., Kamruzzaman, M., & Barbin, D. F. (2023b). Prediction of impurities in cocoa shell powder using NIR spectroscopy. *Journal of*

- Pharmaceutical and Biomedical Analysis Open*, 2, 100015.
<https://doi.org/10.1016/j.jpba.2023.100015>
- Papadaki, A., Kachrimanidou, V., K. Lappa, I., Andriotis, H., Eriotou, E., Mandala, I., & Kopsahelis, N. (2022). Tuning the physical and functional properties of whey protein edible films: Effect of pH and inclusion of antioxidants from spent coffee grounds. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 27, 100700.
<https://doi.org/10.1016/J.SCP.2022.100700>
- Puertas, M., Mosquera-Mosquera, N., Benjamín, I., & Ii, R. (2016). Study of in vitro antioxidant capacity of *Phaseolus vulgaris* L. (frijol) by microwave assisted extraction. In *Revista Cubana de Plantas Medicinales* (Vol. 21, Issue 1).
<http://scielo.sld.cu>
- Puertas-Mejía, M. A., Mosquera-Mosquera, N., & Rojano, B. (2016). Study of in vitro antioxidant capacity of *phaseolus vulgaris* L. (frijol) by microwave assisted extraction. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 21(1), 42–50.
- Robles-Botero, M. V., Ronquillo-de Jesús, E., Quiroz-Reyes, C. N., & Aguilar-Méndez, M. A. (2020). Caracterización e identificación de compuestos bioactivos con actividad antioxidante de la cáscara, pulpa y semilla del fruto de tejocote (*Crataegus mexicana*). *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 23.
<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.233>
- Rodrigues da Silva, M., Sanchez Bragagnolo, F., Lajarim Carneiro, R., de Oliveira Carvalho Pereira, I., Aquino Ribeiro, J. A., Martins Rodrigues, C., Jelley, R. E., Fedrizzi, B., & Soleo Funari, C. (2022). Metabolite characterization of fifteen by-products of the coffee production chain: From farm to factory. *Food Chemistry*, 369(March 2021). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130753>
- Rodríguez, N., & Zambrano, D. (2010). Los subproductos del café: fuente de energía renovable. *Cenicafe*. <https://doi.org/10.38141/10779/0393>
- Silva, M. F. da, Pettinato, M., Casazza, A. A., Maciel, M. I. S., & Perego, P. (2022). Design and evaluation of non-conventional extraction for bioactive compounds recovery from spent coffee (*Coffea arabica* L.) grounds. *Chemical Engineering Research and Design*, 177, 418–430. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2021.11.011>

- Sousa, C., Gabriel, C., Cerqueira, F., Manso, M. C., & Vinha, A. F. (2015). *Coffee industrial waste as a natural source of bioactive compounds with antibacterial and antifungal activities*.
- Spadi, A., Angeloni, G., Guerrini, L., Corti, F., Parenti, A., Innocenti, M., Bellumori, M., & Masella, P. (2021). Hydrodistillation of coffee by-products to recover of bioactive compounds: The spent coffee ground and coffee silvers skin case-study. *Chemical Engineering Transactions*, *87*, 313–318. <https://doi.org/10.3303/CET2187053>
- Wang, J., Zhang, J., Zhao, B., Wang, X., Wu, Y., & Yao, J. (2010). A comparison study on microwave-assisted extraction of *Potentilla anserina* L. polysaccharides with conventional method: Molecule weight and antioxidant activities evaluation. *Carbohydrate Polymers*, *80*(1), 84–93. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2009.10.073>
- Xu, H., Fei, Q., Manickam, S., Li, D., Xiao, H., Han, Y., Show, P. L., Zhang, G., & Tao, Y. (2022). Mechanistic study of the solid-liquid extraction of phenolics from walnut pellicle fibers enhanced by ultrasound, microwave and mechanical agitation forces. *Chemosphere*, *309*, 136451. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.136451>
- Zambrano-Mite, L. F., Villasana, Y., Bejarano, M. L., Luciani, C., Niebieskikwiat, D., Álvarez, W., Cueva, D. F., Aguilera-Pesantes, D., & Orejuela-Escobar, L. M. (2023). Optimization of microfibrillated cellulose isolation from cocoa pod husk via mild oxalic acid hydrolysis: A response surface methodology approach. *Heliyon*, *9*(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17258>
- Zhang, C., Chen, W. H., & Ho, S. H. (2023). Economic feasibility analysis and environmental impact assessment for the comparison of conventional and microwave torrefaction of spent coffee grounds. *Biomass and Bioenergy*, *168*. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106652>

ANEXOS

Figura 9. *Obtención y manejo de la pulpa de café*



Figura 10. *Obtención y manejo de la mazorca de cacao*



Figura 11. *Obtención y manejos de los posos gastados de café.*

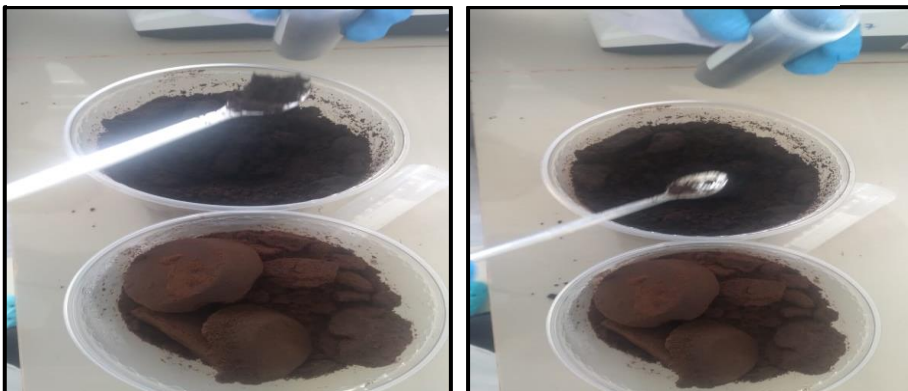


Figura 12. *Liofilizado de las muestras*

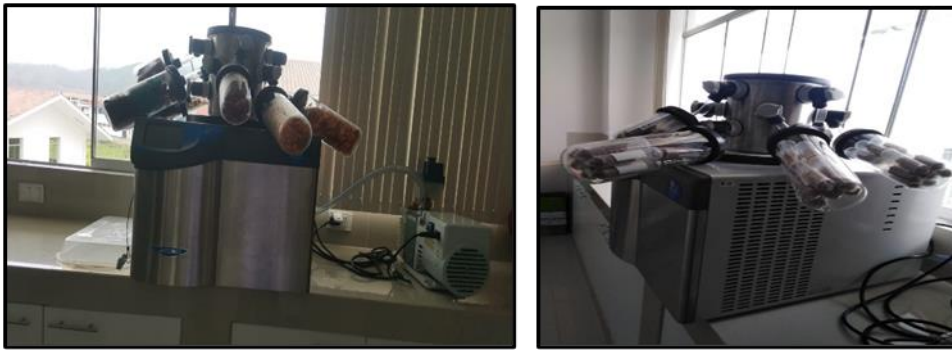


Figura 13. *Método de extracción*



Figura 14. *Extracción por agitador orbital (Shaker)*



Figura 15. *Extracción por agitador magnético*



Figura 16. *Extracción por ultrasonido*



Figura 17. *Extracción por microondas*

