



NUEVAS REALIDADES PARA LA EDUCACIÓN EN INGENIERÍA:
CURRÍCULO, TECNOLOGÍA, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

13 - 16
DE SEPTIEMBRE

2022

CARTAGENA DE INDIAS,
COLOMBIA



Recuperación de compuestos fenólicos de la pulpa del café por medio de una percolación a través de un extractor Soxhlet en escala piloto

Eduardo Enrique Vidal Bohórquez, Rocío Sierra Ramírez, Luís Jorge Cruz Reina

Universidad de los Andes
Bogotá, Colombia

Resumen

Entre los múltiples residuos generados por la producción cafetera destaca la pulpa o cereza del fruto, la cual es responsable por cerca del 30% del peso en base seca del total del grano. La pulpa del café ofrece diferentes compuestos químicos de alto interés para la industria alimenticia y farmacéutica, donde destacan los compuestos fenólicos disponibles en esta, en especial los Ácidos Clorogénico, Cafeico, Ferúlico y Cumárico. Se realizó una extracción de los compuestos fenólicos por medio de una percolación en un equipo Soxhlet para evaluar el impacto del tipo de solvente, el tiempo de extracción y la relación de pulpa:solvente en el contenido de fenoles totales (TPC) del extracto. Se caracterizó el TPC de los 30 extractos realizados usando el método de Folin-Ciocalteu usando Ácido Gálico para la curva de calibración. Se encontró una influencia significativa en el TPC de cada extracto por el tipo de solvente utilizado en la extracción, mientras que los otros dos factores no fueron estadísticamente significativos. Se obtuvo un rendimiento máximo de 7.42 [mg/g] de contenido de polifenoles por gramo de pulpa usado en la extracción utilizando Etanol al 95% de pureza. Se discute una oportunidad industrial en la extracción de los mencionados compuestos de la pulpa de café, donde los rendimientos alcanzados ofrecen un valor agregado al residuo, pudiendo beneficiar a la agroindustria cafetera con ingresos adicionales para los caficultores.

Palabras clave: pulpa de café; polifenoles; extracción Soxhlet; percolación

Abstract

Among the multiple by-products generated by coffee production, the pulp or cherry of the coffee bean stands out, which is responsible for about 30% of the dry weight of the totality of the collected beans. Coffee pulp offers different chemical compounds of high interest for the food and pharmaceutical industry, where the phenolic compounds available in the pulp are relevant, specially the Chlorogenic, Caffeic, Ferulic and Coumaric Acids. A solid-liquid extraction was performed using a Soxhlet extractor to determine the influence of three operation factors in the total phenolic content (TPC) of the obtained extract. The analyzed factors were the type of solvent, the extraction time and the pulp-to-solvent ratio. The characterization of the TPC in the samples was made through the Folin-Ciocalteu method using Galic Acid for the calibration curve. A statistical analysis was performed, where the solvent used in the extraction was significant, in contrast to the other two factors. The maximum yield of TPC obtained was 7.42 [mg/g] using Industrial Ethanol (95% purity) as solvent. An industrial opportunity is discussed in the extraction of the aforementioned compounds from the coffee pulp, where the yields achieved offer added value to the by-product and may benefit the coffee agroindustry with additional income for coffee growers.

Keywords: coffee pulp; polyphenols; soxhlet extraction; percolation

1. Introducción

El café es uno de los *Commodities* más ampliamente comercializados del mundo, donde el fruto sufre una transformación significativa desde que es cultivado hasta que es preparado, dejando cerca del 55% de la biomasa como residuo agroindustrial, el cual es ampliamente desechado por los productores y no cuenta con un alto valor comercial. El grano de café está compuesto por 5 partes principales (Bressani et al., 1978). En la tabla 1 es posible apreciar los diferentes materiales constitutivos del grano y su porcentaje del peso total del grano en base seca, donde se tomó como base de cálculo 1000g de frutos de café húmedos y se secaron para determinar sus respectivos pesos:

Material	Peso seco (g)	% peso seco
Café en cereza	345	100
Pulpa de café	99	28.7
Fruto de café + Mucílago + Cascarilla	250	72.2
Mucílago	17	4.9
Fruto de café + Cascarilla	225	65.2
Fruto del café verde	191	55.4
Cascarilla	41	11.9

Tabla 1: Elementos constitutivos del café, caracterizados por su peso en base seca y su porcentaje respecto a la masa total. Desarrollado por (Bressani et al., 1972).

El café verde cruza un proceso de pretratamiento sustancial, donde pierde cerca del 45% de su peso en forma de diferentes residuos, donde destacan la cascarrilla y el mucílago, pero especialmente la pulpa, la cual constituye el 28.7% del peso total del grano. En la actualidad se producen cerca de 165 millones de sacos de 60 kg al año a nivel mundial (ICO, 2021), donde Colombia



produce cerca de 15 millones de estos, representando cerca del 8% de la producción total del grano (Fedecafé, 2020). Siendo así, en el marco nacional se puede estimar que se producen anualmente 466 millones de kilos de pulpa seca, la cual actualmente se desecha en su gran mayoría, salvo en los casos en lo que es utilizada como fertilizante para la tierra o para la elaboración de bioetanol (Sheroy et al., 2011).

Los polifenoles son una familia de compuestos químicos destacados por poseer diferentes propiedades favorables para la salud, donde se destaca la capacidad antioxidante, anti-alérgica y anti-inflamatoria de los mismos, lo que los convierte en un suplemento favorable para el sistema cardiovascular (Balasundram et al., 2006). Actualmente son compuestos que cuentan con un alto valor industrial al ser una materia prima relevante para la elaboración de alimentos funcionales o productos farmacéuticos, donde incluso se investiga en la actualidad una potencial capacidad de combatir enfermedades virales, incluido el COVID-19 (Montenegro-Landivar et al., 2021). Estos compuestos se caracterizan por contener uno o más grupos hidroxilos en presencia de un anillo aromático (Siracusa et al., 2019), donde estos pueden ser divididos en 6 categorías principales, donde se identifican más de 8000 compuestos diferentes (Ignat et al., 2011).

Se han realizado diferentes estudios acerca de la composición de los subproductos de la producción cafetera, donde la pulpa ha recibido especial atención debido a su contenido de compuestos fenólicos, donde resaltan las altas concentraciones de polifenoles ácidos en el residuo productivo (Bressani et al., 1978; Da Silveira et al., 2020; Manasa et al., 2021). Diversos análisis de compuestos orgánicos han encontrado y caracterizado cantidades considerables de compuestos fenólicos, donde destaca una elevada presencia de ácido cumárico (Manasa et al., 2021) y ácido clorogénico (Mourtzinis et al., 2019). En la tabla 2 es posible apreciar un resumen de los compuestos fenólicos más relevantes presentes en la pulpa del café seca, junto con las concentraciones encontradas en el residuo.

Compuesto fenólico	Concentración o abundancia (mg/100 g)	Referencias
Ácido Cumárico (PCA)	5.8 - 15.64	Da Silveira et al., 2020; Manasa et al., 2021.
Ácido Clorogénico (CA)	10.4	Da Silveira et al., 2020; Mourtzinis et al., 2019.
Ácido Ferulico (5-FQA)	5.8 - 15.79	Da Silveira et al., 2020; Manasa et al., 2021.
Ácido Caféico (3-5 CQA)	11.78-29	Da Silveira et al., 2020; Manasa et al., 2021.

Tabla 2: Caracterización de los compuestos fenólicos más relevantes presentes en la pulpa del café.

Los compuestos fenólicos deben ser extraídos para poder ser aprovechados, lo cual implica el uso de técnicas de extracción variadas, donde existen más de 12 métodos extractivos para lograr la obtención de polifenoles (Sridhar et al., 2021). Resulta clave poder extraer estos compuestos para poder aprovechar sus propiedades, donde uno de los métodos más comunes para llevar a cabo la separación de estos compuestos de los residuos es la percolación a través de una extracción Soxhlet (Sridhar et al., 2021). Este método de extracción se concentra en la recirculación del solvente a través de la muestra por un tiempo prolongado, lo cual lo convierte en un método híbrido entre un proceso continuo y de a lotes, logrando de esta forma simple de percolación repetida la obtención de extractos solubles en el fluido utilizado (Luque de Castro et al., 1998).



Analizando la presencia de polifenoles en la pulpa del café, el cual es un desecho agroindustrial ampliamente producido en el territorio colombiano, se adelantó una extracción en escala piloto para determinar la influencia de tres factores operativos en el rendimiento del proceso de separación de compuestos fenólicos presentes en el mencionado desecho. El objetivo de este estudio es determinar la influencia del tiempo de extracción, el tipo de solvente y la relación entre biomasa inicial y solvente utilizado para examinar las mejores condiciones operativas para la extracción de polifenoles a través de una extracción Soxhlet.

2. Materiales y Métodos

2.1 Preparación de la muestra

La pulpa fue tomada fresca directamente desde la máquina despulpadora de café de dientes de cobre en la finca Buenos Aires, ubicada en el municipio de Villeta, Colombia y congelada inmediatamente a -10°C para su transporte. La pulpa congelada fue almacenada por dos semanas a -18°C en un congelador casero y protegida por medio de un empaque plástico para evitar contaminaciones. Posterior al proceso de almacenamiento, se secó la pulpa húmeda en un secador de bandejas (Armfield UOP8-MKIII) por 24 horas a 50°C y presión atmosférica de Bogotá. La humedad de la muestra seca fue medida en la termobalanza Precisa[®] XM-60, donde se determinó un porcentaje de humedad total del 4% en la muestra tratada.

Una vez la muestra estaba seca, esta fue molida en un molio para café de cuchillas Hamilton Beach[®] modelo 80396c y tamizado para obtener un tamaño de partícula conocido de $720\ \mu\text{m}$ en promedio (DeLloyd, 2004), donde se utilizaron las mallas intermedias entre la 20 y la 30 para la muestra a extraer (Sridhar et al., 2021). Una vez la muestra fue molida, fue almacenada a 4°C para evitar la proliferación de microorganismos o degradación de los compuestos fenólicos hasta que fuese utilizada para la extracción.

2.2 Diseño experimental

Se realizó una revisión bibliográfica acerca de las metodologías de extracción de polifenoles, donde se identificaron los factores relevantes a considerar para el diseño experimental. Se analizaron procesos de extracción de compuestos fenólicos que tuviesen un método de extracción análogo al planteado para esta metodología, así como estudios acerca de la extracción de estos compuestos. Se planteó un diseño experimental de superficie de respuesta 3^3 , donde se encontró que los factores más determinantes en las extracciones de polifenoles por medio de Soxhlet eran el tipo de solvente, el tiempo de extracción y la relación entre la cantidad de pulpa y solvente utilizado para la extracción (Balasundram et. al., 2006; Sridhar et al., 2021). En la tabla 3 se aprecian los tres factores analizados con los respectivos niveles evaluados, donde el punto central se fijó con el agua como solvente, un tiempo de extracción de 8 horas y una relación pulpa-solvente de 1:20 g/mL.



Factor	Nivel	Extracciones
Solvente	Etanol (-1)	8
	Agua (0)	14
	n-Hexano (1)	8
Tiempo [hrs]	3 (-1)	8
	8 (0)	14
	12 (1)	8
Ratio muestra:solvente [g:ml]	1:15 (-1)	8
	1:20 (0)	14
	1:30 (1)	8

Tabla 3: Distribución de número de corridas por cada nivel y factor estudiado siguiendo los protocolos de la literatura (Balasundram et. al., 2006; Sridhar et al., 2021; Manasa et al., 2021).

El diseño de experimentos de la superficie de respuesta se definió como Box-Benhken con tres factores continuos y dos réplicas, donde se realizaron 30 experimentos en total con 6 réplicas del punto central.

2.3 Extracción Soxhlet

El proceso de extracción se realizó por medio de un extractor Soxhlet, el cual consiste en un montaje en vidrio compuesto por tres partes. La base la ofrece un balón esmerilado de 250mL, mientras que el equipo también está compuesto por un sifón donde se acomodaba la muestra en un dedal de celulosa, así como un condensador donde circulaba agua a 4.2°C. El equipo se ubicó sobre una plancha de calentamiento a potencia máxima de 6 puestos, donde se realizaban 6 experimentos en paralelo. El montaje operó a una cantidad constante de solvente de 150mL por, donde se varió la cantidad de pulpa con respecto al ratio del experimento entre 5g (1:30); 7.5g (1:20) y 10g (1:15).

El etanol utilizado en las extracciones era de grado industrial al 95% de pureza de marca Detercol. Por otra parte, el n-Hexano utilizado se encontraba al 99%, donde se utilizó la marca Merck SupraSolv® para las extracciones. Se utilizó agua destilada y des ionizada para las extracciones, la cual fue obtenida directamente del filtro de carbón activado del laboratorio.

Una vez transcurridas las extracciones, se recuperó la mayor cantidad posible del solvente del extractor, donde trazas del fluido quedaba absorbido por la muestra o el filtro de celulosa. Se pesó el extracto y se separó el solvente por medio del rotaevaporador Yamato RE801 hasta separar la totalidad del solvente. Se repesó la muestra para determinar el extractivo resultante. Se realizó una resuspensión del extracto en 20mL de etanol industrial en todos los casos, la cual se agitó con un agitador magnético a 55°C por 30 minutos con el fin de homogenizar el sustrato. Este sustrato se almacenó a 2°C para los análisis posteriores.



2.4 Contenido de fenoles totales en el extracto

2.4.1 Pretratamiento de muestras y curva de calibración

Para la medición de la concentración de Polifenoles Totales (*TPC*) se realizó un análisis espectrofotométrico siguiendo el método de Folin-Ciocalteu con algunas modificaciones (Avella et al. 2008; De Oliveira et al., 2009). Se mezclaron 250 μL de muestra, se añade 500 μL del reactivo de Folin-Ciocalteu 1M y se agrega 3.5 mL de agua ultra pura. Posterior a esto se agita la solución y una vez transcurridos 2 minutos se agrega 0.75 mL de solución de carbonato de sodio 20% w/w y se incuba en obscuridad por 1 hora. Este procedimiento se realizó por duplicado para cada extracto obtenido.

La curva de calibración se realizó con ácido gálico en concentraciones en el rango de 50 ppm hasta 400 ppm, siguiendo el mismo protocolo usado para las muestras (De Oliveira et al., 2009).

2.4.2 Análisis de resultados

Las muestras fueron analizadas en el espectrofotómetro Labsient UV-Vis a 760 nm de longitud de onda, donde se midió la absorbancia del extracto y se determinó la concentración de fenoles totales como se muestra en la ecuación 1:

$$TPC (GAE) [ppm] = \frac{\text{Absorbancia } [A] - 0.0341}{0.0056} \quad (1)$$

Se realizó un tratamiento de los datos de concentración previo al análisis estadístico con el fin de observar datos con altos valores de error absoluto respecto al promedio aritmético obtenido de los experimentos discriminados por nivel. El error absoluto se calculó como se muestra en la ecuación 2:

$$\epsilon_{ij} = |TPC_i - \mu_{jk}| \quad (2)$$

La variable de respuesta se normalizó respecto a la masa de muestra usada en la extracción, esto motivado por altos valores de error en las mediciones, como se muestra en la Ecuación 3:

$$TPC' \left[\frac{ppm}{g} \right] = \frac{TPC (GAE) [ppm]}{g \text{ muestra}} \quad (3)$$

Evaluando el error absoluto de las diferentes observaciones, posterior al tratamiento de datos, se descartaron 6 observaciones diferentes debido a su alto grado de error respecto a la réplica y demás muestras de los niveles similares. Las corridas se analizaron utilizando software estadístico Minitab®, donde se formuló un diseño de experimentos de superficie de respuesta Box-Benhken con tres factores continuos para determinar las superficies de respuesta, donde se obtuvieron tres superficies de respuesta evaluando todas las interacciones posibles entre factores, esto con el fin de obtener resultados concretos acerca de la influencia de los factores en la extracción de polifenoles totales.



3. Resultados y Discusión

3.1 Rendimiento de extracción

En primera medida, se corrió el análisis de superficie de respuesta para el peso del extracto obtenido. Se puede observar en la Figura 1 los efectos principales para cada factor y nivel evaluado en términos del peso del extracto final obtenido posterior a la separación del solvente.

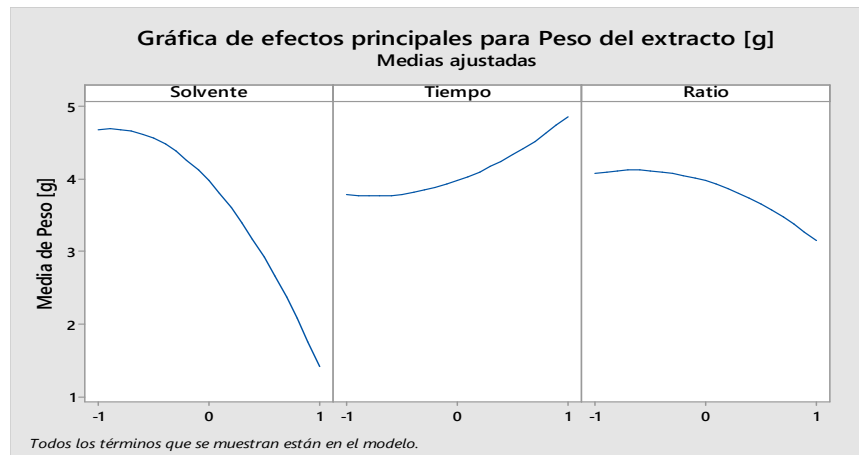


Figura 1: Gráfica de efectos principales para el peso del extracto [g].

Se recuperó una mayor cantidad de extracto usando Etanol como solvente, para un tiempo de extracción de 12 horas y con la relación pulpa:solvente más rica en materia orgánica. Resalta el bajo rendimiento del hexano como solvente, donde las corridas en las que este se utilizó obtuvieron un rendimiento significativamente menor. La extracción durante 12 horas y la relación pulpa:solvente rica en pulpa (1:15) lograron una mayor cantidad de extracto en promedio, sin embargo, la diferencia entre los niveles extremos de estos dos factores no es significativa como la que se presentó por el solvente.

3.2 Fenoles totales en los extractos

Análogo al apartado anterior, se corrieron las gráficas de efectos principales para el contenido total de fenoles (TPC) en los extractos. Los efectos se muestran en la Figura 2:

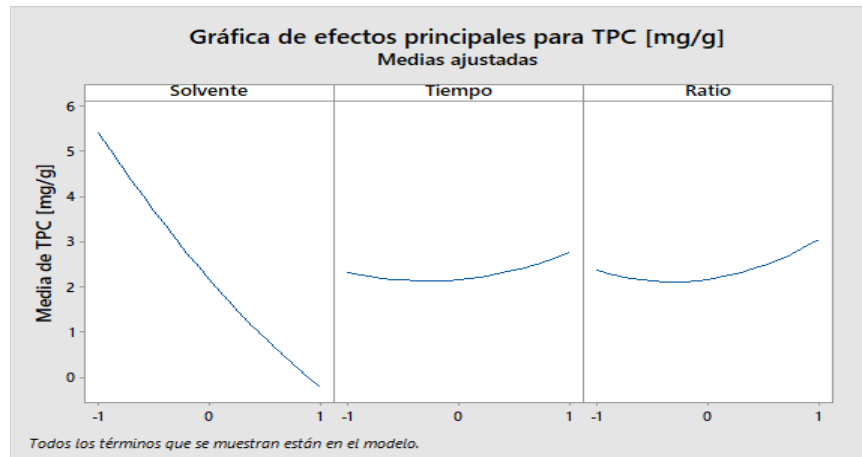


Figura 2: Gráfica de efectos principales para la variable de respuesta TPC [mg/g] para cada factor analizado.

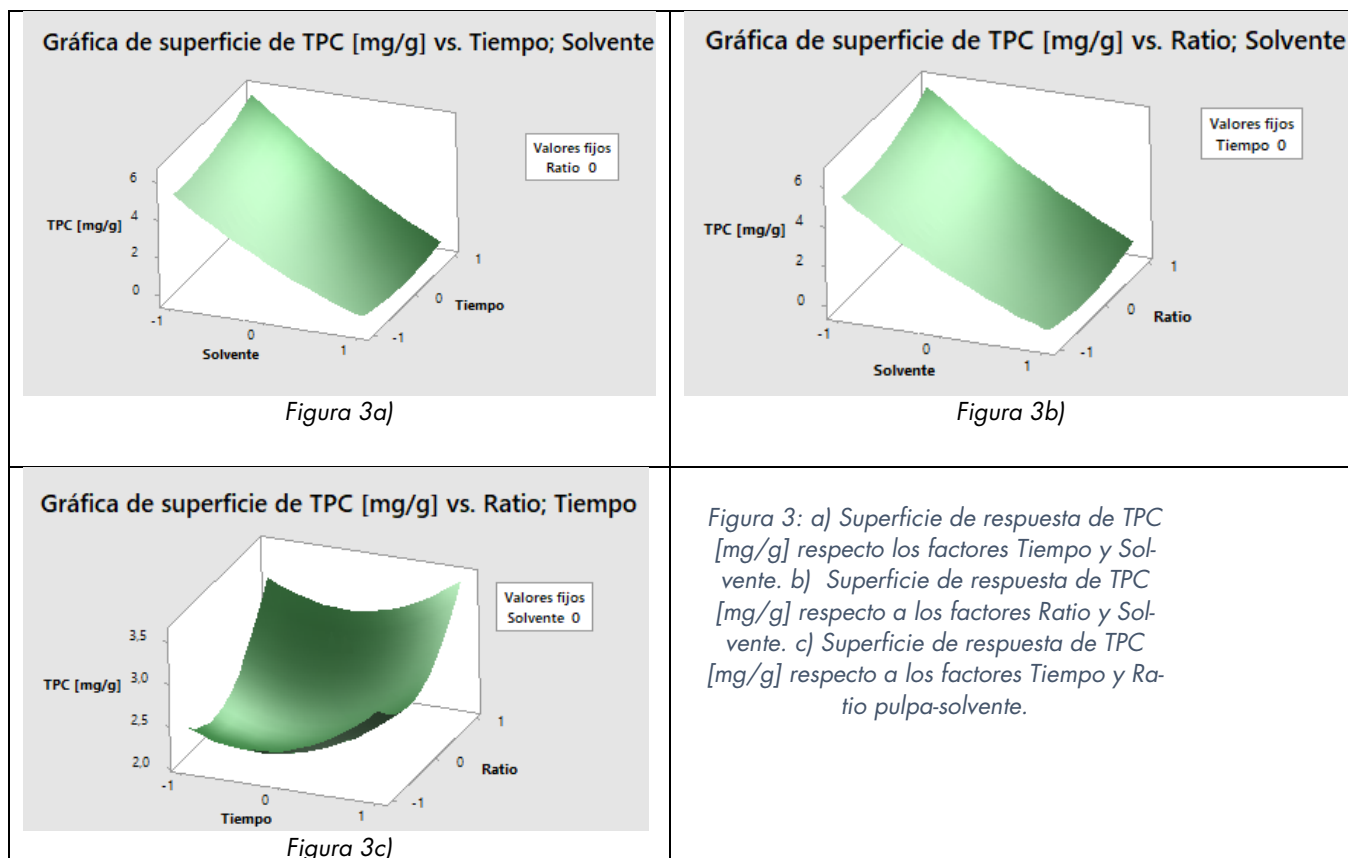
Observando los efectos principales de los factores analizados, solamente se evidencia una influencia significativa por parte del solvente, donde el tiempo y la relación biomasa:solvente no tiene un impacto considerable en el rendimiento final.

Se observa un comportamiento similar al encontrado en el apartado anterior, donde el efecto más significativo a la concentración de fenoles totales por gramo de pulpa de café es mayor al operar con Etanol como solvente, con un tiempo de extracción de 12 horas y una relación pulpa:solvente más rica en pulpa. El efecto del solvente en la concentración de compuestos fenólicos es más significativo que el ofrecido por los otros factores, donde es ligeramente más relevante el impacto del ratio pulpa:solvente que el tiempo de extracción. Se encontró un comportamiento extraño analizando el tiempo de extracción, donde el menor rendimiento para TPC se obtuvo en el punto central en lugar de los extremos.

Las superficies de respuesta de la interacción de los factores analizados se muestran en la figura 3, donde el modelo obtenido por la regresión cuadrática se muestra en la ecuación 4:

$$TPC \left[\frac{mg}{g} \right] = 2.155 - 2.808 \cdot S + 0.219 \cdot T + 0.342 \cdot R + 0.436 \cdot S^2 + 0.376 \cdot T^2 + 0.541 \cdot R^2 - 0.349 \cdot ST - 0.265 \cdot SR - 0.006 \cdot TR \quad (4)$$

Donde S hace referencia al solvente, T al tiempo de extracción y R a la relación pulpa:solvente. En la Figura 1 se muestran las superficies de respuesta obtenidas en análisis del diseño experimental.



Observando las superficies de respuesta obtenidas es posible afirmar que el solvente es el factor bajo el cual la concentración de polifenoles totales en la muestra más resulta afectada. Esta información es corroborada gracias al análisis de varianza, donde con una significancia $\alpha = 0.05$, el único factor que resulta significativo con un $p - value = 0.000$ es el solvente utilizado para la extracción.

Siguiendo el análisis estadístico, se optimizó la respuesta con el fin de encontrar el punto de operación ideal respecto a los factores y niveles estudiados, donde se extrae la mayor cantidad de polifenoles totales por gramo de biomasa inicial. Siendo así se determinó que se obtiene el mejor rendimiento en la extracción al usar Etanol como solvente, donde el tiempo de extracción óptimo fueron 12 horas, utilizando una relación de biomasa:solvente de 1:15, donde, siguiendo el modelo de regresión desarrollado se obtiene una concentración de resultado de $TPC [mg/g] = 7.42$, la cual se presenta para el nivel de tiempo y relación biomasa:solvente alto y el nivel de solvente bajo.

Para poner en contexto los resultados obtenidos, se compararon los resultados de la extracción adelantada en este trabajo con antecedentes comparables, tanto en la extracción de polifenoles de la pulpa de café a través de diferentes métodos de extracción, así como estudios de extracciones por medio de Soxhlet de otros tipos de materia orgánica.

Respecto a las extracciones de compuestos fenólicos usando Soxhlet como método, la literatura presenta rendimientos mucho más altos que los encontrados en este estudio, donde se alcanzan rendimientos desde los 42.11 mg/g, obtenidos a partir de hojas de *Vernonia cinérea* (Alara et al.,

2018), hasta los 105 mg/g obtenidos a partir de las semillas de la Uva (Da Porto et al., 2013). Estos rendimientos son entre 5.6 y 14.1 veces mayores que los encontrados en este trabajo. Otros estudios han encontrado que los métodos de extracción por percolación, la cual es de la misma naturaleza del Soxhlet, requieren de grandes cantidades de muestra y solvente, así como de largos tiempos de operación para lograr rendimientos elevados. Sin embargo, es un método económico frente a otras alternativas evaluadas, como la extracción por pulsos de campo electromagnético (Liu et al., 2018) o la extracción con fluidos supercríticos (Ferrentino et al., 2020).

Por otra parte, una extracción sólido-líquido con mezclas de solventes polares para compuestos fenólicos de la pulpa del café encontró concentraciones de 9 a 29 mg/g en la materia orgánica estudiada (Ramón-Gonçalves et al., 2019), estando en el mismo orden de magnitud de los resultados obtenidos en este trabajo, lo que valida los resultados obtenidos con los antecedentes literarios y el análisis proximal desarrollado por Bressani y colaboradores (Bressani et al., 1978).

3.3. Perspectivas y oportunidades

Evaluando el rendimiento del trabajo adelantado y comparándolo con la oportunidad que se presenta en un país cafetero como Colombia, se aproximó una producción neta de cerca de 3.5 millones de kilos de polifenoles totales al año, tan solo aprovechando la pulpa de café desechada en el contexto nacional. Lo anterior representa una oportunidad industrial en un mercado en crecimiento, donde los compuestos fenólicos como aditivo para alimentos o farmacéuticos comprendieron un mercado de \$1.8 billones de dólares para el 2018, donde se experimenta una tasa de crecimiento del 7.2% anual (Grand View Research, 2021).

Se recomienda explorar métodos alternativos de extracción de polifenoles, implementado a la pulpa de café, la cual cuenta con abundancia de compuesto fenólicos ácidos aprovechables para la industria alimenticia o farmacéutica, donde el 4.2% del peso del residuo agroindustrial es representado por estos compuestos (Bressani et al., 1978).

4. Conclusiones

El análisis de las superficies de respuesta es congruente con el modelo propuesto, donde se maximiza el rendimiento de la variable de respuesta operando con Etanol como solvente, para un tiempo de extracción de 12 horas con una relación pulpa:solvente de 1:15. La extracción de polifenoles de la pulpa de café se ve beneficiada por solventes polares, donde los mejores rendimientos tanto en extracto total como en concentración de fenoles se obtuvieron con el Etanol y el Agua, donde hubo una diferencia significativa con el Hexano. Esto obedece a las características de los compuestos fenólicos presentes en la pulpa de café, donde los compuestos de dicha naturaleza que se encuentren en el residuo son arrastrados por solventes polares con mayor eficacia que los solventes apolares.

Se presenta una gran oportunidad industrial en la extracción de compuestos fenólicos de la pulpa del café, donde siguiendo las condiciones operativas sugeridas en este estudio se identifica el potencial de ofrecer una fuente de ingresos adicional para los caficultores colombianos.



5. Referencias

- R. Bressani y J. E. Braham, *Pulpa de café: composición, tecnología y utilización*. Guatemala: INCEAP, 1978.
- International Coffee Organization (ICO), "Historical Data on the Global Coffee Trade". https://ico.org/new_historical.asp (consultado dic. 04, 2021).
- Federación Nacional de Cafeteros, "Producción de café de Colombia cerró el 2019 en 14,8 millones de sacos" <https://federaciondecafeteros.org/wp/listado-noticias/produccion-de-cafe-de-colombia-cerro-el-2019-en-148-millones-de-sacos/> (consultado may 17, 2021).
- D. Shenoy *et al.*, "A study on bioethanol production from cashew apple pulp and coffee pulp waste", *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, núm. 10, pp. 4107–4111, oct. 2011, doi: 10.1016/j.biombioe.2011.05.016.
- N. Balasundram, K. Sundram, y S. Samman, "Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses", *Food Chemistry*, vol. 99, núm. 1, pp. 191–203, ene. 2006, doi: 10.1016/j.foodchem.2005.07.042.
- M. F. Montenegro-Landívar *et al.*, "Polyphenols and their potential role to fight viral diseases: An overview", *Science of The Total Environment*, vol. 801, p. 149719, dic. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149719.
- L. Siracusa y G. Ruberto, "Not Only What Is Food Is Good—Polyphenols From Edible and Nonedible Vegetable Waste", en *Polyphenols in Plants*, Elsevier, 2019, pp. 3–21. doi: 10.1016/B978-0-12-813768-0.00001-3.
- I. Ignat, I. Volf, y V. I. Popa, "A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables", *Food Chemistry*, vol. 126, núm. 4, pp. 1821–1835, jun. 2011, doi: 10.1016/j.foodchem.2010.12.026.
- V. Manasa, A. Padmanabhan, y K. A. Anu Appaiah, "Utilization of coffee pulp waste for rapid recovery of pectin and polyphenols for sustainable material recycle", *Waste Management*, vol. 120, pp. 762–771, feb. 2021, doi: 10.1016/j.wasman.2020.10.045.
- J. S. da Silveira *et al.*, "Alcoholic fermentation as a potential tool for coffee pulp detoxification and reuse: Analysis of phenolic composition and caffeine content by HPLC-DAD-MS/MS", *Food Chemistry*, vol. 319, p. 126600, jul. 2020, doi: 10.1016/j.foodchem.2020.126600.
- I. Mourtzinou y A. Goula, "Polyphenols in Agricultural Byproducts and Food Waste", en *Polyphenols in Plants*, Elsevier, 2019, pp. 23–44. doi: 10.1016/B978-0-12-813768-0.00002-5.
- A. Sridhar, M. Ponnuchamy, P. S. Kumar, A. Kapoor, D.-V. N. Vo, y S. Prabhakar, "Techniques and modeling of polyphenol extraction from food: a review", *Environ Chem Lett*, mar. 2021, doi: 10.1007/s10311-021-01217-8.
- M. D. Luque de Castro y L. E. García-Ayuso, "Soxhlet extraction of solid materials: an outdated technique with a promising innovative future", *Analytica Chimica Acta*, vol. 369, núm. 1, pp. 1–10, ago. 1998, doi: 10.1016/S0003-2670(98)00233-5.
- Delloyd, "Standard sieves and Mesh sizes", 2004. <http://delloyd.50megs.com/moreinfo/mesh.html> (consultado dic. 04, 2021).
- D. M. G. Avella, C. A. O. García, y A. M. Cisneros, "Medición de Fenoles y Actividad Antioxidante en Malezas Usadas para Alimentación Animal", p. 5, 2008.
- A. C. de Oliveira *et al.*, "Total phenolic content and free radical scavenging activities of methanolic extract powders of tropical fruit residues", *Food Chemistry*, vol. 115, núm. 2, pp. 469–475, jul. 2009, doi: 10.1016/j.foodchem.2008.12.045.
- O. R. Alara, N. H. Abdurahman, y C. I. Ukaegbu, "Soxhlet extraction of phenolic compounds from Vernonia cinerea leaves and its antioxidant activity", *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, vol. 11, pp. 12–17, dic. 2018, doi: 10.1016/j.jarmap.2018.07.003.



- C. Da Porto, E. Porretto, y D. Decorti, "Comparison of ultrasound-assisted extraction with conventional extraction methods of oil and polyphenols from grape (*Vitis vinifera* L.) seeds", *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 20, núm. 4, pp. 1076–1080, jul. 2013, doi: 10.1016/j.ultsonch.2012.12.002.
- M. Ramón-Gonçalves, E. Gómez-Mejía, N. Rosales-Conrado, M. E. León-González, y Y. Madrid, "Extraction, identification and quantification of polyphenols from spent coffee grounds by chromatographic methods and chemometric analyses", *Waste Management*, vol. 96, pp. 15–24, ago. 2019, doi: 10.1016/j.wasman.2019.07.009.
- Grand View Research, "Global Polyphenols Market Size & Share | Industry Report, 2019-2025", 2019. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/polyphenols-market-analysis> (consultado dic. 04, 2021).
- Z.-W. Liu, X.-A. Zeng, y M. Ngadi, "Enhanced extraction of phenolic compounds from onion by pulsed electric field (PEF)", *J Food Process Preserv*, vol. 42, núm. 9, p. e13755, sep. 2018, doi: 10.1111/jfpp.13755.
- G. Ferrentino, S. Giampiccolo, K. Morozova, N. Haman, S. Spilimbergo, y M. Scampicchio, "Supercritical fluid extraction of oils from apple seeds: Process optimization, chemical characterization and comparison with a conventional solvent extraction", *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 64, p. 102428, ago. 2020, doi: 10.1016/j.ifset.2020.102428.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2022 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

