

Optimization of ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from blueberry (*Vaccinium corymbosum*) peel of two varieties

Karla Ramirez, Eng. , Eduardo Rurush, Eng. , Laurita Silva, Eng. , Meliza Lindsay Rojas, Dr. ^{*}
Centro de Investigación Avanzada en Agroingeniería, Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, karla.ramirez@upn.edu.pe,
giovani.rurush@upn.edu.pe; laurita.silva@upn.edu.pe

*Corresponding autor: meliza Lindsay Rojas Silva (meliza.rojas@upn.edu.pe)

Abstract– This work aimed to optimize the ultrasound-assisted extraction conditions (time and ethanol concentration) of bioactive compounds from discarded blueberry peel of the Emerald and Ventura varieties. For this, the Rotational Central Composite Design (RCCD) and the Response Surface Methodology (RSM) were used to maximize the total phenolic compounds (CFT) and antioxidant capacity (CA), individually and combined (CFT/CA). It was observed that the Emerald variety tends to contain higher levels of CFT, while the Ventura variety tends to have higher levels of CA. From the response surfaces, it was determined that high levels of CFT and CA are obtained in the blueberry peel of both varieties when the sonication time is in the range of 20 to 40 min and the ethanol concentration is between 40-70 %. Finally, the conditions that allowed maximizing the levels of CFT, CA, CFT/CA were determined for the Ventura variety: CTT (59.5% ethanol, 34.6 min), CA (45% ethanol, 40 min) and CFT/CA (58% ethanol, 36.5 min); and for the Emerald variety: CFT (50% ethanol, 29.1 min); CA (50.8% ethanol, 28.8 min) and CFT/CA (50.8% ethanol, 28.8 min). Under the UAE optimized conditions, values of CFT (3.05×10^4 $\mu\text{g GAE/g dry matter}$) and CA (9.14×10^4 $\mu\text{g of Trolox/g of dry matter}$) corresponded to the variety Ventura, while values of CFT (3.67×10^4 $\mu\text{g GAE/g dry matter}$) and CA (7.24×10^4 $\mu\text{g of Trolox/g of dry matter}$) corresponded to the variety Emerald.

Keywords– blueberry by-products, optimization, ultrasound, biocompounds, extraction.

Optimización de la extracción asistida por ultrasonido de compuestos bioactivos de la cáscara de arándano (*Vaccinium corymbosum*) de dos variedades

Karla Ramirez, Ing. , Eduardo Rurush, Ing. , Laurita Silva, Ing. , Meliza Lindsay Rojas, Dr. 
Centro de Investigación Avanzada en Agroingeniería, Universidad Privada del Norte (UPN), Perú, karla.ramirez@upn.edu.pe,
giovani.rurush@upn.edu.pe; laurita.silva@upn.edu.pe

*Corresponding autor: meliza Lindsay Rojas Silva (meliza.rojas@upn.edu.pe)

Resumen– El objetivo del presente trabajo fue optimizar las condiciones de extracción asistida por ultrasonido (tiempo y concentración de etanol) de compuestos bioactivos de la cáscara de descarte de arándano de las variedades Emerald y Ventura. Para ello, se utilizó el Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR) y la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) con el objetivo de maximizar los compuestos fenólicos totales (CFT) y capacidad antioxidante (CA) individualmente y combinado (CFT/CA). Se observó que la variedad Emerald presenta una tendencia a contener mayores niveles de CFT, mientras que la variedad Ventura presenta mayores niveles de CA. A partir de las superficies de respuesta, se determinó que se obtienen altos niveles de CFT y CA en la cáscara de arándano de ambas variedades cuando el tiempo de sonicación está en el rango de 20 a 40 min y la concentración de etanol entre 40-70%. Finalmente, se determinaron las condiciones que permitieron maximizar los niveles de CFT, CA y CFT/CA para la variedad Ventura: CFT (59.5% etanol, 34.6 min), CA (45% etanol, 40 min) y CFT/CA (58% etanol, 36.5 min) y para la variedad Emerald: CFT (50 % etanol, 29.1 min); CA (50.8% etanol, 28.8 min) y CFT/CA (50.8% etanol, 28.8 min). Bajo las condiciones optimizadas de EAU, para la variedad Ventura correspondieron valores de CFT (3.05×10^4 µg GAE /g materia seca) y CA (9.14×10^4 µg de Trolox/g de materia seca), mientras que para la variedad Emerald correspondieron valores de CFT (3.67×10^4 µg GAE /g materia seca) y CA (7.24×10^4 µg de Trolox/g de materia seca).

Palabras clave– subproductos de arándano, optimización, ultrasonido, biocompuestos, extracción.

I. INTRODUCCIÓN

Los arándanos (*Vaccinium corymbosum*) han ganado una gran aceptación en los consumidores, debido a sus cualidades organolépticas y elevado contenido de compuestos fenólicos y antocianinas, entre otros biocompuestos [1]. Sin embargo, durante las actividades agrícolas y de procesamiento industrial, se generan alrededor del 20 al 30% de descartes y residuos sólidos (semillas y piel) [2], los que generalmente se eliminan, desaprovechando la gran cantidad de compuestos bioactivos que se encuentran en estos subproductos [3]. Por lo tanto, la reutilización de estos residuos se ha convertido en un

tema esencial para la economía y la sostenibilidad de los procesos industriales [4], ya que a partir de estos subproductos agrícolas podrían obtenerse diversos biocompuestos.

En los residuos de arándano, se ha reportado que hay biocompuestos que están localizados en gran proporción en el epicarpio (cáscara) del arándano [5]. En la cáscara, se han identificado diversos compuestos bioactivos como taninos, saponinas, antocianinas, antocianidinas, flavonoides, flavonoles y ácidos fenólicos [5-7]. Estos compuestos pueden llegar a ejercer actividades biológicas con efectos beneficiosos en la salud como antioxidante, antiobesidad, antiinflamatorio, neuroprotectora, cardioprotectora y anticancerígeno [8-10].

El interés en aprovechar estos componentes valiosos para la industria ha motivado la búsqueda de métodos innovadores destinados a optimizar la extracción de dichos compuestos. En ese sentido, la extracción asistida por ultrasonido emerge como una técnica prometedora y ecológica para obtener compuestos bioactivos de plantas, ya que logra un rendimiento elevado con un uso reducido de solventes y tiempo, siendo especialmente efectivo para compuestos sensibles a la temperatura [11, 12]. Esta tecnología, impacta en la estructura celular de las plantas, causando fragmentación, desgaste, formación de poros, fuerza de corte y cambios en la matriz celular [13, 14]. En consecuencia, este procedimiento favorece la liberación de compuestos bioactivos de las matrices vegetales después de la modificación celular [15]. Hasta la fecha, solo se ha encontrado un estudio sobre la optimización de la extracción asistida por ultrasonidos de compuestos bioactivos en muestras de arándanos entero y liofilizado [16], más no de la piel de estos ni de las variedades Emerald y Ventura.

En este contexto, el objetivo de este trabajo fue optimizar las condiciones de extracción asistida por ultrasonido (tiempo y concentración de etanol) mediante el uso de un diseño compuesto central rotacional (RCCD) para obtener el máximo contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante de la cáscara de arándano (*Vaccinium corymbosum*) variedades Emerald y Ventura.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

II. MATERIAL Y MÉTODOS

A. Procesamiento del arándano de descarte

El arándano de descarte var. Emerald y Ventura fue proporcionado por la empresa Agrovision Peru S.A.C. Las cáscaras fueron separadas, se lavaron superficialmente y se colocó a secar por convección utilizando una estufa con flujo de aire forzado (Memmert UF 110 plus, Alemania). Para ello, las muestras se extendieron sobre un soporte de aluminio y se colocaron en la estufa a 40 °C y 0.8 m/s de velocidad de aire. Después del secado, las cáscaras de arándano presentaron una humedad final de 8.96% (Emerald) y 10.35% (Ventura), determinado por un analizador de humedad (A&D MX-50, Japón). Posteriormente, fueron almacenados en bolsas herméticas hasta su posterior extracción (Fig. 1).



Fig. 1 Descarte de arándano proporcionados por la agroindustria AGROVISION Perú SAC (Olmos, Lambayeque, Perú), secado y obtención de extractos por extracción asistida por ultrasonido (EAU).

B. Diseño experimental

Las condiciones para extraer los compuestos bioactivos se definieron utilizando un diseño compuesto central rotacional (DCCR), y los resultados se evaluaron utilizando el método de

superficie de respuesta (MSR) para definir los rangos óptimos del proceso de extracción. La Tabla I muestra los niveles de las variables de independientes: tiempo de extracción (t) y concentración de etanol (E) utilizado como solvente, preparados a partir de etanol 99.5%. El experimento siguió un diseño factorial 2^2 con cuatro ensayos (con niveles -1 y +1), más 2x2 puntos axiales (con niveles $-\alpha$ y $+\alpha$; $\alpha=1.41$) y tres puntos centrales (con nivel 0), totalizando once experimentos (Tabla II). Las respuestas (variables dependientes) fueron el contenido fenólico total (CFT) y la capacidad antioxidante (CA).

TABLA I
FACTORES CON NIVELES REALES Y CODIFICADOS EMPLEADOS EN EL DISEÑO COMPUESTO CENTRAL ROTACIONAL (DCCR) PARA OPTIMIZAR LAS CONDICIONES DE EXTRACCIÓN

Factores	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Tiempo (t, min)	5	10.13	22.50	34.87	40
Concentración de etanol (E, %)	45	52.47	70.50	88.53	96

TABLA II
MATRIZ DEL DISEÑO COMPUESTO CENTRAL GIRATORIO (DCCR) CON NIVELES REALES Y CODIFICADOS DE LOS TRATAMIENTOS REALIZADOS

Treatment	Niveles codificados		Niveles reales	
	E	T	E (%)	t (min)
T1	0	0	70.50	22.50
T2	-1	-1	52.47	10.13
T3	1	-1	88.53	10.13
T4	-1	1	52.47	34.87
T5	1	1	88.53	34.87
T6	0	0	70.50	22.50
T7	-1.41	0	45.00	22.50
T8	1.41	0	96.00	22.50
T9	0	-1.41	70.50	5.00
T10	0	1.41	70.50	40.00
T11	0	0	70.50	22.50

C. Extracción asistida por ultrasonido (EAU)

Los extractos se prepararon utilizando las condiciones de extracción de la Tabla II y una relación sólido-líquido de 0.03 g/ml. Para esto se colocaron ~1.5 g de cáscara seca en un matraz y se mezclaron con 50 mL de solvente (etanol a la concentración que corresponda a cada tratamiento según la Tabla II). Inmediatamente después, se colocó el matraz con la mezcla en el baño de ultrasonido (DC-150H, MRC, Israel) usando 4 L de agua como medio de inmersión, con frecuencia de 40 kHz y densidad acústica (o potencia volumétrica real) de 28.70 ± 2.45 W/L. La temperatura del agua se controló a 25 ± 1 °C durante el tiempo de extracción. Los extractos se almacenaron refrigerados (1 °C) en recipientes protegidos de la luz hasta su análisis.

D. Compuestos fenólicos totales (CFT)

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se utilizó el método de reducción del reactivo de Folin-Ciocalteu para expresar el contenido fenólico total (CFT). El CFT se realizó con base en lo informado por Colucci et al, Rojas et al Colucci, et al. [17], Rojas, et al. [18] con algunas modificaciones. Para cada reacción se mezclaron 2 mL de agua destilada con 200 μ L de extracto diluido (1:13) (para los tratamientos T1, 2, 4, 6, 7, 10, 11) o 1.9 mL de agua destilada con 300 μ L de extracto diluido (1:11) (para los tratamientos T3, 5, 8, 9) y 100 μ L de reactivo de Folin-Ciocalteu 2N (SIGMA-ALDRICH, Suiza) utilizando un agitador vortex. Después de 5 min, la reacción se completó añadiendo 200 μ L de carbonato de sodio (Merck, Alemania). Se añadió a la reacción 20% m/v, se mantuvo durante 60 min en oscuridad a temperatura ambiente y se leyó la absorbancia a 765 nm usando un Espectrofotómetro UV-Vis (Shimadzu UV 1900, Japón). Se construyó una curva de calibración con diferentes cantidades (de 20 a 100 μ L) de solución de ácido gálico (GA) (ácido 3,4,5-trihidroxibenzoico) (SIGMA-ALDRICH, Alemania) de 250 μ g/mL. El contenido fenólico total se expresó en equivalentes de GA (μ g GAE/g de materia seca).

E. Capacidad antioxidante (CA)

El método ABTS, descrito por Rojas et al, Viera et al Rojas, et al. [18], Vieira, et al. [19] con algunas modificaciones, se utilizó para expresar la capacidad antioxidante (CA). El radical ABTS \bullet + se generó según Re, et al. [20] por oxidación de ABTS (sal de diamonio de ABTS (ácido 2,2'-Azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (SIGMA-ALDRICH, Alemania) 7 mM, con persulfato de potasio (SIGMA-ALDRICH, Alemania) 2.45 mM (concentración final). La mezcla se mantuvo en oscuridad por un mínimo de 16 h. Luego, la solución de trabajo ABTS se preparó diluyendo el radical ABTS \bullet + con etanol al 96% hasta que su absorbancia fue cercana a 0.700 a 734 nm utilizando un equipo UV- Espectrofotómetro Vis (Shimadzu UV 1900, Japón) Para la reacción se mezclaron 2 mL de solución ABTS con 30 μ L de extracto diluido (1:13) (para tratamientos T1, 2, 4, 6, 7, 10, 11) o con 40 μ L de extracto diluido (1:11) (para los tratamientos T3, 5, 8, 9), luego se dejó la reacción por 20 min en oscuridad a temperatura ambiente y se leyó la absorbancia a 734 nm. Se construyó una curva de calibración con diferentes cantidades de Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) (SIGMA-ALDRICH, Alemania) 0,5 mM (de 20 a 80 μ L), la capacidad antioxidante se expresó en μ g de Trolox/g de materia seca.

F. Análisis estadístico

Para analizar la influencia de los factores se establecieron ecuaciones polinomiales matemáticas de diseño para cada respuesta (CFT y CA), las cuales se analizaron mediante MSR con un nivel de confianza del 95% ($p < 0,05$) basado en análisis de varianza (ANOVA). Los gráficos de superficie de respuesta se realizaron con Statistica 7.0 y los niveles óptimos de las variables de respuesta se obtuvieron con Statgraphics Centurion XVII.

Las Fig. 2 y 3 muestran el contenido de CFT y CA en los extractos provenientes de cáscaras de arándano variedad Ventura y Emerald. Comparando el contenido de CFT y CA entre las variedades, se observa que la variedad Emerald presenta una tendencia a mayores niveles de CFT mientras que la variedad Ventura presenta mayores niveles de CA. En general, para ambos, se observan menores valores para condiciones de extracción de tiempos cortos (< 10 min) y elevadas concentraciones de etanol (> 70 %). Este comportamiento confirma que los compuestos fenólicos presentes en las cáscaras de arándano, como las antocianinas, presentan naturaleza hidrofílica y soluble en agua [21, 22]. Además, las cáscaras al estar secas necesitaron de un tiempo previo de hidratación para que posteriormente se lleve a cabo la extracción promovida por el ultrasonido, por lo que tiempos muy cortos no tuvieron un efecto positivo en la extracción.

En cuanto a los niveles de CFT más altos obtenidos con los tratamientos aplicados, los resultados muestran que las cáscaras de arándano variedad Ventura presentaron valores de 3.15×10^4 μ g GAE /g materia seca (obtenidos con el T10, Fig. 2). Mientras que para la variedad Emerald, se encontró valores de 3.6×10^4 μ g GAE /g materia seca (obtenidos con el T7, Fig. 2). A la fecha, no existen estudios realizados específicamente en cáscara de arándano de las variedades aquí estudiadas. Sin embargo, estudios previos sobre el CFT en arándanos amazónicos enteros frescos reportaron niveles de CFT en las variedades como *C.hirta* (1275×10^4 μ g GAE /g materia seca), *C.rubra* (1544×10^4 μ g GAE /g materia seca), *C.capitellata* (42×10^4 μ g GAE /g materia seca), *C.japurensis* (851×10^4 μ g GAE /g materia seca) y *C.postulata* (1670×10^4 μ g GAE /g materia seca), los cuales fueron sometidos a una doble extracción con etanol y metanol [23]. Mientras que en otras bayas, Sady et al [21] reportan que el fruto entero de aronia liofilizado, en una extracción asistida por ultrasonido y etanol como solvente, presenta 18.85×10^4 μ g GAE /g materia seca. Comparado con estos estudios previos, los resultados de la presente investigación muestran cantidades inferiores. No obstante, muestran valores superiores en comparación con la baya de goji negro (1.87×10^4 μ g GAE /g materia seca), que fue sometida de manera íntegra (fruto entero) a un proceso de extracción con metanol [24].

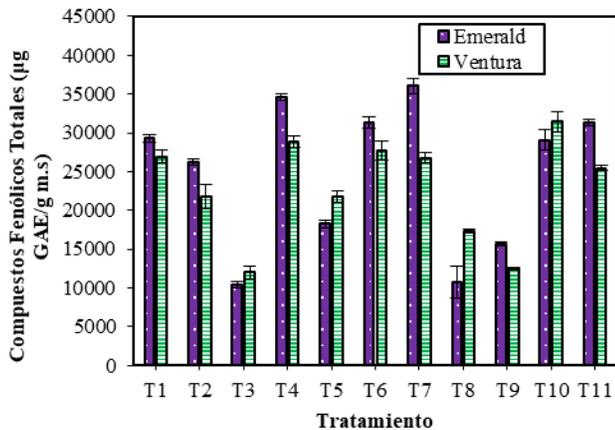


Fig. 2 Contenido fenólico total ($\mu\text{g GAE/g}$ materia seca) encontrado en la cáscara de cada variedad de arándano en función de las condiciones de extracción aplicadas (Tratamiento) según DCCR (Tabla II).

Con respecto a la CA, los niveles más altos obtenidos con los tratamientos aplicados corresponden a $6.12 \times 10^4 \mu\text{g Trolox/g}$ materia seca (obtenidos con el T4, Fig. 3) para la Variedad ventura. Mientras que para la variedad Emerald, se encontró valores de $7.32 \times 10^4 \mu\text{g Trolox/g}$ materia seca (obtenidos con el T7, Fig. 3). En los estudios previos, se reportaron que tanto la baya de goji negra ($45 \times 10^4 \mu\text{g Trolox/g}$ materia seca) [24] y la aronia ($12.31 \times 10^4 \mu\text{g Trolox/g}$ materia seca) [21], observándose que estos valores fueron elevados comparación de las variedades de los arándanos estudiados. Todas estas diferencias podrían deberse a las diferentes condiciones de extracción, tipo de baya y la fracción utilizada de la materia prima para realizar los extractos.

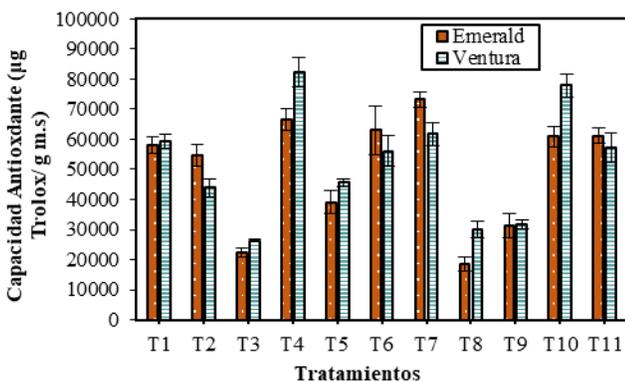


Fig. 3 Capacidad antioxidante (μg de Trolox/ g de materia seca) encontrada en la cáscara de cada variedad de arándano en función de las condiciones de extracción aplicadas (Tratamiento) según DCCR (Tabla II).

En la Tabla III se muestran las ecuaciones que describen el CFT y CA en función de las condiciones de extracción estudiadas: tiempo (t , min) y concentración de etanol (E , %). El valor R^2 indica el porcentaje en el que el modelo explica la variabilidad en CFT y CA en cada caso. El coeficiente estadístico R^2 para todos los casos fue superior al 97%. A partir de los modelos de la Tabla III, se pudo predecir que los

valores de CFT y CA generaron diferentes superficies de respuesta (Fig. 4).

TABLA III
ECUACIONES DE REGRESIÓN AJUSTADAS A LOS DATOS EXPERIMENTALES DE CFT Y CA PARA CADA SUBPRODUCTO

Subproducto	Modelo	R^2
Cáscara Var.	$CFT = -11170.9 + 827.241 * E + 986.603 * t - 7.8279 * E^2 + 3.01365 * E * t - 16.8685 * t^2$	95.75%
	$CA = -53661.8 + 2416.78 * E + 3223.16 * t - 18.5727 * E^2 - 21.6226 * E * t - 10.069 * t^2$	99.24%
Cáscara Emerald	$CFT = -16748.8 + 1173.21 * E + 1658.33 * t - 11.5602 * E^2 - 0.620703 * E * t - 27.975 * t^2$	99.34%
	$CA = -20004.2 + 2211.08 * E + 2517.36 * t - 23.2574 * E^2 + 5.27554 * E * t - 48.4169 * t^2$	97.88%

En la Fig. 4 se muestran las superficies de respuesta ajustadas en función de las condiciones de extracción (t , E) para CFT y CA en la cáscara de arándano variedad Ventura (A y B, respectivamente) y variedad Emerald (C y D, respectivamente). Con respecto a los CFT, se observa que para los tiempos de extracción entre 30 a 40 min y concentración de etanol de entre 50 a 70% se obtienen los niveles más altos de CFT en arándano variedad Ventura (Fig. 4A); mientras que, para la variedad Emerald los niveles más altos de CFT se obtienen en un rango de tiempos de extracción entre 20 a 35 min y concentración de etanol de entre 40 a 60% (Fig. 4C). Por otro lado, los niveles más altos de capacidad antioxidante para la variedad Ventura se obtienen en tiempos mayores a 35 min y concentraciones de etanol entre 40 a 60% (Fig. 4B); por el contrario, los niveles más altos de capacidad antioxidante para la variedad Emerald se obtienen en un rango de tiempos entre 20 y 35 min y concentraciones de etanol entre 40 a 55% (Fig. 4D). Resumiendo, se obtienen altos niveles de CFT y CA en la piel de arándano de ambas variedades cuando el tiempo de sonicación está en el rango de 20 a 40 min y la concentración de etanol entre 40-70%. Esto confirma que períodos prolongados de sonicación (> 40 min) pueden ocasionar una disminución en los valores de CFT y CA, ya que en ciertas materias una prolongada extracción en agua puede dar lugar a la degradación de algunos compuestos deseados, disminuyendo así el contenido de estos [25]. Asimismo, respecto al solvente utilizado, aunque el etanol mejora la difusión de polifenoles al reducir la constante dieléctrica del solvente acuoso, niveles demasiado altos pueden deshidratar las células vegetales, dificultando su transferencia al solvente. Por lo tanto, concentraciones tanto excesivamente altas como bajas de etanol en agua afectan negativamente la extracción de compuestos fenólicos [26].

La combinación de niveles de factores para maximizar tanto CFT como CA, se obtuvo mediante la función de deseabilidad. Como resultado, manteniendo su respectiva relación S/L en cada subproducto, así como las condiciones de EAU, se obtuvo las condiciones óptimas de extracción detalladas en la Tabla IV.

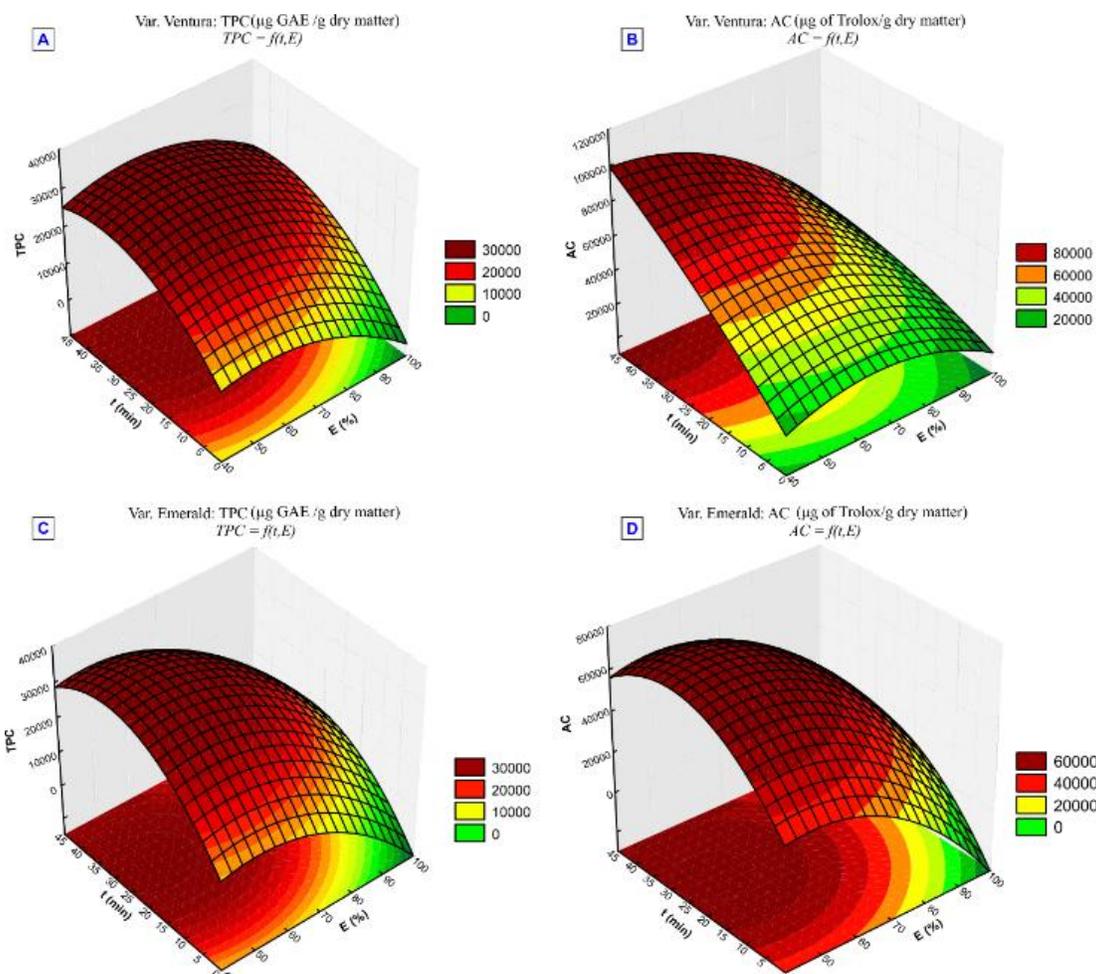


Fig. 4 Superficies de respuesta ajustadas en función de las condiciones de extracción (t, E) para CFT y CA en la cáscara de arándano variedad Ventura (A y B, respectivamente) y variedad Emerald (C y D, respectivamente).

TABLA IV
CONDICIONES DE EXTRACCIÓN ASISTIDA POR ULTRASONIDO (EAU) OPTIMIZADAS PARA CADA SUBPRODUCTO

Subproducto	Respuesta maximizada	Condiciones óptimas de EAU			Valor teórico de respuesta ($\times 10^4 \mu\text{g/g}$ materia seca)
		Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Etanol (%)	t (min)	
Cáscara var. Ventura	CFT	25.0	59.5	34.6	3.05
	CA	25.0	45.0	40.0	9.14
	CFT/CA	25.0	58.0	36.5	3.04/8.24
Cáscara var. Emerald	CFT	25.0	50.0	29.1	3.67
	CA	25.0	50.8	28.8	7.24
	CFT/CA	25.0	50.8	28.8	3.67/7.24

Para validar las condiciones de extracción optimizadas, se preparó un nuevo extracto bajo las condiciones de extracción definidas para maximizar CFT y CA al mismo tiempo (es decir, la respuesta CFT/CA) en las cáscaras var. Ventura, obteniéndose valores de $3.23 \pm 0.04 \times 10^4 \mu\text{g GAE/g}$ materia seca para los CFT y $9.02 \pm 0.81 \times 10^4 \mu\text{g Trolox/g}$ materia seca para la CA. Observándose que estos valores fueron muy

similares a los valores teóricos de CFT/CA para la variedad ventura (Tabla IV), validando por tanto las condiciones de EAU optimizadas para la matriz estudiada.

Sin embargo, es importante mencionar que pueden encontrarse variaciones debido a variables externas como origen de cultivo del arándano, estación de cosecha, presencia de plagas, etc.

IV. CONCLUSIÓN

Las condiciones de extracción asistida por ultrasonido (EAU) de tiempo y concentración de etanol fueron optimizadas usando un Diseño Compuesto Central Rotacional (DCCR) y aplicando la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR), con el objetivo de maximizar los compuestos bioactivos extraídos de cáscara de arándano de descarte variedad Emerald y Ventura. Se evidenció que la variedad Emerald tiende a mostrar niveles más elevados de compuestos fenólicos totales (CFT), en contraste, la variedad Ventura presenta mayores niveles de capacidad antioxidante (CA). En general, se encontró que se obtienen altos niveles de CFT y CA en la piel de arándano de ambas variedades cuando el tiempo de sonicación está en el rango de 20 a 40 min y la concentración de etanol entre 40-70%. Finalmente, se obtuvieron las condiciones de EAU que permitieron maximizar las respuestas en cuanto a niveles de CFT (59.5% etanol, 34.6 min), CA (45% etanol, 40 min) y CFT/CA (58% etanol, 36.5 min) para la variedad de Ventura. De igual manera para la variedad Emerald, se determinó las condiciones de EAU que permitieron maximizar los niveles de CFT (50 % etanol, 29.1 min); CA (50.8% etanol, 28.8 min) y CFT/CA (50.8% etanol, 28.8 min).

En futuros estudios se recomienda explorar los tipos de compuestos bioactivos específicos extraídos bajo las condiciones optimizadas, así como la aplicación de los extractos como insumo para productos de la industria cosmética y alimentaria.

AGRADECIMIENTOS

Los autores están agradecidos con el Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Aplicados (PROCIENCIA) por financiar el proyecto N° PE501080950-2022-PROCIENCIA. Además, los autores están agradecidos con la Ing. Mónica Falen de AGROVISION Perú S.A.C. por el apoyo y colaboración en este proyecto.

REFERENCES

- [1] M. Zhao, P. Wang, Y. Zhu, X. Liu, X. Hu, and F. Chen, "Blueberry anthocyanins extract inhibits acrylamide-induced diverse toxicity in mice by preventing oxidative stress and cytochrome P450 2E1 activation," *Journal of Functional Foods*, vol. 14, pp. 95-101, 2015/04/01/ 2015.
- [2] C. L. Luchese, J. Uranga, J. C. Spada, I. C. Tessaro, and K. de la Caba, "Valorisation of blueberry waste and use of compression to manufacture sustainable starch films with enhanced properties," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 115, pp. 955-960, 2018/08/01/ 2018.
- [3] M. d. I. L. Cádiz-Gurrea, M. d. C. Villegas-Aguilar, F. J. Leyva-Jiménez, S. Pimentel-Moral, Á. Fernández-Ochoa, M. E. Alañón, et al., "Revalorization of bioactive compounds from tropical fruit by-products and industrial applications by means of sustainable approaches," *Food Research International*, vol. 138, p. 109786, 2020/12/01/ 2020.
- [4] R. T. Buratto, M. J. Cocero, and Á. Martín, "Characterization of industrial açai pulp residues and valorization by microwave-assisted

- extraction," *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, vol. 160, p. 108269, 2021/03/01/ 2021.
- [5] D. Martini, M. Marino, S. Venturi, M. Tucci, D. Klimis-Zacas, P. Riso, et al., "Blueberries and their bioactives in the modulation of oxidative stress, inflammation and cardio/vascular function markers: a systematic review of human intervention studies," *The Journal of Nutritional Biochemistry*, vol. 111, p. 109154, 2023/01/01/ 2023.
- [6] B. R. Cutler, C. Petersen, and P. V. Anandh Babu, "Mechanistic insights into the vascular effects of blueberries: Evidence from recent studies," *Molecular nutrition & food research*, vol. 61, p. 1600271, 2017.
- [7] J. D. Flores-Félix, A. C. Gonçalves, S. Meirinho, A. R. Nunes, G. Alves, C. Garcia-Viguera, et al., "Differential response of blueberry to the application of bacterial inoculants to improve yield, organoleptic qualities and concentration of bioactive compounds," *Microbiological Research*, vol. 278, p. 127544, 2024/01/01/ 2024.
- [8] N. Ijaz, H. Bader Ul Ain, S. Bashir, T. Tufail, K. Ameer, S. Imran, et al., "Health Promoting Properties and Extraction of Specific Bioactive Compounds in Blueberries: Bioactive Compounds in Blueberries," *Pakistan BioMedical Journal*, vol. 5, pp. 18-20, 05/31 2022.
- [9] A. Bilawal, M. Ishfaq, M.-A. Gantumur, A. Qayum, R. Shi, S. A. Fazilani, et al., "A review of the bioactive ingredients of berries and their applications in curing diseases," *Food Bioscience*, vol. 44, p. 101407, 2021/12/01/ 2021.
- [10] Y. Duan, A. Tarafdar, D. Chaurasia, A. Singh, P. C. Bhargava, J. Yang, et al., "Blueberry fruit valorization and valuable constituents: A review," *International Journal of Food Microbiology*, vol. 381, p. 109890, 2022/11/16/ 2022.
- [11] X. Fu, D. Wang, T. Belwal, J. Xie, Y. Xu, L. Li, et al., "Natural deep eutectic solvent enhanced pulse-ultrasonication assisted extraction as a multi-stability protective and efficient green strategy to extract anthocyanin from blueberry pomace," *LWT*, vol. 144, p. 111220, 2021/06/01/ 2021.
- [12] P. Das, P. K. Nayak, and R. k. Kesavan, "Ultrasound assisted extraction of food colorants: Principle, mechanism, extraction technique and applications: A review on recent progress," *Food Chemistry Advances*, vol. 1, p. 100144, 2022/10/01/ 2022.
- [13] K. Kumar, S. Srivastav, and V. S. Sharanagat, "Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review," *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 70, p. 105325, 2021/01/01/ 2021.
- [14] G. Linares and M. L. Rojas, "Ultrasound-Assisted Extraction of Natural Pigments From Food Processing By-Products: A Review," *Front Nutr*, vol. 9, p. 891462, 2022.
- [15] M. Hadidi, A. Ibarz, and J. Pagan, "Optimisation and kinetic study of the ultrasonic-assisted extraction of total saponins from alfalfa (*Medicago sativa*) and its bioaccessibility using the response surface methodology," *Food Chemistry*, vol. 309, p. 125786, 2020/03/30/ 2020.
- [16] M. J. Aliaño-González, J. A. Jarillo, C. Carrera, M. Ferreiro-González, J. Á. Álvarez, M. Palma, et al. (2020), Optimization of a Novel Method Based on Ultrasound-Assisted Extraction for the Quantification of Anthocyanins and Total Phenolic Compounds in Blueberry Samples (*Vaccinium corymbosum L.*). *Foods* 9(12).
- [17] D. Colucci, D. Fissore, C. Rossello, and J. A. Carcel, "On the effect of ultrasound-assisted atmospheric freeze-drying on the antioxidant properties of eggplant," *Food Research International*, vol. 106, pp. 580-588, 2018/04/01/ 2018.
- [18] M. L. Rojas, P. E. D. Augusto, and J. A. Cárcel, "Ethanol pre-treatment to ultrasound-assisted convective drying of apple," *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 61, p. 102328, 2020/05/01/ 2020.
- [19] F. G. K. Vieira, G. D. S. C. Borges, C. Copetti, R. D. D. M. C. Amboni, F. Denardi, and R. Fett, "Physico-chemical and antioxidant properties of six apple cultivars (*Malus domestica Borkh*) grown in southern Brazil," *Scientia Horticulturae*, vol. 122, pp. 421-425, 2009/10/01/ 2009.
- [20] R. Re, N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang, and C. Rice-Evans, "Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay," *Free radical biology and medicine*, vol. 26, pp. 1231-1237, 1999.
- [21] S. Sady, L. Matuszak, and A. Błaszczyk, "Optimisation of ultrasonic-assisted extraction of bioactive compounds from chokeberry pomace

- using response surface methodology," *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, vol. 18, pp. 249-256, 2019.
- [22] L. Cruz, M. Benohoud, C. M. Rayner, N. Mateus, V. de Freitas, and R. S. Blackburn, "Selective enzymatic lipophilization of anthocyanin glucosides from blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) skin extract and characterization of esterified anthocyanins," *Food Chemistry*, vol. 266, pp. 415-419, 2018/11/15/ 2018.
- [23] S. O. Assunção-Júnior, L. S. I. Rodrigues, D. S. Raposo, J. G. C. Rodrigues, E. J. S. P. de Lima, F. M. A. da Silva, et al., "Amazonian Melastomataceae blueberries: Determination of phenolic content, nutritional composition, and antioxidant and anti-glycation activities," *Food Research International*, vol. 158, p. 111519, 2022/08/01/ 2022.
- [24] T. Ilić, M. Dodevska, M. Marčetić, D. Božić, I. Kodranov, and B. Vidović. (2020, Chemical Characterization, Antioxidant and Antimicrobial Properties of Goji Berries Cultivated in Serbia. *Foods* 9(11).
- [25] B. S. Bamba, J. Shi, C. C. Tranchant, S. J. Xue, C. F. Forney, and L.-T. Lim. (2018, Influence of Extraction Conditions on Ultrasound-Assisted Recovery of Bioactive Phenolics from Blueberry Pomace and Their Antioxidant Activity. *Molecules* 23(7).
- [26] C. M. Librán Cuervas-Mons, L. Mayor López, E. M. García Castelló, and D. J. Vidal Brotons, "Polyphenol extraction from grape wastes: Solvent and pH effect," *Agricultural Sciences*, vol. 4, pp. 56-62, 2013.