







Obtención de un extracto rico en polifenoles a partir de la hoja de aguacate (*Persea americana* Mill. var. *criolla*) empleando solventes eutécticos profundos

Obtaining an extract rich in polyphenols from the avocado leaf (*Persea Americana* Mill. var. *creole*) using deep eutectic solvents

Dairon Iglesias Guevara¹ 
Danae Pérez Santana¹ 
Sonia Fuertes Blanco^{1*} 
Anibal Bestard Alfonso¹ 
Camila Vázquez Barrero¹ 
Iván González Góngora¹ 

¹Universidad de La Habana, Instituto de Farmacia y Alimentos, Departamento de Alimentos. La Habana, Cuba.

*Autor para la correspondencia:
abasonia1606@gmail.com

Artículo original

Recibido 03/10/2024

Aceptado 06/10/2024

Cómo citar

Iglesias Guevara D, Pérez Santana D, Fuertes Blanco S, Bestard Alfonso A, Vázquez Barrero C, González Góngora I. Obtención de un extracto rico en polifenoles a partir de la hoja de aguacate (*Persea americana* Mill. var. *criolla*) empleando solventes eutécticos profundos. Revista de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias. 2024;7(2):e10178



Acceso abierto



Licencia Creative Commons 4.0.
No comercial

ISSN 2411-927X

RESUMEN

Introducción. En la actualidad se aboga por el cuidado del medioambiente y lograr procesos más eficientes, por ello se busca sustituir los disolventes tradicionales por los disolventes eutécticos profundos para la obtención de extractos vegetales ricos en compuestos fenólicos de gran capacidad antioxidante.

Objetivo. Obtener un extracto rico en polifenoles a partir de la hoja de aguacate (*Persea americana* Mill. var. *criolla*) mediante la utilización de solventes eutécticos profundos.

Métodos. Para la obtención del extracto se empleó como disolvente una mezcla eutéctica, glucosa:ácido cítrico:agua en una relación molar de 1:2:7.5 y utilizando un diseño factorial tipo Box-Behnken con tres factores y tres niveles, se consideró la temperatura (30, 45 y 60 °C), tiempo de extracción (1, 2 y 3 h), la relación sólido/disolvente (1:10, 1:15 y 1/20) como variables independientes y la masa total extraída de polifenoles como la variable de respuesta.

Resultados. El modelo propuesto se ajustó satisfactoriamente con los datos experimentales de la extracción y solo las variables independientes temperatura y tiempo influyeron significativamente en la extracción de compuestos fenólicos. El extracto optimizado con temperatura de 56 °C y 170 min, con la relación material/disolvente 1:15, presentó 0,369 mg EAG/L de polifenoles totales con una capacidad antioxidante de 272,68 µmol EAA/L valores menores que cuando se empleó una disolución hidroalcohólica al 50 %.

Conclusiones. La relación material/disolvente 1:15 fue la de mejor extracción de los compuestos antioxidante provenientes de la hoja de aguacate estudiada.

Palabras clave: disolventes eutécticos; aguacate (*Persea americana*); polifenoles; capacidad antioxidante.

ABSTRACT

Introduction. Currently, care for the environment and achieving more efficient processes is advocated, which is why we seek to replace traditional cartridges with deep eutectic cartridges to obtain plant extracts rich in phenolic compounds with great antioxidant capacity.

Objective. Obtain an extract rich in polyphenols from the avocado leaf (*Persea Americana* Mill. var. *creole*) by using deep eutectic solvents.

Methods. To obtain the extract, a eutectic mixture was used as a solvent, glucose: citric acid: water in a molar ratio of 1:2:7.5 and using a Box-Behnken type factorial design with three factors and three levels, the temperature was considered (30, 45 and 60 °C), extraction time (1, 2 and 3 h), the solid/solvent ratio (1:10, 1:15 and 1/20) as independent variables and the total extracted mass of polyphenols as the response variable.

Results. The proposed model was satisfactorily adjusted to the experimental extraction data and only the independent variables temperature and time significantly influenced the extraction of phenolic compounds. The optimized extract with a temperature of 56 °C and 170 min, with a material/solvent ratio of 1:15, presented 0.369 mg EAG/L of total polyphenols with an antioxidant capacity of 272.68 µmol EAA/L, lower values than when it was used a 50% hydroalcoholic solution.

Conclusions. The material/solvent ratio of 1:15 was the one with the best extraction of the antioxidant compounds from the avocado leaf studied.

Keywords: eutectic solvents; avocado (*Persea americana*); polyphenols; antioxidant capacity.

Introducción

Las especies vegetales han despertado un gran interés en la comunidad científica por ser fuente de compuestos biológicamente activos con efectos beneficiosos para el organismo.

Los compuestos fenólicos, conocidos comunmente como polifenoles, son metabolitos secundarios de las plantas, que están implicados en los mecanismos de defensa de las plantas hacia distintos factores de estrés biótico y abiótico.⁽¹⁾ Estos compuestos representan un conjunto heterogéneo de moléculas que comparten la característica de poseer en su estructura varios grupos bencénicos sustituidos por grupos funcionales hidroxilos y son los principales responsables del efecto terapéutico atribuido a la especie vegetal, fundamentalmente por la capacidad antioxidante que presentan y que justifica un sinnúmero de efectos neuroprotectores en el organismo.⁽²⁾

Por otra parte, una de las principales alteraciones de los alimentos durante conservación es la rancidez, derivado del deterioro oxidativo de los compuestos lipídicos. En la actualidad, los antioxidantes más empleados son sintéticos, no obstante, como consecuencia de las exigencias actuales de los consumidores en búsqueda de hábitos más saludables, así como la rigurosidad de la legislación en materia de seguridad alimentaria, están a un paso de ser sustituidos por antioxidantes naturales.⁽²⁾

Diversos autores reportan el empleo de los extractos vegetales en la formulación de alimentos funcionales o como forma de retardar la oxidación en alimentos. Extractos obtenidos a partir de la *Moringa oleifera* y *Moringa spicata* se adicionaron a jugo de piña y se pudo comprobar que aumentan la estabilidad del producto.⁽³⁾ Se realizó otro estudio⁽⁴⁾ que utilizó extractos de pimientos dulce y picante de Cayena, de romero (*Rosmarinus officinalis*), de orégano (*Origanum vulgare*) y de borrajo (*Borago officinalis*) para incrementar la vida útil de la carne fresca de vacuno, logrando de esta manera preservar y mantener la inocuidad de la carne.

Por su parte, se evaluó el efecto del extracto obtenido a partir de epicarpio de aguacate (*Persea americana*) sobre procesos de oxidación en frituras de porcino.⁽⁵⁾ Más reciente, se analizó el efecto multifuncional de la incorporación de extractos de cáscaras de mango (*Mangifera indica L.*) de las variedades *manila* y *ataúlfo*, sobre un producto cárnico a dos diferentes formas de procesamiento, almacenado durante 11 días a 4 ± 1 °C y se concluyó que los extractos etanólicos de cáscara de mango Ataúlfo podrían ser utilizados como posibles antioxidantes naturales en productos cárnicos.⁽⁶⁾

La obtención de los compuestos biofuncionales se puede realizar mediante el uso de disolventes orgánicos (etanol, metanol, acetona, benceno, cloroformo, éter de petróleo y hexano) empleando métodos convencionales como la maceración, percolación y la extracción por extractor Soxhlet. Estos procesos presentan limitaciones entre las que se pueden mencionar el empleo de grandes volúmenes de disolvente que en algunos casos resultan tóxicos o perjudiciales para el medio ambiente, la baja selectividad, la necesidad de añadir etapas de eliminación del disolvente y purificación, además de un largo tiempo de extracción.^(7,8)

Para minimizar las limitaciones antes planteadas, en los últimos años, teniendo en cuenta el concepto de química verde y ecosostenibilidad, se está prestando especial atención a una nueva generación de disolventes, denominados eutécticos profundos (DES). Estos constituyen una mezcla líquida a temperatura ambiente, de dos o tres componentes caracterizados por tener un punto eutéctico inferior al de las formas puras de sus componentes.

La ventaja de estos disolventes está relacionada con sus propiedades químicas, como los bajos puntos de fusión, la baja volatilidad, la no corrosión, no inflamabilidad, baja presión de vapor, polaridad, estabilidad química y térmica. Su ensamblaje a través de interacciones intermoleculares de enlaces de hidrógeno no implica reacciones químicas, por lo que no se producen compuestos secundarios, lo que reduce la necesidad de otros pasos de purificación.^(9,10)

Estudios realizados por diversos autores^(11,12,13) evidencian el uso de estos disolventes para la extracción de fenoles a partir de una matriz natural empleando mezclas de cloruro de colina:glicerol, cloruro de colina:xilitol, cloruro de colina:glucosa, L-prolina:glucosa, ácido cítrico:glucosa, ácido cítrico:adonitol, betaina:ácido DL-málico, entre otros.

El aguacate y especialmente sus hojas (*Persea americana* Mill) son una fuente importante de metabolitos secundarios tales como polifenoles (ácidos fenólicos, flavonoides y taninos condensados) proantocianinas alcaloides, saponinas, esteroides, antocianidinas,⁽¹⁴⁾ de ahí que se hayan realizado diversos estudios para su cuantificación y determinación de capacidad antioxidante. En este sentido, se realizó una investigación⁽¹⁵⁾ en la hoja de aguacate criollo (*Persea americana* var. *drimifolia*) en la que se utilizaron dos métodos diferentes de extracción con etanol como disolvente al 80 % (v/v), en una relación material vegetal:disolvente de

1:20 obteniendo valores de polifenoles totales entre 9531,41 y 9905,52 mg GAE/100g m.s. Sin embargo, en la literatura consultada no se encontraron reportes del uso de disolventes eutécticos para la extracción de dichos compuestos en la hoja de aguacate.

El objetivo fue obtener un extracto rico en polifenoles a partir de la hoja de aguacate (*Persea americana Mill. var. criolla*) mediante la utilización de solventes eutécticos profundos.

Métodos

Las hojas de aguacate (*Persea americana Mill. var. criolla*) se recolectaron de árboles sanos de forma manual en el segundo trimestre de 2023 de la plantación localizada en el Instituto de Farmacia y Alimentos. Se obtuvieron de la parte central del árbol, seleccionando aquellas con características de estado vegetativo, tamaño y color similar y ausencia de daños mecánicos o biológicos. Fueron convenientemente lavadas para eliminar materias extrañas cortadas en tiras de aproximadamente un centímetro de ancho y secadas a 40 °C en una estufa modelo P/G2007ba de procedencia china con circulación forzada de aire durante 48 horas. Posteriormente se trituraron en molino de cuchillas de alta velocidad (200 min⁻¹) y se tamizaron a través de una malla 0,5 mm, y se obtuvo un polvo fino. La muestra preparada fue envasada en frascos de vidrio con tapa y almacenadas a temperatura ambiente hasta la realización de los experimentos.

Al material vegetal se le determinó el contenido de humedad mediante el método de secado en estufa a 105 °C hasta masa constante. La distribución de tamaño de partícula y diámetro promedio se realizó a

partir de 100 g de muestra con el uso de un juego de tamices entre 0,07 hasta 0,45 mm de diámetro de abertura sometidos a vibración durante 15 min. El contenido de cada tamiz fue pesado en balanza analítica de sensibilidad 0,1 g. Los resultados se representan mediante gráfico de fracción másica m/m (% retención) vs. el diámetro promedio de partícula (mm).

La extracción de polifenoles del material vegetal se realizó a partir de 1 g del material seco en tubo de centrífuga y 25 mL de una disolución hidroalcohólica al 50 %, sometiéndolo a agitación en zaranda (marca RETOMED) a velocidad 250 min⁻¹ por espacio de 1 h a temperatura ambiente. Luego se sometió a centrifugación en centrifuga marca Microtonic-BL a 10 000 seg⁻¹ por 15 min, se recogió el sobrenadante en matraz aforado. El proceso se repitió sobre el mismo material vegetal en tres ocasiones. Cuando se concluyó este fue enrazado el matraz aforado y el extracto final se almacenó a -20 °C hasta su empleo.

El contenido de polifenoles totales (CFT) fue determinado por el método de Folin-Ciocalteu descrito por Slinkard y Singleton⁽¹⁶⁾ utilizando el ácido gálico como estándar y expresando los resultados como mg ácido gálico/L. La determinación de la capacidad reductora del hierro (FRAP) se realizó siguiendo el procedimiento propuesto por Benzie y Strain⁽¹⁷⁾ tomando como tiempo final de la reacción 30 min,⁽¹⁸⁾ los resultados se expresaron como μmol equivalentes de ácido ascórbico/L. La medición de la capacidad antioxidante por el método DPPH (2,2 -difetil-1-picril-hidracilo) se realizó según la metodología propuesta por Brand-Williams.⁽¹⁹⁾ El porcentaje de inhibición de la coloración DPPH que representa el porcentaje de la pérdida del color púrpura del radical DPPH. La mezcla eutéctica utilizada se seleccionó teniendo en cuenta los resultados reportados por diferentes autores en cuanto a componentes y

su relación. Los componentes fueron glucosa:ácido; cítrico:agua en una relación molar 1:2:7.5.⁽¹³⁾ La mezcla se sometió a temperatura de 60 °C bajo agitación constante hasta obtener un líquido transparente, el cual fue almacenado en frasco ámbar con tapa a temperatura ambiente hasta su utilización.⁽¹⁰⁾

Para la optimización de la extracción empleando el disolvente eutéctico seleccionado se utilizó un diseño factorial tipo Box-Behnken con tres factores y tres niveles, se consideró la temperatura (30 a 60 °C), tiempo de extracción (1 a 3 h) y relación sólido-líquido (1/10 a 1/20) como variables independientes y la masa total extraída de polifenoles como la variable de respuesta. Un total de 15 ensayos experimentales, incluyendo tres réplicas en el punto central, se llevaron a cabo de forma aleatoria.

Cada proceso de extracción se realizó en vaso de precipitado de 100 mL a partir de 1,0 g de hojas pulverizadas y volumen de disolvente, bajo agitación constante, en agitador magnético (IKA RET), a la temperatura, tiempo y cantidad de disolvente según el diseño experimental. Al finalizar la extracción se procedió a centrifugación (10 000 min⁻¹) durante 15 min, en centrífuga (Microtonic-BL). Los extractos obtenidos fueron almacenados a -20°C hasta ser empleados para la determinación del contenido de fenoles totales y actividad antioxidante según los métodos antes descritos.

Los resultados de las extracciones, de acuerdo con el diseño experimental Box-Behnken, se procesaron estadísticamente con el *software* STATISTICA version 8.0 (Statsoft, Inc, 2007). La calidad del modelo matemático fue comprobada mediante el análisis de los coeficientes de determinación (R²) y la prueba de falta de ajuste. Los datos generados por el modelo se emplearon para el gráfico de las superficies de respuestas y mediante la metodología de función de conveniencia se

estimaron las condiciones óptimas para la extracción de los compuestos fenólicos.

El rendimiento de polifenoles totales se definió como la masa de polifenoles extraída con la mejor variante obtenida cuando se utilizó disolventes eutécticos y el contenido encontrado en las hojas de aguacate. Los resultados se expresaron en porcentaje.

Resultados

En el estudio de la caracterización del material vegetal se obtuvo que el porcentaje de humedad residual fue de 9,10 % m/m, contenido este que evitará en gran medida al ataque de hongos u otros microorganismos capaces de alterar su composición.

El tamaño promedio de partícula del material vegetal fue de 0,27 mm, menor a 0,50 mm que según lo planteado por *Figueroa* y otros⁽²⁰⁾ permite incrementar el rendimiento de extracción de compuestos bioactivos.

El contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante (métodos de FRAP y DPPH), del extracto hidroalcohólico al 50 % v/v en hojas de aguacate fue de 0,712 mgEAG/L y 536 μ mol EAA/L por el método del FRAP y 54,03 % de inhibición DPPH, respectivamente.

En la tabla 1 se muestra el contenido de polifenoles totales obtenidos en las diferentes corridas realizadas para la extracción.

Tabla 1 - Contenido de polifenoles totales de acuerdo con el diseño Box-Behnken

Corrida	Temperatura (°C)	Tiempo (horas)	Relación (masa/disolvente)	Masa de polifenoles (mg) ^a
1	60	1	1:15	0,23
2	45	3	1:20	0,23
3	60	2	1:10	0,25
4	30	3	1:15	0,28
5	45	1	1:20	0,18
6	30	2	1:10	0,20
7	45	2	1:15	0,26
8	60	2	1:20	0,33
9	45	1	1:10	0,23
10	60	3	1:15	0,36
11	30	2	1:20	0,24
12	45	3	1:10	0,28
13	30	1	1:15	0,22
14	45	2	1:15	0,26
15	45	2	1:15	0,26

^aValores medios de tres determinaciones.

Se observa que, de forma general, las condiciones de extracción inciden en la masa de polifenoles obtenidas.

Un polinomio cuadrático fue la solución matemática que involucra las variables seleccionadas con la masa total de polifenoles extraídos, según el análisis de varianza resumido en la tabla 2. El coeficiente de determinación R^2 superior a 0,9 conjuntamente con la prueba de falta de ajuste, que no resultó significativa, permite afirmar que el modelo propuesto adapta satisfactoriamente los datos experimentales de la extracción.

Tabla 2 - Resumen del análisis de varianza del modelo cuadrático

Factor	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F	Probabilidad ^a
(1) Temperatura L+C	0,008509	2	0,004254	9,43	0,020
(2) Tiempo L+C	0,007729	2	0,003864	8,57	0,024
(3) M/S L+C	0,004526	2	0,002263	5,02	0,063
1*2	0,002454	1	0,002454	5,44	0,066
1*3	0,000069	1	0,000069	0,15	0,712
2*3	0,000265	1	0,000265	0,58	0,477
Error	0,002253	5	0,000451	-	-
Suma cuadrados total	0,026023	14	-	-	-
Prueba falta de ajuste	-	-	-	2,71	0,113
R ²	-	0,913	--	-	

^aLos parámetros significativos del modelo cuadrático son aquellos con probabilidad <0,05. Las letras L y C simbolizan término lineal y término cuadrático, respectivamente.

El modelo matemático final en función de las variables independientes significativas obtenido fue

$$\text{Masa de fenoles (mg)} = 0,224 + 0,032 X_1 + 0,004 X_1^2 + 0,0030 X_2 + 0,011 X_2^2$$

donde X_1 y X_2 simbolizan las variables temperatura (°C) y tiempo (horas) respectivamente.

La figura 1 corresponde al gráfico de la superficie de respuesta generado por el modelo cuadrático en la que se muestra el efecto de las variables temperatura y tiempo en la extracción de compuestos fenólicos. La cinética de la extracción implica múltiples pasos, pero generalmente, es la transferencia del soluto desde el interior de las partículas sólidas hacia el disolvente contenido en los poros del sólido la que controla la velocidad del proceso, y que ocurre únicamente por difusión molecular,⁽²²⁾ por

tanto, la selección adecuada de los factores que influyen en el coeficiente de difusión contribuirá en mejorar los rendimientos de la extracción.

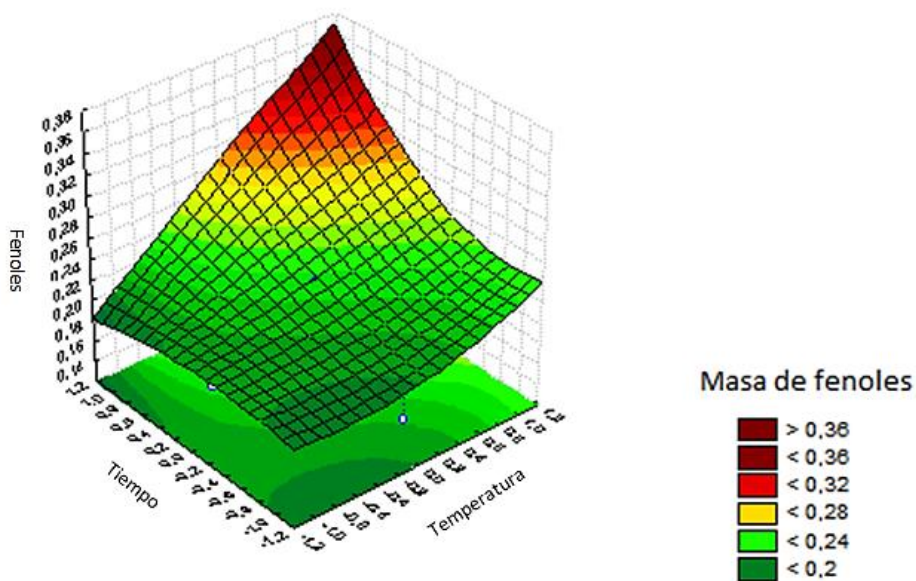


Fig. 1 - Superficie de respuesta en 3D mostrando la influencia de las variables temperatura y tiempo en el proceso de extracción de fenoles.

La figura 2 describe el comportamiento de las variables de respuesta entre los niveles seleccionados de cada variable independiente, y la región donde la función de conveniencia toma valores cercanos a uno, los que se corresponden con las condiciones de máxima extracción de los compuestos fenólicos.

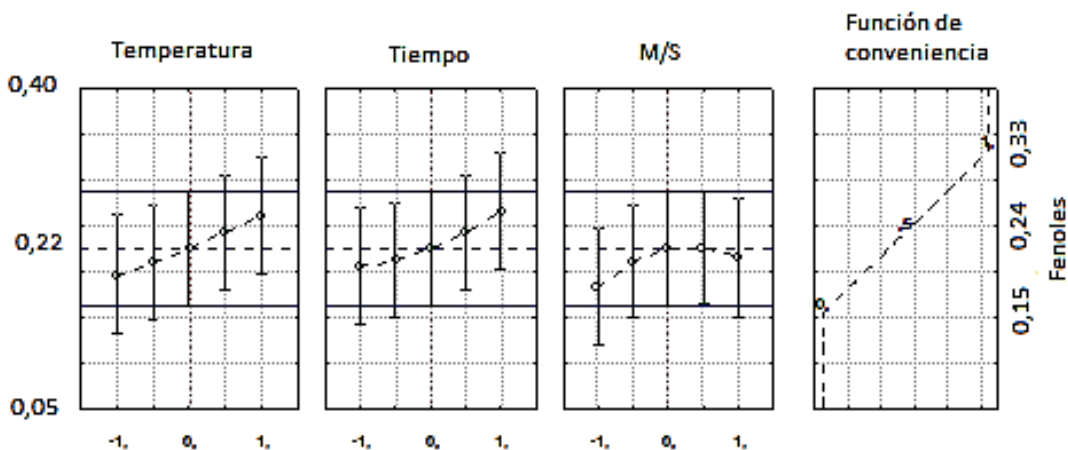


Fig. 2. - Perfiles de los valores pronosticados por el modelo empírico de la masa total de fenoles y los valores de la función de conveniencia.

Discusión

En la bibliografía consultada existen pocos reportes del contenido de polifenoles y su poder antioxidante en hojas de aguacate. Una investigación realizada por *Iglesias* y otros⁽¹⁴⁾ indican que la cantidad de esta sustancia encontrada en un extracto acuoso obtenido a partir de este mismo material fue de 0,395 mg EAG/L, valor inferior al encontrado en este estudio. Se sugiere que esta diferencia pueda estar dada por las condiciones agroclimáticas existentes durante el desarrollo de la planta y al momento de la cosecha. Cabe señalar que la presencia de estas sustancias está relacionada con condiciones de respuesta al estrés de la planta o algún peligro que ponga en riesgo la homeostasis de ella.⁽²¹⁾

La capacidad antioxidante encontrada fue superior a la citada por *Iglesias* y otros,⁽¹⁴⁾ quienes reportan valores de 316,6 μmol EAA/L para un extracto de hojas de aguacate. Este valor inferior puede atribuirse a la

menor cantidad de fenoles obtenido por dichos investigadores, ya que pudiera existir una relación directa entre ambos parámetros.

La diferencia en los valores obtenidos en la capacidad antioxidante por ambos métodos (FRAP y DPPH) se debe a que cada uno de ellos cuantifica de manera diferente este parámetro. El método FRAP se basa en la reducción de Fe^{3+} a Fe^{2+} por la sustancia examinada, mientras que el método DPPH se basa en la captación de H^+ por parte del radical DPPH. Por este motivo, *Sánchez*⁽¹⁵⁾ propuso evaluar este parámetro por diferentes métodos a fin de llegar a conclusiones más fiables.

En cuanto a las variables estudiadas se observa que la temperatura y el tiempo fueron las únicas variables independientes que su influencia fueron significativas en el proceso de extracción de los compuestos fenólicos a partir de las hojas de aguacate y también los términos cuadráticos. Ninguna interacción binaria fue estadísticamente significativa en el intervalo estudiado.

Se observa que el aumento de la temperatura y el tiempo favorecen la extracción de los fenoles (fig. 1). Estos resultados pueden explicarse por el hecho de que un aumento en la temperatura de extracción causaría un ablandamiento del tejido vegetal y liberaría de manera más efectiva los compuestos de interés de los constituyentes de la matriz. Además favorecería la extracción al acrecentar la solubilidad de los compuestos fenólicos así como el incremento del coeficiente de difusión o "difusividad" del soluto, lo que causaría una mayor velocidad de extracción.^(23,24) En cuanto al tiempo, su influencia es directa pues para una velocidad de extracción dada a mayor tiempo más masa de fenoles es extraída.⁽²²⁾

El polinomio cuadrático obtenido según el diseño Box-Behnken se utilizó para establecer las condiciones óptimas de extracción. Para optimizar las variables independientes seleccionadas se siguió el método de la función

de conveniencia de *Derringer*,⁽²⁵⁾ mediante el cual se busca la combinación de los niveles de estas variables que maximizan la masa de fenoles extraídos.

Se aprecia en los gráficos de temperatura y tiempo que la extracción es más eficiente a partir de 45°C y 2 horas (fig. 2). Las condiciones óptimas propuestas para la extracción fueron 56°C de temperatura; 2 horas y 50 minutos de extracción con la relación masa/disolvente 1:15, con un valor pronosticado de 0,34 mg de fenoles extraídos (función de conveniencia igual a 0,89).

Se reportó que en una extracción convencional con un 80 % v-v etanol como disolvente en hojas de aguacate el contenido de polifenoles totales aumentó a medida que existió un incremento del tiempo, tal como se obtuvo en este estudio.⁽¹⁵⁾

El extracto se seleccionó teniendo en cuenta los parámetros de la optimización cuando se utilizó el disolvente eutéctico profundo que corresponde a la corrida donde se tiene la mayor temperatura (60 °C), mayor tiempo (3 h) y una relación masa vegetal/disolvente 1:15 con solvente eutéctico profundo fue de 0,35 mgEAG/L para polifenoles totales y capacidad antioxidante de 272,68 µmolEAA/L por el método del FRAP y 45,01 % inhibición DPPH.

En este trabajo, la masa de polifenoles extraída con el disolvente en estudio, ácido cítrico-glucosa-agua (1:2:7,5), fue de 0,36 mg EAG/L, contenido menor que cuando se empleó una disolución hidroalcohólica al 50 % (0,712 mg EAG/L). Se conoce que esto puede estar relacionado con la diferencia de polaridad, densidad y viscosidad de los disolventes y el método de extracción empleado en cada momento⁽¹³⁾.

Resultado contrario fue reportado por este autor⁽¹³⁾ quien demostró la superioridad de la extracción con un disolvente eutéctico (ácido cítrico:

glucosa 1:1 mezclado con un 70 % de agua) frente a la disolución hidroalcohólica (5180 y 4680 mg AG/100 g peso seco, respectivamente) en piel de hojas de naranja. De esto se puede inferir que el material de partida para la extracción pudiera jugar un papel importante en los resultados finales, debido a la diferencia en composición cualitativa en los diferentes sustratos.

Se encontró un comportamiento similar al analizar la capacidad antioxidante. En este caso, la capacidad obtenida al utilizar el disolvente eutéctico en estudio fue de 272 μmol EAA/L, mientras que para el extracto obtenido con disolventes tradicionales fue de 536 μmol EAA/L. Todo esto pudiera estar relacionado con el contenido de sustancias fenólicas extraídas en ambos casos.⁽¹³⁾

Teniendo en cuenta que la masa de polifenoles extraída con la mejor variante fue de 0,36 mg EAG/L y el contenido encontrado en las hojas de aguacate fue de 0,712 EAG/L se puede inferir que el rendimiento es de un 51 %. Esto demuestra que en la hoja de aguacate aún está presente una gran cantidad de la sustancia de interés, por lo que se debería estudiar la factibilidad económica de realizar nuevas extracciones bajo las mismas condiciones a fin de lograr rendimientos mayores.

Conclusiones

La hoja de aguacate variedad criolla tiene un contenido promedio de 0,712mg EAG/L base seca de compuestos fenólicos. El diseño experimental 33 tipo Box-Behnken resultó adecuado para describir y predecir el proceso de extracción. Se comprobó que solo las variables independientes temperatura y tiempo influyen significativamente en la

extracción de los compuestos fenólicos. Se encontró que la máxima extracción de compuestos fenólicos ocurre a 56 °C y 170 min, con la relación material/disolvente 1:15. El extracto obtenido bajo las condiciones óptimas de extracción tiene un contenido de fenoles de 0,36 mg/L.

Referencias bibliográficas

1. Anticona ML, Frígola A, Estevez MJ. Determinación de polifenoles totales en arándanos y productos derivados. *revucv-scientia*. 2016;8(1):245-48. DOI: [10.18050/RevUcv-Scientia.v8n1a1](https://doi.org/10.18050/RevUcv-Scientia.v8n1a1)
2. Ajila C, Brar S, Verma M, Tyag R, Godbout G, Valero JR. Extraction and Analysis of Polyphenols: Recent trends *Critical Reviews in Biotechnology*. 2010;31(3):227-49. DOI: [10.3109/07388551.2010.513677](https://doi.org/10.3109/07388551.2010.513677).
3. Arabshahi-Delouee S, Urooj A. Application of Phenolic Extracts from Selected Plants in Fruit Juice. *International Journal of Food Properties*. 2007;10:479-88, DOI: [10.1080/10942910600891279](https://doi.org/10.1080/10942910600891279).
4. Roncales P. Optimización de los sistemas de envasado y de la conservación de alimentos. Zaragoza: Academia de Farmacia "Reino de Aragón"; 2010 [acceso 23/04/2024]. 65 p. Disponible en: <https://www.academiadefarmaciadearagon.es/docs/Documentos/Documento33.pdf>
5. Esteves M. Formation of Lysine-Derived Oxidation Products and Loss of Tryptophan during Processing of Porcine Patties with Added Avocado Byproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012;60(15):3917-26.
6. Zafra D. Uso de extractos de cáscara de mango (*Mangifera Indica* L.) como aditivo natural multifuncional sobre un producto cárnico con dos

- diferentes formas de procesamiento [tesis de maestría]. [Huajuapán de León, Oaxaca, México]: Universidad Tecnológica de la Mixteca; 2021. [acceso 20/06/2024]. Disponible en: <http://repositorio.utm.mx:8080/jspui/handle/123456789/362>
7. Roque A. Efecto de la concentración de extractos hidroalcohólicos sobre la obtención de compuestos bioactivos de aguacate (*Persea Americana* Mill) y guayaba (*Psidium Guajava* L.) [tesis de licenciatura]: [México]: Universidad Autónoma del Estado México; 2019 [acceso 20/06/2024]. Disponible en: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/4149896>
8. Valdez Y. Evaluación de la capacidad antioxidante de los polifenoles presentes en semilla de palta (*Persea americana* Miller) variedad *zutano* [tesis de maestría]. [Monquegua]: Universidad Nacional de Monquegua; 2020. [acceso 20/6/2024]. Disponible en: <https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/229>
9. Bonacci S, Gioia M, Costanzo P, Maiuolo L, Tallarico S, Nardi M. Natural deep eutectic solvent as extraction media for the main phenolic compounds from olive oil processing wastes. *Antioxidants*. 2020;9(6):1–14. DOI: [10.3390/antiox9060513](https://doi.org/10.3390/antiox9060513)
10. Cannavacciuolo C, Pagliari S, Frigerio J, Giustra C, Labra M, Campone L. Natural Deep Eutectic Solvents (NADESs) combined with Sustainable Extraction Techniques: A Review of the Green Chemistry Approach in Food Analysis. *Foods*. 2023;12(1):56. DOI: [10.3390/foods12010056](https://doi.org/10.3390/foods12010056)
11. Abbott A, Boothby D, Capper G, Davies D, Rasheed R. Deep Eutectic Solvents Formed between Choline Chloride and Carboxylic Acids: Versatile Alternatives to Ionic Liquids. *J. Am. Chem. Soc.* 2004;126(29):9142–7. DOI: [10.1021/ja048266j](https://doi.org/10.1021/ja048266j)

12. Martins M, Pinho S, Coutinho P. Insights into the Nature of Eutectic and Deep Eutectic Mixtures. *J. Solution Chem.* 2018;48(7):962–82. DOI: [10.1007/s10953-018-0793-1](https://doi.org/10.1007/s10953-018-0793-1)
13. Tejero A. Valoración del uso de una selección de NADES en la extracción de compuestos bioactivos a partir de piel de naranja [trabajo fin de Master Universitario en Gestión de la Seguridad y Calidad Alimentaria]. [Valencia]: Universidad Politécnica de Valencia; 2021. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/171202>
14. Iglesias D, Abreu J, Perez D, Cartaya R. Estudio fotoquímico preliminar y actividad antioxidante de un extracto acuoso de hoja de aguacate (*Persea americana* Mill.). *Revista de Ciencias de la Salud.* 2021;5(3):56-65. DOI: [10.33936/qkracs.v5i3.3567](https://doi.org/10.33936/qkracs.v5i3.3567)
15. Sánchez A. Evaluación del contenido fenólico y su capacidad antioxidante de extractos de hojas de aguacate criollo (*Persea Americana var. Drymifolia*) obtenidos mediante ultrasonido de alta intensidad [tesis de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos]. [Puebla]: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; 2016. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12371/14405>
16. Slinkard K, Singleton V. Total phenol analysis: Automation and comparison with manual methods. *Am. J. Enol. Viticult.* 1977;28(1):49–55.
17. Benzie IF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry.* 1996:70-6.
18. Pulido R Saura-Calixto L. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/ antioxidant power assay. *Journal of Agriculture and Food Chemistry.* 2000;48(8):3396–3402. DOI: [10.1021/jf9913458](https://doi.org/10.1021/jf9913458)

19. Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm Wissu Technol.* 1995;28:25-30.
20. Figueroa H, Armijos P, Pérez C. Efecto of particle size on the antioxidant capacity of guava (*Psidium guajaba* L) by product. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de los Alimentos.* 2012;3(2):202-9.
21. Garcia E, Fernandez I, Fuentes A. Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu. [Artículos Docentes]. *Universitat Politècnica de Valencia*; 2015. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/52056>
22. Ibarz A, Barbosa-Cánovas G. Solid-liquid extraction. En: *Unit operations in food engineering.* Boca Raton, FL: CRC Press LLC; 2003 p. 773-821.
23. Danesi P. Solvent extraction kinetics. En: Rydberg, J; Cox, M; Musikas, C; Choppin GR, Eds. *Solvent extraction. Principles and practice.* New York, NY: Marcel Dekker Inc; 2004. p. 209-57.
24. Pinelo M, Rubilar M, Sineiro J, Nuñez MJ. Effect of solvent, temperature, and solvent-to-solid ration the total phenolic content and antiradical activity of extracts from different components from grape pomace. *J. Agric. Food Chem.* 2005;53:2111-7.
25. Prakash Marana J, Manikandanb S, Mekalaca V. Modeling and optimization of betalain extraction from *Opuntia ficus-indica* using Box- Behnken design with desirability function. *Industrial Crops and Products*; 2013;49:304-311.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: Dairon Iglesias Guevara; Danae Pérez Santana; Sonia Fuertes Blanco.

Investigación: Sonia Fuertes Blanco; Anibal Bestard Alfonso; Camila Vázquez Barrero.

Supervisión: Danae Pérez Santana; Sonia Fuertes Blanco; Iván González Góngora.

Redacción-revisión y edición: Danae Pérez Santana; Sonia Fuertes Blanco; Anibal Bestard Alfonso; Camila Vázquez Barrero.

Financiación

Instituto de Farmacia y Alimentos.