

Evaluación de condiciones de extracción asistida por ultrasonido de compuestos bioactivos de cáscara de pitahaya amarilla¹

Laura Sofia Torres-Valenzuela²; Johanna Andrea Serna-Jiménez³;
Valentina Pinto⁴; Daniel Vargas⁵

Resumen

Introducción: la extracción de los polifenoles ha tomado un interés debido a la relación que tiene con la prevención del estrés oxidativo y efectos benéficos sobre la salud en la prevención de enfermedades no transmisibles; estos están comúnmente en algunas frutas por lo que su extracción se ha convertido en una tendencia para obtener productos de alto valor agregado. El ultrasonido es una técnica que puede disminuir el tiempo de extracción de estos biocomponentes. **Objetivo:** evaluar las condiciones de la extracción asistida por ultrasonido de polifenoles con actividad antioxidantes en cáscara de pitahaya amarilla deshidratada. **Materiales y métodos:** Se deshidrataron las cáscaras y construyó cinéticas de secado a 60°C, con el fin de disminuir las reacciones de deterioro. Para la extracción, una solución de etanol al 96% (V/V) fue usada como disolvente, en una relación cáscara-disolvente 1:1. El proceso fue realizado a 25 °C en un sistema de ultrasonido indirecto con una frecuencia de 37 kHz. Se usó un diseño

central compuesto, fueron evaluados el efecto de la potencia (40 – 80%) y tiempo de sonicación (11,90 – 33,10 minutos). Se hizo extracción con el método soxhlet (control). Los polifenoles totales y capacidad antioxidantes fue determinado por lo métodos Folin-Ciocalteu y ABTS respectivamente. **Resultados:** Bajos tiempos y altas potencias de sonicación fueron asociados con incremento en la extracción de polifenoles y capacidad antioxidante. En particular, la extracción asistida con ultrasonido con 60% de potencia y 11 minutos, se obtuvo un 77% más de polifenoles que 24 horas de proceso con método Soxhlet. **Conclusión:** El ultrasonido tiene potencial en comparación con la técnica tradicional para reducir el tiempo de procesamiento en extracción de biocomponentes, en este caso aprovechar la cáscara de pitahaya amarilla que es considerada como un residuo, se encontraron concentraciones de polifenoles de 973,10 mg/L que pueden ser extraídos por ultrasonido a 222 W de potencia nominal (60%), 35kHz de frecuencia y 22 minutos y con una capacidad antioxidante superior al 90%.

1 Artículo original, derivado del proyecto de investigación Encapsulación de componentes funcionales de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* haw) y subproductos por spray drying, de la Universidad La Gran Colombia, seccional Armenia, ejecutado entre febrero de 2014 y junio de 2017; Grupo de investigación para el Desarrollo Agroindustrial GIDA; Financiado por el Programa Jóvenes Investigadores Colciencias, Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia-Colombia

2 Ingeniera agrícola, Magíster en Ingeniería de Alimentos, Doctora en Química Fina. Docente-Investigador Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia. ORCID: 0000-0001-8032-1901. Correo: torresvallaura@miugca.edu.co

3 Ingeniera agroindustrial, Magíster en Bioprocesos. Docente-Investigador Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia. ORCID:0000-0002-0989-8828. E-mail: sernajimjohanna@miugca.edu.co

4 Ingeniera agroindustrial. Correo: pintobuivalentina@miugca.edu.co ORCID: 0000-0001-6730-4592

5 Ingeniero agroindustrial Correo: vargasalzdaniel@miugca.edu.co ORCID: 0000-0002-7863-2433.

Autor de correspondencia: Johanna Andrea Serna-Jiménez e-mail: sernajimjohanna@miugca.edu.co

Recibido: 18/12/2017 Aceptado: 21/07/2020

Palabras clave: polifenoles, capacidad antioxidante, secado, subproducto, *Selenicereus megalanthus*

Evaluation of conditions of ultrasound assisted extraction of yellow pitahaya peel bioactive compounds

Abstract

Introduction: the extraction of polyphenols has taken an interest due to the relationship it has with the prevention of oxidative stress and beneficial effects on health in the prevention of non-communicable diseases. These are commonly found in some fruits, so their extraction has become a trend to obtain products with high added value. Ultrasound is a technique that can decrease the extraction time of these biocomponents. **Objective:** the main objective of this work was to evaluate the conditions of the ultrasound-assisted extraction of polyphenols with antioxidant activity in dehydrated peel yellow pitahaya.

Materials and methods: the kinectis drying was made at 60 °C, in order to decrease deterioration reactions. For the extraction, a solution of 96% ethanol (V / V) was used as disolvent; the ratio Peel-Disolvent was 1:1. The process was performed at 25 °C and 37 kHz frequency. A central composite design was used, in which the effect of power (40 – 80%) and ultrasonication time (11.90 – 33.10 minutes) were evaluated. One control point was evaluated with Soxhlet extraction. The extracted amount of polyphenols and antioxidant capacity was determined by Folin-Ciocalteau and ABTS methods, respectively. **Results:** lower time exposures and higher sonication power were associated with increases in polyphenols and antioxidant

capacity. In particular, ultrasound-assisted extraction in 60% power and 11 min, obtained 77% more polyphenols than 24-h standard method (Soxhlet). **Conclusion:** Ultrasound has potential compared to the traditional technique to reduce the processing time in biocomponent extraction, in this case taking advantage of the yellow pitahaya peel that is considered as a residue, polyphenol concentrations of 973.10 mg / L were found that They can be extracted by ultrasound at 222 W nominal power (60%), 35kHz frequency and 22 minutes and with an antioxidant capacity of over 90%.

Keywords: Polyphenols, antioxidants, Drying, by-products, *Selenicereus megalanthus*

Avaliação das condições da extração com ultrassom dos compostos bioativos da casca da pitaia amarela

Resumo

Introdução: Muita atenção tem o efeito benéfico dos polifenóis e antioxidantes na obesidade relacionada ao estresse oxidativo. O ultra-som é uma técnica que pode diminuir o tempo de extração desses biocompostos. A extração de polifenóis interessou-se pela relação que tem com a prevenção do estresse oxidativo e efeitos benéficos à saúde na prevenção de doenças não transmissíveis; como são comumente encontradas em algumas frutas, sua extração tornou-se uma tendência para obter produtos com alto valor agregado. O ultrassom é uma técnica que pode diminuir o tempo de extração desses biocomponentes. **Objetivo:** foi avaliar as condições da extração assistida por ultrassom de polifenóis com atividade antioxidante em pitaia amarela desidratada. **Materiais e métodos:** as cascas foram desidratadas e construídas cinéticas de

secagem a 60 °C, a fim de diminuir as reações de deterioração. Para extração, utilizou-se uma solução de etanol 96% (V/V) como dissolvente, numa proporção escudo-dissolvente 1:1. O processo foi feito a 25°C e uma frequência de 37 kHz. Foi utilizado um projeto central composto, avaliando-se o efeito da potência (40-80%) e do tempo de sonificação (11,9-33,1 minutos). A extração foi feita com o método soxhlet (controle). A quantidade de polifenóis e capacidade antioxidantes extraídos foi determinada pelos métodos Folin-Ciocalteu e ABTS, respectivamente. **Resultados:** os tempos baixos e as altas potências de sonicação foram associados com aumento da extração de polifenóis e antioxidantes. Em particular, a extração assistida com ultra-som ao 60%

de potência e 11 minutos, 77% a mais de polifenóis foram obtidos a 24 horas do método soxhlet. **Conclusão:** Ultra-som tem o potencial comparado à técnica tradicional de reduzir o tempo de processamento na extração de biocomponentes, neste caso, aproveitando a casca de pitaiaiás amarela que é considerada um resíduo, foram encontradas concentrações de polifenóis de 973,10 mg / L que. Eles podem ser extraídos por ultrassom a 222 W de potência nominal (60%), frequência de 35kHz e 22 minutos e com uma capacidade antioxidante acima de 90%..

Palavras-chave: polifenóis, antioxidantes, secagem, sub-produto, *Selenicereus megalanthus*

Introducción

Las frutas son un segmento importante de consumo en el mundo entero; se ha establecido una relación entre el consumo de frutas y la reducción de riesgos de padecer enfermedades crónicas, incluyendo obesidad y diabetes (Mozaffarian, 2016), asociado al elevado contenido de sustancias antioxidantes, como la vitamina C, carotenoides, minerales y polifenoles.

Alrededor de 140 millones de toneladas de 3000 tipos de frutas tropicales son producidas anualmente (Ma, Li, & Zhang, 2016), en latinoamérica la producción de las principales frutas tropicales alcanzó 62 millones de toneladas (FAO, 2010) y Colombia es considerado uno de los principales países productores de frutas frescas del mundo. Una de estas frutas es la pitahaya amarilla que es una cactácea proveniente de América subtropical (Torres Valenzuela, Ayala-Aponte, & Serna, 2016) y es catalogada como una de las 10 frutas más promisorias para exportación en Colombia (Ayala Aponte, Giraldo Cuartas, & Serna Cock, 2010).

La pitahaya amarilla es popular en Europa y Estados Unidos por su apariencia, sabor exótico y composición química (Serna Cock, Torres Valenzuela, & Ayala Aponte, 2013), en su composición tiene compuestos bioactivos o fitoquímicos que son sustancias derivadas del metabolismo secundario de los vegetales y tienen efecto benéfico para la salud humana (Meregalli et al., 2020) ; dentro de estos, se incluyen polifenoles (Torres Grisales, Melo Sabogal, Torres-Valenzuela, Serna-Jiménez, & Sanín Villarreal, 2017) y vitamina C (Serna Cock et al., 2013) que son compuestos con reconocida capacidad antioxidante. Trabajos previos del grupo de investigación han permitido cuantificar características funcionales como aceleración del peristaltismo, vitamina C, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en pulpa, semilla, cáscaras y tallos (Torres Grisales et al., 2017).

De manera tradicional, el consumo de esta fruta se hace en fresco, mínimamente procesada (Torres Valenzuela et al., 2016), conservas, y/o fruta deshidratada (Ayala Aponte et al., 2010). La parte comestible es el 60% de la fruta, la cáscara representa un tercio de su

peso y es considerada en la industria como un residuo, que se descarta, con lo cual se generan problemas fitosanitarios y de manejo. Dentro de los componentes de estas cáscaras se resaltan compuestos fenólicos con alta capacidad antioxidantes y alta concentración de fibras y polisacáridos (De Mello et al., 2014),

Teniendo en cuenta los efectos que se han asociado al consumo de polifenoles, este subproducto puede ser sometido a métodos de extracción y purificación de biocomponentes. Sistemas de extracción soxhlet, reflujo, prensado en frío, maceración con disolventes orgánicos han sido técnicas empleadas para la extracción de compuestos fenólicos de diversas fuentes, sin embargo esas técnicas convencionales tienen limitaciones relacionadas con el alto tiempo de extracción, bajo rendimiento y alteración de los compuestos de interés (Valadez-Carmona et al., 2018). Recientes estudios han evaluado técnicas capaces de superar estas limitaciones como son la extracción con fluidos supercríticos (Valadez-Carmona et al., 2018), extracción asistida con alto voltaje (Boussetta & Vorobiev, 2014), procesamiento por altas presiones hidrostáticas, radiación gamma y ultrasonido (Briones-Labarca et al., 2015). Estos son métodos ambientalmente amigables y eficientes energéticamente, que mejoran los procesos de transferencia de masa en tejidos vegetales y animales.

La extracción asistida por ultrasonido es considerada una alternativa para la extracción de ingredientes activos de las plantas por la alta eficiencia, bajo requerimiento de energía y bajo consumo de disolventes y ha sido usada para la extracción de compuestos bioactivos (Briones-Labarca et al., 2015). La sonicación genera formación y colapso de burbujas microscópicas que liberan grandes cantidades de energía en forma de calor, presión y esfuerzo mecánico (Briones-Labarca et al., 2015); de esta manera se genera microturbulencia e incremento de la difusión (Shirsath et al., 2017).

Esta técnica ha sido empleada para la extracción de curcumina (Shirsath et al., 2017), colágeno (Zou et al., 2017) y lípidos en lino (Metherel et al., 2009), antioxidantes de papaya (Briones-Labarca et al., 2015), flavonoides, entre otros. Las condiciones de proceso difieren en función del compuesto bioactivo, de la materia prima y de los disolventes empleados.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar las condiciones de secado de la cáscara de pitahaya y optimizar el proceso de extracción de polifenoles con el método de sonicación.

Materiales y métodos

Material vegetal

Se trabajó con pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Cactaceae) de tercera calidad en estado de madurez cuatro correspondiente a la clasificación de la norma NTC 3554 comprada en un mercado local de la ciudad de Armenia (Q) con la finalidad de generar una alternativa de valor agregado a este tipo de productos. Se realizó un proceso de limpieza y desinfección de los frutos, mediante un lavado con agua potable e inmersión durante 10 minutos en una solución a 2,50 mL/L de Citrosan (Diken International, México). Los frutos se dejaron secar durante 10 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente se separó manualmente la pulpa de la cáscara de la pitahaya.

Diseño experimental

Se empleó un diseño secuencial de tres fases. En la primera fase se evaluó el efecto del tiempo de secado sobre el contenido de humedad, actividad de agua y pérdida de peso, utilizando un diseño aleatorio unifactorial. El mejor tiempo de secado fue utilizado para la segunda fase, en la cual se empleó un diseño de superficie de respuesta donde se evaluaron

el efecto del tiempo y potencia de sonicación, adicionalmente se tomó un punto de control en sistema de extracción soxhlet (Electrónica y Química, Colombia).

biocomponentes extraídos (polifenoles y medición de la capacidad antioxidante). En la Tabla 1 se presentan las condiciones evaluadas y la codificación empleada.

Finalmente se evaluó el efecto de las condiciones del ultrasonido sobre los

Tabla 1. Diseño experimental y codificación de variables.

Tratamiento	Tiempo (min)	Potencia (%)	Variables codificadas				
			X ₁	X ₂	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₁ X ₂
1	22,50	40	-1	0	1	0	0
2	33,10	60	0	1	0	1	0
3	15	50	-1,414	-1,414	1,999	1,999	1,999
4	22,50	80	1	0	1	0	0
5	15	70	1,414	-1,414	1,999	1,999	-1,999
6	22,50	60	0	0	0	0	0
7	22,50	60	0	0	0	0	0
8	22,50	60	0	0	0	0	0
9	30	70	1,414	1,414	1,999	1,999	1,999
10	22,50	60	0	0	0	0	0
11	22,50	60	0	0	0	0	0
12	30	50	-1,414	1,414	1,999	1,999	-1,999
13	11,90	60	0	-1	0	1	0

Fuente: elaborada por los autores

Proceso de secado de cáscaras de pitahaya

Las cáscaras se cortaron en fracciones de 6 x 6 mm, se colocaron en una bandeja la cual se llenó completamente, de manera que sólo quedara expuesta a la corriente de aire de secado la superficie de las cáscaras. El secado se realizó en una estufa de circulación forzada a una temperatura constante de 60°C (UT6 120, Binder, USA). Se realizó seguimiento de pérdida de peso, contenido de humedad y actividad de agua durante el secado a tiempo 0, 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 210, 270, 300, 360, 420, 450 y 480 minutos. La pérdida de peso se midió con una balanza analítica (Pionner PA 313 – Ohaus Corp, USA). Se calculó la humedad libre total y humedad libre empleando la ecuación 1 y 2 respectivamente

$$X_t = \frac{W_s - W}{W} \quad \text{Ecuación 1. Humedad libre total}$$

$$X = X_t - X^* \quad \text{Ecuación 2. Humedad libre}$$

Donde:

X_t = Humedad libre total (g totales de H₂O/g totales del sólido seco)

W_s = Peso del sólido húmedo (g totales de H₂O + g totales del sólido seco)

W = Peso del sólido seco (g totales del sólido seco)

X = Humedad libre (g de H₂O libre/g de sólido seco)

X* = Humedad de equilibrio (g de sólido seco)

El contenido de humedad se determinó mediante una balanza de humedad (OHAUS Corp., USA) y la actividad de agua por el método AOAC 978.18 (AOAC, 2000) empleando un medidor de actividad de agua fundamentado en el método de punto de rocío (Aqualab Lite 7614AQUALITE – Decagon Devices Inc, USA).

Extracción de compuestos bioactivos con asistencia por ultrasonido

El proceso asistido por ultrasonido se realizó con etanol (Scientific Products) al 96% y una relación muestra/disolvente de 1:1 p/p, a temperatura de 25 °C en un baño de ultrasonido, conocido como sonicación indirecta (Elmasonic P30H, Alemania) a 37 kHz, potencia nominal de 370 W y que van desde 40 a 80% y tiempo de sonicación entre 11,90 y 33,10. Adicionalmente se realizó una extracción con el método Soxhlet con la misma relación muestra/disolvente, esta extracción corresponde al control.

Cuantificación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

La cuantificación de polifenoles totales se realizó siguiendo el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu reportado por Torres (2017) 0,25 mL del reactivo Folin-Ciocalteu (Merck, Alemania) y 3,25 mL de carbonato de sodio al 20% se llevaron a oscuridad por dos horas, luego se registró la absorbancia a 765 nm utilizando un espectrofotometro UV-Vis (Thermoscientific, USA) los resultados se expresaron en mg de ácido galico por 100 gramos de muestra seca. La capacidad antioxidante se determinó con el método espectrofotométrico del catión radical de ABTS (2,2'-azinobis, 3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato) y la metodología descrita por Torres (2017) en la que se produjo un catión radical ABTS•+ que produjo directamente un cromóforo ABTS verde-azul a través de la reacción entre ABTS•+ y persulfato de potasio, que presenta una absorción máxima a 734 nm. El catión radical

ABTS•+ se produjo a partir de una reacción entre una solución 7 mM de ABTS (Merck, Alemania) con persulfato de potasio (2,45 mM). La mezcla se llevó a la oscuridad durante 16 horas, luego se diluyó usando etanol (Emsure® ACS, ISO, Reag. Ph. EUr) hasta lograr una absorbancia de 0,715 + 0,005 a 732 nm. Usando un espectrofotometro UV-Vis (Thermoscientific, USA)

El porcentaje de capacidad antioxidante se calculó con la Ecuación 3.

$$\%A. = \frac{Abs_{ABTS} - Abs_{muestra}}{Abs_{ABTS}} \times 100\%$$

Ecuación 3. Capacidad antioxidante

Donde:

%A.A = Porcentaje de actividad antioxidante

AbsABTS = Absorbancia del reactivo ABTS

Absmuestra = Absorbancia de la muestra

Los resultados de actividad antioxidante se expresaron en Capacidad Antioxidante Equivalente de Trolox (TEAC) a partir de una regresión lineal.

Análisis estadístico

Los ensayos que no fueron del diseño experimental se realizaron por triplicado y los análisis estadísticos se realizaron empleando el software Minitab® 16.1.0.

Se realizó adicionalmente modelación estadística del contenido de polifenoles totales y porcentaje de capacidad antioxidante, con el fin de encontrar una ecuación que represente el comportamiento de estas variables en función del tiempo y potencia de sonicación. El modelo propuesto incluye los efectos independientes lineales y cuadráticos y efecto de interacción:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2$$

Donde:

β_0 = Valor Constante

β_1 = Potencia

β_2 = Tiempo

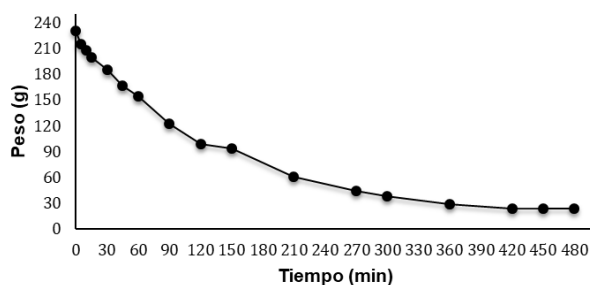
X = variables codificadas

El cálculo de las constantes del modelo se realizó mediante regresión matricial, empleando el software Matlab 2016.

Resultados

En el proceso de secado intervienen dos factores importantes, uno de ellos es la transmisión de calor donde se suministra el calor latente de evaporación necesario y el otro es el movimiento del agua o del vapor de agua a través del producto alimenticio y su separación del mismo, como se observa en la Gráfica 1, se presentan diferencias en el peso en función del tiempo de secado, lo que indica que hay una pérdida de agua en el producto. Se tuvo un peso constante de 23,77 g después de 480 minutos de secado.

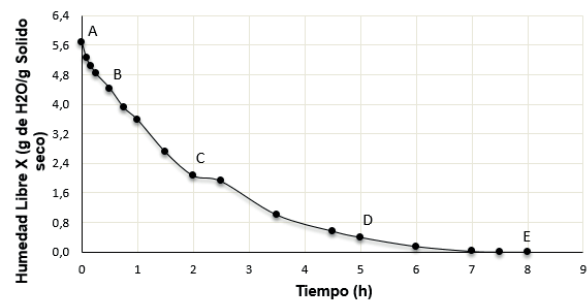
Gráfica 1. Curva de secado de la cáscara de pitahaya amarilla



Fuente: elaborada por los autores

En la Gráfica 2 se puede observar la tendencia de la reducción de la humedad libre en función del tiempo, se observa el mismo comportamiento, que está asociado con la disminución del agua libre por efecto de un proceso de evaporación. En el inicio de la curva existe una reducción de humedad de forma lineal, aproximadamente por las dos primeras horas, es en este intervalo de tiempo donde se desarrolla el periodo de velocidad constante. Luego de esta etapa, se observa disminución de humedad con menor rapidez, es aquí donde se va a desarrollar la mayor parte del secado, es decir el periodo de velocidad decreciente. Al final del proceso de secado, se eliminó toda el agua libre en 7,50 horas.

Gráfica 2. Curva típica de velocidad de secado constante de los datos de humedad libre en función del tiempo



Fuente: elaborada por los autores

Las muestras de cáscara de pitahaya amarilla fresca presentaron un contenido de humedad promedio de $84,16 \pm 0,046$ (Kg agua/Kg material seco) y una a_w promedio de $0,931 \pm 0,002$; mientras que las muestras secas presentaron un contenido de humedad promedio de $8,59\% \pm 0,076$ (Kg agua/Kg material seco) y una a_w promedio de $0,175 \pm 0,04$.

El descenso de ambos componentes se debe a que mediante un proceso de secado el contenido de humedad y actividad de agua disminuyen, lo que permite inhibir el crecimiento de microorganismos. El objetivo

de realizar el proceso de secado es disminuir el contenido de humedad y valores de a_w por debajo de 0,6 para no permitir el crecimiento de bacterias y hongos (Barajas Ortiz, 2011). Por lo tanto, las condiciones de secado evaluadas permiten acondicionar este subproducto para que sea estable en almacenamiento y pueda ser aprovechado para otros usos.

Extracción de compuestos bioactivos asistidos por ultrasonido

En la Tabla 2 se presentan los resultados de polifenoles totales, capacidad antioxidante

(%, TEAC) en función del tiempo y potencia de sonicación. En todos los casos, se encontró un elevado contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante. No se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p>0,05$) pero si diferencias significativas con el control (datos no mostrados).

Tabla 2. Contenido de biocomponentes en los diferentes tratamientos del proceso de extracción con ultrasonido

Tratamientos		% Capacidad Antioxidante	Equivalente Trolox ($\mu\text{M/g}$)	Polifenoles totales (mg/L)
Potencia (%)	Tiempo (minutos)			
40	22,5	89,25	95,94	566,78
60	33,1	97,77	105,01	827,84
50	15	98,58	105,81	876,78
80	22,5	96,96	104,14	808,89
70	15	97,77	105,01	810,47
60	22,5	98,38	105,65	785,21
60	22,5	88,84	95,51	814,15
60	22,5	97,16	104,36	703,63
70	30	93,10	100,04	835,21
60	22,5	94,73	101,77	691,52
60	22,5	96,35	103,50	973,10
50	30	90,87	97,67	822,05
60	11,9	99,59	106,95	813,63

Fuente: elaborada por los autores

El tratamiento que mayor porcentaje de actividad antioxidante presentó fue empleando una extracción de 11,90 minutos y 60% de potencia en el ultrasonido.

La mayor cantidad de polifenoles totales de la cáscara de pitahaya amarilla utilizando el ultrasonido como técnica de extracción se obtuvo utilizando tiempos de 22,50 minutos y potencias de 60% con un valor de 973,10 mg/L.

La ecuación que describe el modelo matemático para el contenido de polifenoles totales y el porcentaje de capacidad antioxidante de la cáscara de pitahaya amarilla en función de las dos variables estudiadas se presenta en la ecuación 4 y 5.

Ecuación 4. Modelo matemático del porcentaje de capacidad antioxidante

$$CA = 95,4107 + 0,9720P - 2,8203 t - 2,8370P^2 + 2,7380t^2 - 0,3802Pt$$

Ecuación 5. Modelo matemático del contenido de polifenoles totales

$$CPT = 7773,7316 + 16,6996P - 2,8203 t - 52,9071P^2 + 79,9929 t^2 - 9,9387 Pt$$

Donde:

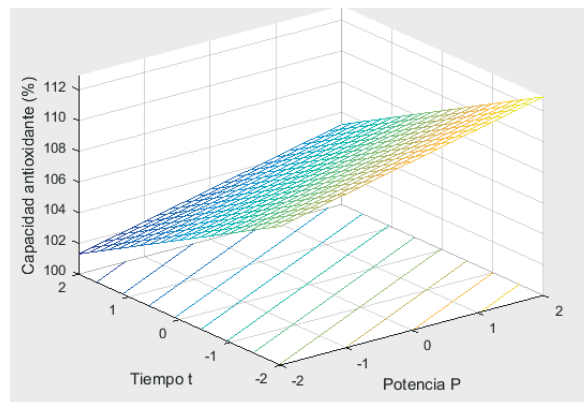
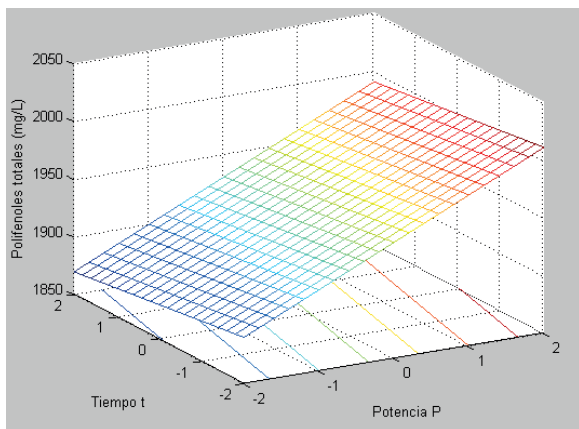
P= Potencia

t= Tiempo

Pt= interacción entre la potencia y el tiempo

En ambos modelos matemáticos se puede observar que los principales efectos lo ejercen el tiempo y la potencia, donde la potencia tiene un efecto creciente y el tiempo un efecto decreciente al momento de realizar la extracción de estos biocomponentes. Esta modelación permite predecir cuál es el comportamiento de estas variables.

Gráfica 3. Superficie de respuesta de polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara de pitahaya amarilla.



Fuente: elaborada por los autores

Los resultados del efecto de la potencia y el tiempo de ultrasonicación sobre el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante se muestran en la gráfica 3, donde se muestra que utilizando potencias altas y tiempos cortos o prolongados se obtiene un mayor contenido de polifenoles totales, mientras que utilizando tiempos potencias altas y tiempos cortos se obtiene un mayor porcentaje de capacidad antioxidante en las muestras de cáscara de pitahaya amarilla.

El incremento del tiempo generó un efecto negativo al momentos de extraer antioxidantes y polifenoles totales, si se disminuye esta variable se obtiene una mayor extracción de éstos. Comportamiento opuesto se encontró con la potencia, sin embargo, las diferencias no son estadísticamente significativas ($p > 0,05$), es decir que es indiferente si se utiliza un tiempo menor o mayor de extracción, por lo tanto, es recomendable utilizar un tiempo menor debido a que se disminuyen costos y tiempo de operación.

Los resultados concuerdan con la literatura, donde el tiempo puede ser una variable que puede afectar la extracción de componentes bioactivos, pues una elevada exposición a la ultrasonicación puede influir en la calidad y el rendimiento de extracción del compuesto de interés, debido a que al dejar las muestras sonicando, el fenómeno de cavitación puede

incrementar la temperatura y en consecuencia permitirá la degradación del material vegetal (Rodríguez Riera, 2014). Cuastumal Canacuan, Valencia Murillo, and Ordóñez Santos (2016) evaluaron el efecto de diferentes métodos de calentamiento sobre la estabilidad de compuestos bioactivos y reportan que estos se ven afectados en diferente medida, dependiendo del método de calentamiento.

El tiempo estimado para la extracción dependerá del tipo, la estructura de la pared celular del material vegetal, del grado de penetración del disolvente en el material vegetal y de la resistencia de la masa de los constituyentes solubles a ser transferidos por difusión (Rodríguez Riera, 2014).

El proceso de asistencia con ultrasonido generó un incremento en los polifenoles extraídos, pasando de 509,94 mg/L de ácido gálico en la extracción soxhlet a 970 mg/mL de ácido gálico con sonicación indirecta. Asociado a mayor cantidad de compuestos fenólicos, se obtuvo un incremento en la cantidad de compuestos fenólicos en un 77%. Los mejores resultados se obtuvieron a partir de la extracción por ultrasonido, lo cual pudo presentarse debido a que la extracción ocurre a una menor temperatura y tiempo de reacción, respecto a los métodos tradicionales, con beneficios en la pureza y los rendimientos del compuesto extraído (Rodríguez Riera, 2014).

Adicional al incremento en la extracción, se generó una disminución del 99,17% del tiempo de extracción en comparación con el control, lo que conlleva a reducir costos, minimizar el impacto ambiental y aumentar rendimientos.

Discusión

El secado es uno de los más antiguos y comunes métodos usados para la preservación

de alimentos (Hashim, Daniel, & Rahaman, 2014) y el secado convectivo con aire es el método más empleado para el secado de materiales agrícolas (Motevali, Minaei, Banakar, Ghobadian, & Darvishi, 2014; Nuñez Vega, Sturm, & Hofacker, 2016), en este proceso el aire calienta la superficie del producto, produciendo la evaporación del agua y un incremento en la temperatura, como consecuencia dentro del alimento se genera una conducción de calor y difusión del agua. Debido a la baja conductividad térmica de los alimentos (Motevali et al., 2014), el uso del aire caliente para remover el agua es costoso, pero es una de las tecnologías más empleadas en la industria.

La deshidratación de esta materia prima, se genera por desorción multimolecular y condensación capilar (Quirumbay Suárez, 2009). En el cálculo de la velocidad de secado (datos no presentados) no se encontró un periodo de velocidad constante, esto pudo presentarse debido a que los materiales coloidales y fibrosos como vegetales y otros productos alimenticios se contraen, cambiando su estructura y generando una deformación en el sólido.

Según Quirumbay Suárez (2009), existen diferentes factores que afectan la velocidad de secado, entre esas se encuentra la naturaleza del material (composición física y química, contenido de humedad, etc.), tamaño, forma y arreglo de las muestras, temperatura de bulbo húmedo, humedad relativa, presión parcial de vapor de agua en el aire, temperatura del aire y la velocidad del aire, por lo tanto las cáscaras de pitahaya amarilla sufrieron una deformación, lo que generó que su área no fuera la misma en todas las mediciones afectando la velocidad de secado.

Respecto a la extracción de compuestos fenólicos, los resultados concuerdan con Khan, Abert-Vian, Fabiano-Tixier, Dangles, and Chemat (2010) donde el máximo contenido de fenoles totales se alcanzó con 15 minutos

de extracción en el ultrasonido mientras que por Soxhlet fue con 60 minutos. En otro estudio el rendimiento de la extracción con ultrasonido se incrementa de 3 a 5 veces con diferentes disolventes (Sivakumar V, 2007). Según Robles-Ozuna (2012) el incremento en la extracción de compuestos por medio de la técnica de ultrasonido se atribuye a la presión de las ondas propagadas que resultan en el fenómeno de cavitación; la elevada fuerza de cizalla incrementa la transferencia de masas de los extractantes debido a la implosión de las burbujas generadas que provocan macroturbulencia y la colisión de interpartículas a alta velocidad y a la perturbación en los microporos de las partículas de la biomasa que acelera difusión por remolino y la interna. La capacidad antioxidante expresada como Trolox Equivalente para la muestras obtenidas luego del tratamiento de ultrasonido variaron entre 94 $\mu\text{M/g}$ y 106 $\mu\text{M/g}$ superior a lo reportado por Contreras-Calderón, Calderón-Jaimes, Guerra-Hernández, and García-Villanova (2011), quienes evaluaron la capacidad antioxidante de la cáscara de 14 frutas y encontraron menor capacidad antioxidante en 12 de los productos evaluados, los únicos productos que superan el valor de la cáscara de pitahaya son cáscara de algarrobo y sapote.

Estos resultados son superiores a los reportados por Beltrán Orozco (2009) en donde el contenido fenólico en pitahaya roja fue de $10,25 \text{ mg/L} \pm 0,30$ y en pitahaya amarilla de $17,04 \text{ mg/L} \pm 0,30$, demostrando así mejores resultados en la cáscara de pitahaya amarilla. Esta variación puede ser generada por efecto de la asistencia por ultrasonido demostrando que este método ejerce un efecto al momento de obtener este biocomponente, además evidenciando que a partir de subproductos que provienen de la etapa de postcosecha o transformación en la industria de alimentos se puede generar un aprovechamiento (De Mello et al., 2014).

Estos resultados demuestran que existe un alto potencial para la utilización de residuos agroindustriales como lo reporta Daza Ramírez (2015) en su estudio sobre la evaluación de la capacidad antioxidante de frutas cultivadas en el departamento del Tolima y sus residuos agroindustriales. En un estudio realizado por Tovar del Río (2013) sobre la determinación de la actividad antioxidante por DPPH y ABTS de 30 plantas recolectadas en la ecoregión cafetera se observa un porcentaje máximo de capacidad antioxidante del 39%, mientras que en los extractos de la cáscara de pitahaya, el porcentaje de capacidad antioxidante es del 99% lo cual refleja una gran alternativa de valor agregado para este subproducto en la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética, entre otras.

Conclusión

La extracción asistida por ultrasonido de biocomponentes en cáscara de pitahaya amarilla es una alternativa de aprovechamiento a un subproducto, éstas, pueden ser sometidas a un proceso de secado con condiciones controladas de temperatura con la finalidad de disminuir las reacciones bioquímicas y microbiológicas de deterioro que pueden afectar los biocomponentes. Dentro de esta investigación se encontró que las cáscaras son una fuente potencial de compuestos bioactivos encontrando concentraciones de polifenoles de 973,10 mg/L que pueden ser extraídos por ultrasonido a 222 W de potencia nominal, 35kHz de frecuencia y 22 minutos y con una capacidad antioxidante superior al 90%, generando una disminución significativa en el tiempo de proceso en comparación con técnicas tradicionales. Es así como en el marco de las biorrefinerías y economía circular la extracción de biocomponentes en cáscaras de pitahaya puede ser una alternativa de alto valor agregado, sin embargo, es necesario evaluar procesos de

concentración y estabilización para que sean usados como materia prima en industrias como la farmacéutica, cosmética o nutracéutica.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a Colciencias y a la Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia por la financiación de este proyecto.

Referencias

- AOAC. (2000). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists 932.12 Fruits and fruit products. Solids (Soluble) in Fruits and Fruit Product: Refractometer Method (Vol. 932.12).
- Ayala Aponte, Alfredo A, Giraldo Cuartas, Carlos Julián, & Serna Cock, Liliana. (2010). Cinéticas de deshidratación osmótica de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Interciencia*, 35(7), 539-544.
- Barajas Ortiz, Johanna Patricia; Martínez, Telmo; Rodríguez Sandoval, Eduardo. (2011). Evaluación del efecto de la temperatura en el secado de polen apícola procedente de dos zonas de Cundinamarca. *Dyna*, 165, 48-57.
- Beltrán Orozco, M. Carmen; Oliva Coba, Tzatzil G; Gallardo Velázquez, Tzayhri; Osorio Revilla, Guillermo. (2009). Ascorbic acid, phenolic content, and antioxidant capacity of red, cherry, yellow and white types of pitaya cactus fruit (*Stenocereus stellatus* Riccobono). *Agrociencia*, 43, 153-162.
- Boussetta, Nadia, & Vorobiev, Eugène. (2014). Extraction of valuable biocompounds assisted by high voltage electrical discharges: A review. *Comptes Rendus Chimie*, 17(3), 197-203. doi: 10.1016/j.crci.2013.11.011
- Briones-Labarca, Vilbett, Plaza-Morales, Melissa, Giovagnoli-Vicuña, Claudia, & Jamett, Fabiola. (2015). High hydrostatic pressure and ultrasound extractions of antioxidant compounds, sulforaphane and fatty acids from Chilean papaya (*Vasconcellea pubescens*) seeds: Effects of extraction conditions and methods. *LWT—Food Science and Technology*, 60(1), 525-534. doi: 10.1016/j.lwt.2014.07.057
- Contreras-Calderón, José, Calderón-Jaimes, Lilia, Guerra-Hernández, Eduardo, & García-Villanova, Belén. (2011). Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Research International*, 44(7), 2047-2053. doi: 10.1016/j.foodres.2010.11.003
- Cuastumal Canacuan, Hermes Gilberto, Valencia Murillo, Brillitte Lizeth, & Ordóñez Santos, Luis Eduardo. (2016). Efecto de los tratamientos térmicos en la concentración e vitamina C y color superficial en tres frutas tropicales. *Revista Lasallista de Investigación*, 13(1), 85-93.
- Daza Ramírez, Luis Daniel; Murillo Pereall, Elizabeth; Pardo, Daniel Andrés. (2015). Evaluación de la capacidad antioxidante de frutas cultivadas en el departamento del Tolima y sus residuos agroindustriales. *Revista Tumbaga*, 2. N 10, 3-14.
- De Mello, Fernanda Robert, Bernardo, Cláudia, Dias, Caroline Odebrecht, Bosmuler Züge, Luana Carolina, Meira Silveira, Joana Léa, Amante, Edna Regina, & Bileski Candido, Lys Mary. (2014). Evaluation of the chemical characteristics and rheological behavior of

- pitaya (*Hylocereus undatus*) peel. *Fruits*, 69(5), 381-390. doi: 10.1051/fruits/2014028
- FAO. (2010). Medium-term prospects for agricultural Commodities FAO (Ed.) Tropical fruits doi:<http://www.fao.org/docrep/006/y5143e/y5143e00.htm>–Contents
- Hashim, Norhashila, Daniel, Onwude, & Rahaman, Ezdalina. (2014). A Preliminary Study: Kinetic Model of Drying Process of Pumpkins (*Cucurbita Moschata*) in a Convective Hot Air Dryer. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 345-352. doi: 10.1016/j.aaspro.2014.11.048
- Khan, Muhammad Kamran, Abert-Vian, Maryline, Fabiano-Tixier, Anne-Sylvie, Dangles, Olivier, & Chemat, Farid. (2010). Ultrasound-assisted extraction of polyphenols (flavanone glycosides) from orange (*Citrus sinensis* L.) peel. *Food Chemistry*, 119(2), 851-858. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.08.046
- Ma, Chen, Li, Jianguo, & Zhang, Qun. (2016). Behavior of *Salmonella* spp. on fresh-cut tropical fruits. *Food Microbiology*, 54, 133-141. doi: 10.1016/j.fm.2015.10.006
- Meregalli, M. M., Puton, B. M. S., Camera, F. D., Amaral, A. U., Zeni, J., Cansian, R. L., Mignoni, M.L., & Backes, G. T. (2020). Conventional and ultrasound-assisted methods for extraction of bioactive compounds from red arañá peel (*Psidium cattleianum* Sabine). *Arabian Journal of Chemistry*, 13(6), 5800–5809. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.04.017>
- Motevali, Ali, Minaei, Saeid, Banakar, Ahmad, Ghobadian, Barat, & Darvishi, Hosain. (2014). Energy analyses and drying kinetics of chamomile leaves in microwave-convective dryer. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. doi: 10.1016/j.jssas.2014.11.003
- Mozaffarian, D. (2016). Dietary and Policy Priorities for Cardiovascular Disease, Diabetes, and Obesity: A Comprehensive Review. *Circulation*, 133(2), 187-225. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.018585
- Nuñez Vega, A. M., Sturm, B., & Hofacker, W. (2016). Simulation of the convective drying process with automatic control of surface temperature. *Journal of Food Engineering*, 170, 16-23. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2015.08.033
- Quirumbay Suárez, Richar Davi. (2009). Estudio comparativo de la incidencia de la forma geométrica del alimento en la velocidad de secado aplicado al melón Cantaloupe. *Escuela superior politécnica del litoral*.
- Robles-Ozuna, L; Ochoa-Martínez, L. (2012). Ultrasonido y sus aplicaciones en el procesamiento de alimentos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 13, 109–122.
- Rodríguez Riera, Zaluá; Robaina Mesa, Malvis; Jáuregui Haza, Ulises; Blanco González Alejandro; Rodríguez Chanfrau, Jorge E. (2014). Empleo de la radiación ultrasónica para la extracción de compuestos bioactivos provenientes de fuentes naturales. Estado actual y perspectivas *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 45, 139-147.
- Serna Cock, Liliana, Torres Valenzuela, Laura Sofia, & Ayala Aponte, Alfredo. (2013). Physical, chemical and sensory changes of refrigerated yellow pitahaya treated preharvest with 1-MCP. *Dyna*, 80(178), 11-20.
- Shirsath, S. R., Sable, S. S., Gaikwad, S. G.,

- Sonawane, S. H., Saini, D. R., & Gogate, P. R. (2017). Intensification of extraction of curcumin from *Curcuma amada* using ultrasound assisted approach: Effect of different operating parameters. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38, 437-445. doi: 10.1016/j.ultsonch.2017.03.040
- Sivakumar V, Verna RV, Rao PG, Swaminathan G. (2007). Studies on the use of power ultrasound in solid–liquid myrobalan extraction process. *Journal Clean Production*, 15, 1813-1818. doi: 10.1016/j.jclepro.2006.06.006
- Torres Grisales, Yennifer, Melo Sabogal, Diana Victoria, Torres-Valenzuela, Laura Sofía, Serna-Jiménez, Johanna Andrea, & Sanín Villarreal, Alejandra. (2017). Evaluation of bioactive compounds with functional interest from yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 70(3), 8311-8318. doi: 10.15446/rfna.v70n3.66330
- Torres Valenzuela, Laura Sofia, Ayala-Aponte, Alfredo Adolfo, & Serna, Liliana. (2016). Viscoelastic behavior of yellow pitahaya treated with 1-MCP. *Dyna*, 83(196), 119-123. doi: 10.15446/dyna.v83n196.50402
- Tovar del Rio, Jennifer (2013). Determinación de la actividad antioxidante por DPPH y ABTS de 30 plantas recolectadas en la ecoregión cafetera (Pereira, Trans.).
- Valadez-Carmona, Lourdes, Ortiz-Moreno, Alicia, Ceballos-Reyes, Guillermo, Mendiola, Jose A., & Ibáñez, Elena. (2018). Valorization of cacao pod husk through supercritical fluid extraction of phenolic compounds. *The Journal of Supercritical Fluids*, 131, 99-105. doi: 10.1016/j.supflu.2017.09.011
- Zou, Y., Wang, L., Cai, P., Li, P., Zhang, M., Sun, Z., Sun, C., Xu, W. and Wang, D. (2017). Effect of ultrasound assisted extraction on the physicochemical and functional properties of collagen from soft-shelled turtle calipash. *Int J Biol Macromol*, 105(Pt 3), 1602-1610. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.03.011