

Optimización en la extracción de antioxidantes de la cáscara de tuna morada (*Opuntia ficus – indica*) de Carhuaz, 2022

Optimization in the extraction of antioxidants from the shell of purple prickly pear (*Opuntia ficus – indica*) from carhuaz, 2022

Recibido: 05 de julio de 2023 | Revisado: 14 de octubre de 2023 | Aceptado: 03 de diciembre de 2023

Rafael Jaime Castro Ramírez¹
Elza Berta Aguirre Vargas²

Abstract

The aim was to determine optimal parameters of temperature, time and pH in the process of extracting antioxidants from purple prickly pear peel from Carhuaz. The methods used were: washed and disinfected with 100 ppm sodium hypochlorite, peeled from the epidermis with a household peeler, cut into strips of two centimeters and refrigerated at 4° C. To extract the antioxidants, ultrasound baths were used (Brand Branson model CPX 5800H-6) and temperatures 30, 45 and 60°C, sonication time 30, 45 and 60 min and pH 4.0 were used; 5.5 and 7.0. A Box Benkhem response surface design was used with 15 treatments, using Statgraphics Centurion version 18 and Design Expert version 7 statistical software. Morphological and proximal chemical analysis, determination of betalains, total polyphenols and antioxidant activity were performed. The results showed that temperature significantly influences only the betalain content. pH is the factor with the highest incidence and significance ($\alpha=5\%$) for the 3 variables studied: betalains, total polyphenols and antioxidant activity. Mathematical models for the optimization of these variables were obtained individually and simultaneously. The optimal treatment with the greatest desirability was at 33.38 °C, 60 min and 4.5 pH, obtaining 37.7793 mg/100 g of betalains, 23.2919 GAE/100 g of total polyphenols and 163.793 μ Mol ET/100 g of antioxidant activity. It is recommended to study other components of betalains such as: betanin, vulgaxanthin and betanidin and compare between other varieties of prickly pear.

Keywords: Ultrasound, betalain extraction, total polyphenols, antioxidant activity.

Resumen

El objetivo fue determinar parámetros óptimos de temperatura, tiempo y pH en el proceso de extracción de antioxidantes de cáscara de tuna morada de Carhuaz. Los métodos utilizados fueron: lavado y desinfectado con hipoclorito de sodio 100 ppm, pelado de la epidermis con un pelador doméstico, se cortó en tiras de dos centímetros y se refrigeró a 4° C. Para extraer los antioxidantes se utilizó baños de ultrasonido (Marca Branson modelo CPX 5800H-6) y se empleó temperaturas 30, 45 y 60°C, tiempo de sonicación 30, 45 y 60 min y pH 4,0; 5,5 y 7,0. Se utilizó un diseño de superficie de respuesta Box Benkhem con 15 tratamientos, haciendo uso del software estadístico Statgraphics Centurion versión 18 y Desing Expert versión 7. Se realizó el análisis morfológico, químico proximal, determinación de betalainas, polifenoles totales y actividad antioxidante. Los resultados mostraron que la temperatura influye significativamente sólo en el contenido de betalainas. El pH es el factor de mayor incidencia y significancia ($\alpha=5\%$) para las 3 variables estudiadas: betalainas, polifenoles totales y actividad antioxidante. Se obtuvieron los modelos matemáticos de optimización de dichas variables de manera individual y simultánea. El tratamiento óptimo de mayor deseabilidad fue a 33,38 °C, 60 min y 4,5 de pH, obteniéndose 37,7793 mg/100 g de betalainas, 23,2919 GAE/100 g de polifenoles totales y 163,793 μ Mol ET/100 g de actividad antioxidante. Se recomienda el estudio de otros componentes de la betalainas como: betanina, vulgaxantina y betanidina y comparar entre las otras variedades de tuna.

Palabras Clave: Ultrasonido, extracción de betalaina, polifenoles totales, actividad antioxidante.

Este artículo es de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International



¹ Escuela Universitaria de Posgrado – UNFV. Lima, Perú
Correo: rcastror@unasam.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-0657-5724>

² Universidad Nacional del Santa – UNS. Áncash, Perú
Correo: eaguirre@uns.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0003-1659-9874>

<https://doi.org/10.24039/rcvp2023221701>

Introducción

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO, 2022] estima que anualmente se desecha al medio ambiente 1 300 toneladas métricas de desperdicios alimentarios ocasionando aproximadamente 1 600 millones de euros en costos ambientales y sociales. Los residuos alimentarios son fuentes de compuestos bioactivos de gran interés para la industria alimentaria, farmacológica y otros; pero también generan controversias, dado que éstas sustancias contaminan el medio ambiente; por lo que la extracción debe realizarse con el menor costo económico y medio ambiental posible (Arciniegas, 2020).

Schieber, Routray y Orsat (2017) establecen en su investigación que los residuos vegetales son una fuente potencial de biopolímeros y biocombustibles; nutracéuticos que incluyen a las fibras dietéticas y compuestos fenólicos. En la beterraga y otros frutos sobresalen nuevos productos sustitutos de los colorantes sintéticos con gran actividad antioxidante frente a radicales libres e inhibidor del crecimiento de células cancerígenas.

Rosillo (2016) en su investigación cuantifica los principios activos presentes en la cáscara de tuna (roja) procedente de la Región Lima - Huarochirí, utilizando métodos de la official methods of análisis (AOAC), obtuvo: 0,99 de cenizas; 0,22 de fibra cruda; 2,40 de azúcares reductores. Betalainas (378 mg/L de betaxantinas y 637 mg/L de betacianinas); polifenoles totales, por el método de Folin-Ciocalteu. Para la capacidad antioxidante utilizó el método del 2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo (DPPH) obteniendo 0,901 µg/mL expresados en Trolox. Obtuvo un colorante natural color rojo a pH entre 5-6, de buena estabilidad en alimentos ácidos.

Los métodos tradicionales de extracción de los componentes bioactivos a partir de la matriz de los recursos vegetales, utilizan varios solventes, aplican tratamientos térmicos y agitación (Naranjo, 2016). Según Hernández et al. (2023) estos métodos convencionales se refieren a: extracción por solvente orgánico, hidro destilación, arrastre a vapor, maceración, lixiviación, extracción por Soxhlet. Y los métodos no convencionales o también llamados emergentes o green processing; incluyen extracción asistida por ultrasonido, fluidos super críticos y microondas.

La extracción a través del equipo Soxhlet tienen el inconveniente de tener larga duración y representan un peligro por su alto nivel de toxicidad y descomposición de los analitos (Valencia, 2018). O también se ven afectados los componentes bioactivos al someterlos a severos tratamientos térmicos en tiempos prolongados (Esparza et al., 2016; Flores et al., 2019; Sepúlveda y Zapata, 2019). A fin de superar estos inconvenientes hay una tendencia en sustituir estos métodos convencionales por los novedosos o green processing, por sus beneficios económicos, nutricionales y medio ambientales (Ummat et al., 2021). Adicionalmente estos métodos green processing han permitido obtener mayores rendimientos de dichos componentes bioactivos, mayor capacidad antioxidante, reducción de los disolventes contaminantes, reducción del tiempo – temperatura en el proceso de extracción y por ende ahorro de energía (Díaz et al., 2021).

La extracción por ultrasonido emplea las ondas sónicas de 20 a 100 Hertz de frecuencia en un medio líquido generando ciclos de compresión y rarefacción generando presiones negativas cuyo efecto son las cavidades o burbujeo, permitiendo de esta manera liberar los componentes de interés. Este método no es caro, es limpio, el tiempo de extracción es corto y de buen rendimiento (Hernández et al., 2023).

Ponce, Taype y Huamantínco (2020), estudiaron el efecto del ultrasonido conjuntamente con el tamaño de partícula, mejoran el proceso de extracción de la oleorresina. Lograron demostrar efectos en las propiedades físico químicas y microbiológicas la aplicación altas temperaturas y el tiempo de extracción prolongados (Perez y Perez, 2019).

Por consiguiente, se requiere formular investigaciones que ofrezcan una alternativa saludable al medio ambiente “Green Processing” que logren extraer componentes bioactivos o antioxidantes por medio del ultrasonido, sin desnaturalizarlas y aprovechar su máximo potencial. Ello implica una optimización de las variables: temperatura y tiempo de sonicación y el nivel de pH; que tienen mayor impacto sobre el rendimiento y la capacidad antioxidante de los componentes bioactivos sin perder de vista la perspectiva económica y ambiental.

Ante la situación problemática anteriormente planteada, la investigación empleó como medio de extracción el ultrasonido con el objetivo de determinar los parámetros óptimos de temperatura, tiempo y pH en la extracción de los antioxidantes de la cáscara de la tuna morada de Carhuaz, 2022.

Materiales y métodos

La tuna (*Opuntia ficus indica L. mil.*) utilizada fue de la variedad morada del Callejón de Huaylas (Carhuaz), requiriéndose 10 kg para todo el estudio. El diseño consistió en analizar morfológicamente la fruta, para lo cual las frutas fueron trasladadas al laboratorio a 4 °C y acondicionadas previo al proceso de extracción por ultrasonido. Se procedió al análisis químico proximal de las cáscaras. Se determinaron betalainas mediante el método descrito por García et al. (2010) mencionado por Castro (2014), se requirió de un espectrofotómetro Sinergy H1 con lector microplaca. Para el caso de las *betacianinas* se utilizó el espectrofotómetro a una longitud de onda de 538 nm y para las *betaxantinas* 476 nm. Las betalainas se calcularon en base a la siguiente fórmula: expresada en g de pigmento (*betacianina* o *betaxantina*) por cada 100 g de muestra en base húmeda:

$$\frac{\text{mg pigmento}}{100 \text{ g mta bh}} = \frac{A \cdot FD \cdot PM}{E}$$

Para determinar las betalainas totales se sumaron las betacianinas y las betaxantinas. Para los polifenoles totales se aplicó el método Folin Ciocalteu descrito por García (2015) a pH básico, la coloración azul es identificada por el espectrofotómetro a 739 nm. Se utilizó como solución patrón el ácido gálico, carbonato de sodio al 20% para la homogenización baño ultrasónico por 5 minutos y los reactivos Folin Ciocalteu (1N y 2N) diferentes concentraciones de ácido gálico para la curva del calibrado. Con el uso de pocillos de la microplaca y se procedió a la lectura en el espectrofotómetro a 739 nm en un ambiente oscuro.

Para medir la capacidad antioxidante se utilizó el método del DPPH. Se determinó por el descenso en la absorbancia a 515 nm de una solución metanólica de radical difenil 1 picirilhidrazil (DPPH) en presencia de las distintas muestras en donde la solución del radical DPPH es la absorbancia inicial: El DPPH con el radical oxidado presenta un color inicial morado que a medida que se va reduciendo se torna amarillo. Esta diferencia de color permite cuantificar el porcentaje de DPPH reducido mediante la siguiente fórmula:

$$\%DPPH = \frac{A_o - A_m}{A_o} \cdot 100$$

Para encontrar la combinación óptima de factores de variación que permitió un mayor rendimiento y disponibilidad de componentes fotoquímicos se recurrió al modelo Box Benkhem a través de modelos matemáticos y superficies de respuesta.

El diseño experimental fue definido mediante el software Statphgrafic Centurión versión 18 arrojando 15 tratamientos con 3 niveles de temperatura en el sonicator: 30–45–60 °C, tiempo de sonicación: 30–45–60 min y nivel de pH : 4,0–5,5–7,0; para la obtención de los valores de betalainas, polifenoles totales y actividad antioxidante, con la finalidad de lograr la combinación óptima de los factores analizados.

A través del Design Expert se analizaron el comportamiento de las variables: temperatura, tiempo y pH frente a las variables respuestas. Se evaluó mediante análisis de varianza y diagrama de Pareto para determinar la significancia y grado de correlación entre las variables.

Se aplicó la función de deseabilidad para optimizar las variables estudiadas de manera simultánea, cuyos valores cercanos a 1 sirvieron de base para determinar la temperatura, tiempo y pH óptimos.

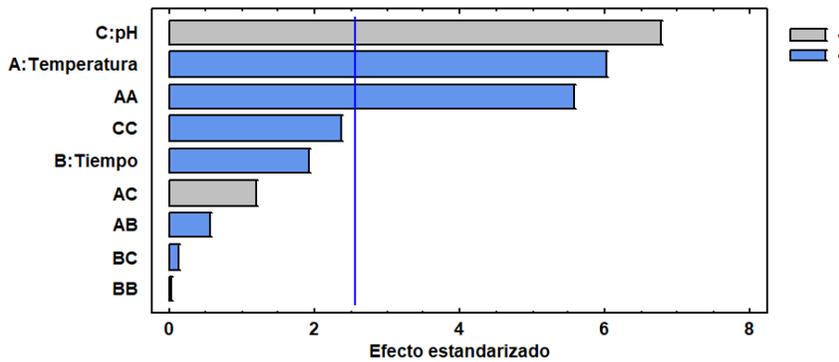
Resultados

Para el caso de las betalainas totales (BT), según el análisis ANOVA (Tabla 1) y diagrama de Pareto (Figura 1) indica que el pH, la temperatura, la expresión cuadrática de esta última tienen un efecto estandarizado significativo (*) por tener un p-valor < 5%, no siendo significativo el tiempo y las interacciones. La correlación es positiva con la temperatura y negativa para el pH. Según el estadístico R² indica que el modelo explica 96,09% de la variabilidad en betalaina. El estadístico R² ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 89,06%.

Tabla 1
Análisis de varianza para las betalainas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	P-Valor
A: Temperatura	435,413	1	435,413	36,43	0,0018*
B: Tiempo	43,9313	1	43,9313	3,68	0,1133
C: pH	548,684	1	548,684	45,91	0,0011*
AA	370,978	1	370,978	31,04	0,0026*
AB	3,6355	1	3,6355	0,30	0,6050
AC	17,3643	1	17,3643	1,45	0,2820
BB	0,0036763	1	0,0036763	0,00	0,9867
BC	0,182671	1	0,182671	0,02	0,9064
CC	67,0893	1	67,0893	5,61	0,0640
Error total	59,7593	5	11,9519		
Total (corr.)	1528,88	14			
R² = 96,09 %		R² (ajustada por g.l.) = 89,06%		* significativo	

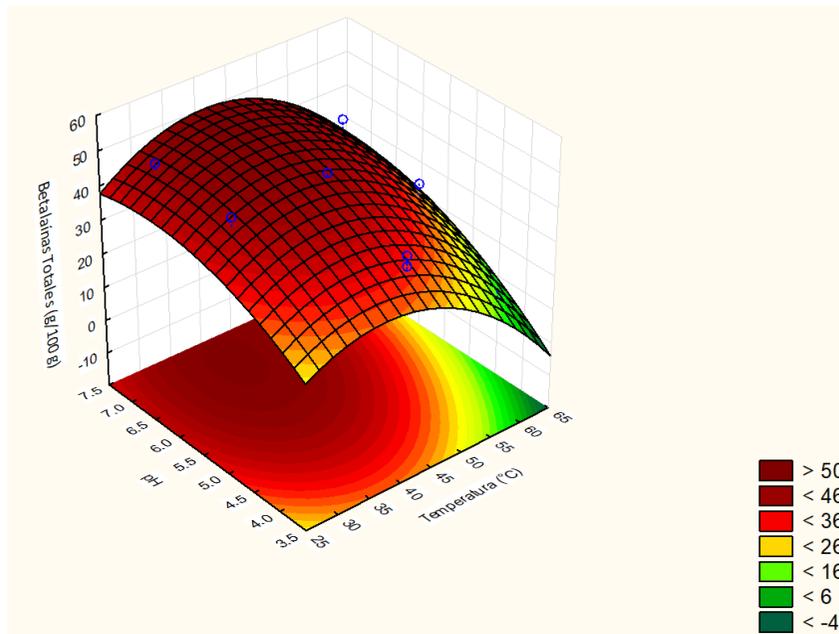
Figura 1
Análisis de varianza para las betalainas



La Figura 2 muestra la superficie de respuesta con respecto al pH y temperaturas, encontrándose los máximos valores (mayores a 50 mg betalainas /g) en las

regiones de rojo – marrón a pH cercanos a la neutralidad dentro de un rango de temperaturas 40 a 45 °C.

Figura 2
Superficie de Respuesta de betalainas. 3 factores. pH – T°



Se determinaron los coeficientes de regresión para el siguiente modelo matemático:

El modelo matemático para BT, es una ecuación de regresión ajustada a los datos:

$$BT = -91,10200 + 3,19899 T^{\circ} + 0,09930 t + 22,621 pH - 0,04455 T^{\circ 2} - 0,00424 T^{\circ} \cdot t + 0,09260 T^{\circ} pH - 0,00014 t^2 - 0,00950 t \cdot pH - 1,8945 pH^2$$

Siendo

- T°: temperatura
- t: tiempo
- pH: potencial de hidrógeno.

El valor óptimo de las betalainas totales fue de 52,9473 mg/100 g, que se obtuvo a una temperatura de 41,6°C, a un tiempo de 30 min. y a un pH de 6,9.

Para el caso de los polifenoles totales (PT), la curva de calibración con un R² de 0,99 (Figura 3) se asemeja a una función lineal y = 0,0464 + 0,036x.

Figura 3

Curva de calibración para polifenoles totales

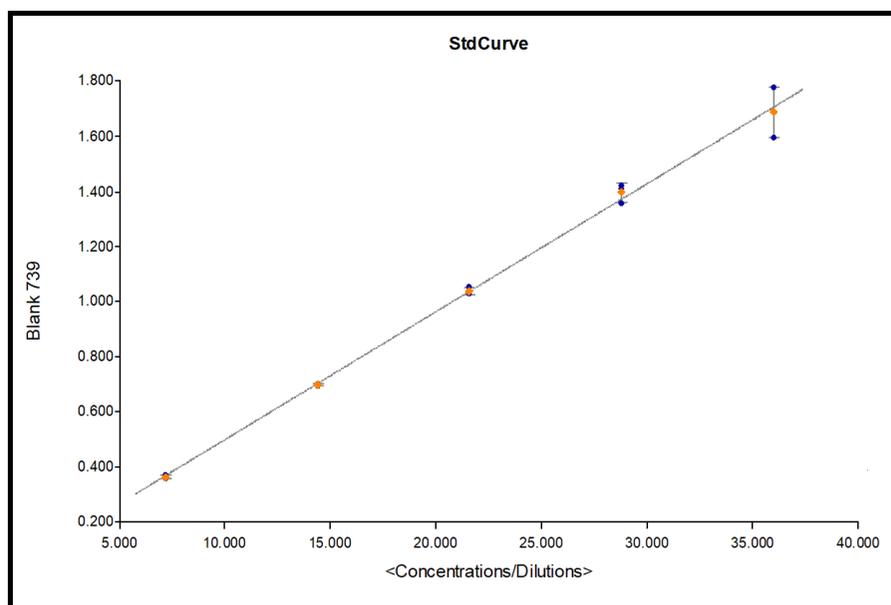


Tabla 2

Análisis de Varianza para Polifenoles Totales

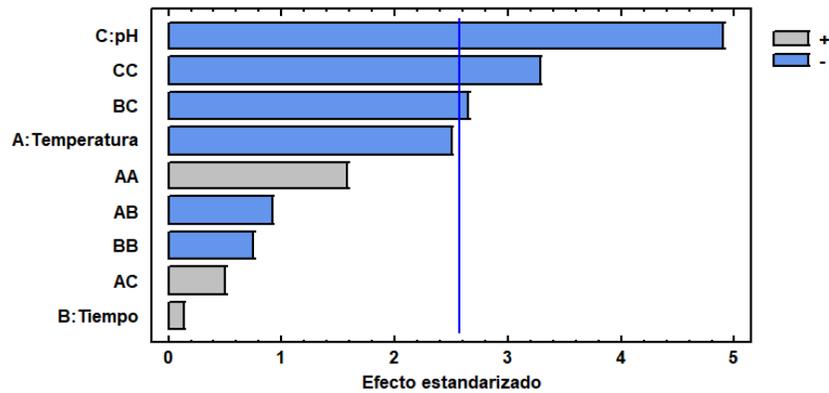
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Temperatura	6,8158	1	6,8158	6,29	0,0540
B: Tiempo	0,0203	1	0,0200	0,02	0,8972
C: pH	26,0877	1	26,0877	24,07	0,0044*
AA	2,6973	1	2,6973	2,49	0,1755
AB	0,9072	1	0,9072	0,84	0,4022
AC	0,2792	1	0,2792	0,26	0,6334
BB	0,6094	1	0,6094	0,56	0,4871
BC	7,6397	1	7,6397	7,05	0,0451*
CC	11,6444	1	11,6444	10,75	0,0220*
Error total	5,41834	5	1,0837		
Total (corr.)	62,8951	14			

R² = 91,39%; R² ajustada = 75,88% * significativo

La Tabla 2 refleja el ANOVA para los PT. Muestra que el factor pH, interacción BC y la expresión cuadrática CC resultaron significativos por tener un p-valor < 5%. El estadístico R² ajustado, que es más

adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, fue de 75,88%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 1,041.

Figura 4
Diagrama de Pareto estandarizada para Polifenoles Totales



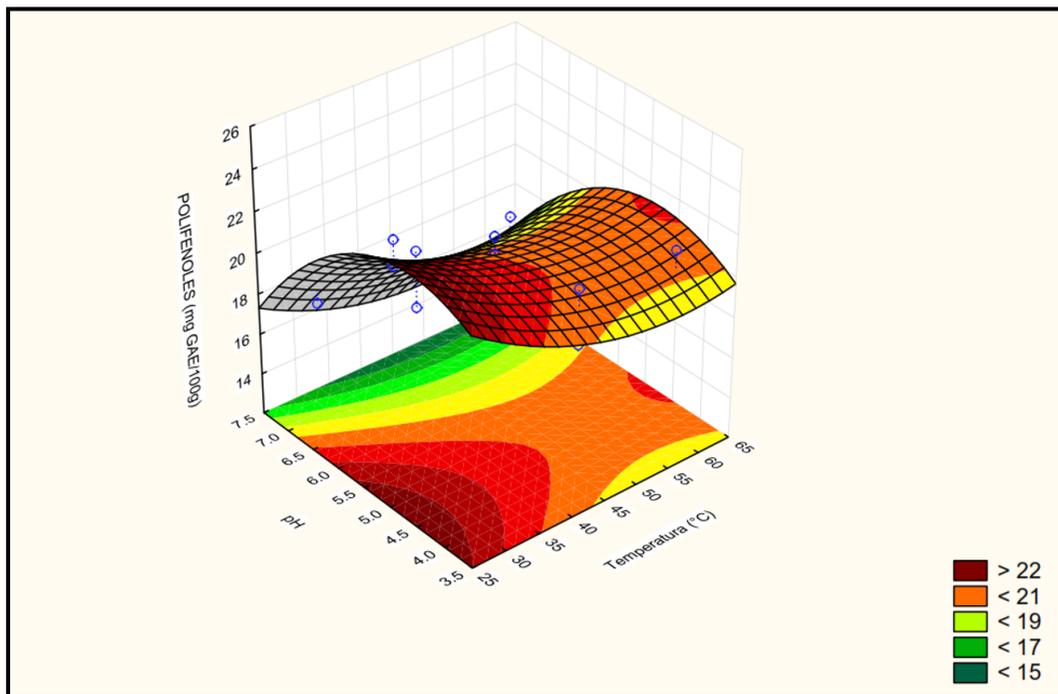
La Figura 4 nos muestra una correlación negativa con el pH y su expresión cuadrática con los PT.

El valor óptimo de los polifenoles fue de 24,15 mg GAE/100 g, que se obtuvo a una Temperatura de 30 °C, a un tiempo de 60 minutos y a un pH de 4,0.

Se determinaron los coeficientes de regresión para el siguiente modelo matemático:

$$PT = -6,60316 - 0,37275 T^{\circ} + 0,59891 t + 9,71379 \text{ pH} + 0,00380 T^{\circ 2} - 0,00212 T^{\circ} \cdot t + 0,01174 T^{\circ} \cdot \text{pH} - 0,00181 t^2 - 0,06142 t \cdot \text{pH} - 0,78927 \text{ pH}^2$$

Figura 5
Superficie de respuesta. Polifenoles Totales (mg GAE/100 g) pH - T°



La Figura 5 presenta la superficie de respuesta de los polifenoles totales, siendo la región de pH de 4,5 – 5,0 a una temperatura de 30° aproximadamente

en donde se obtiene la mayor cantidad de polifenoles totales mayor a 22 mg GAE/100 g.

Tabla 3
Análisis de varianza para la actividad antioxidante

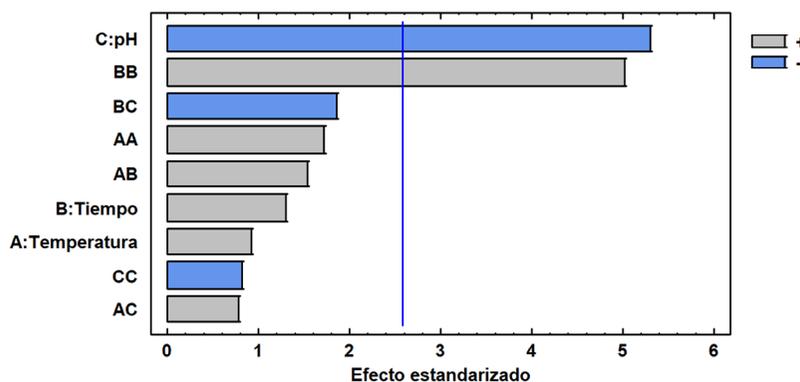
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	p-valor
A: Temperatura	464,182	1	464,182	0,86	0,3954
B: Tiempo	914,587	1	914,587	1,70	0,2489
C: pH	15056,3	1	15056,3	28,01	0,0032*
AA	1594,38	1	1594,38	2,97	0,1457
AB	1264,01	1	1264,01	2,35	0,1858
AC	321,549	1	321,549	0,60	0,4742
BB	13581,9	1	13581,9	25,27	0,0040*
BC	1860,35	1	1860,35	3,46	0,1219
CC	365,112	1	365,112	0,68	0,4474
Error total	2687,87	5	537,574		
Total (corr.)	38042,6	14			

R² = 92,9346 %; R² aj = 80,2168 %

En cuanto a la capacidad antioxidante el análisis ANOVA (Tabla 3) y (Figura 5) indica significancia estadística en cuanto al factor pH y la expresión cuadrática del tiempo por tener un p-valor < 0,05; éstos

son el pH y la expresión cuadrática del tiempo. La correlación es negativa con el factor pH. El estadístico R² indica que el modelo, así ajustado explica 92,9% de la variabilidad, con un estadístico R² ajustado de 80,2%.

Figura 6
Análisis de varianza para la actividad antioxidante



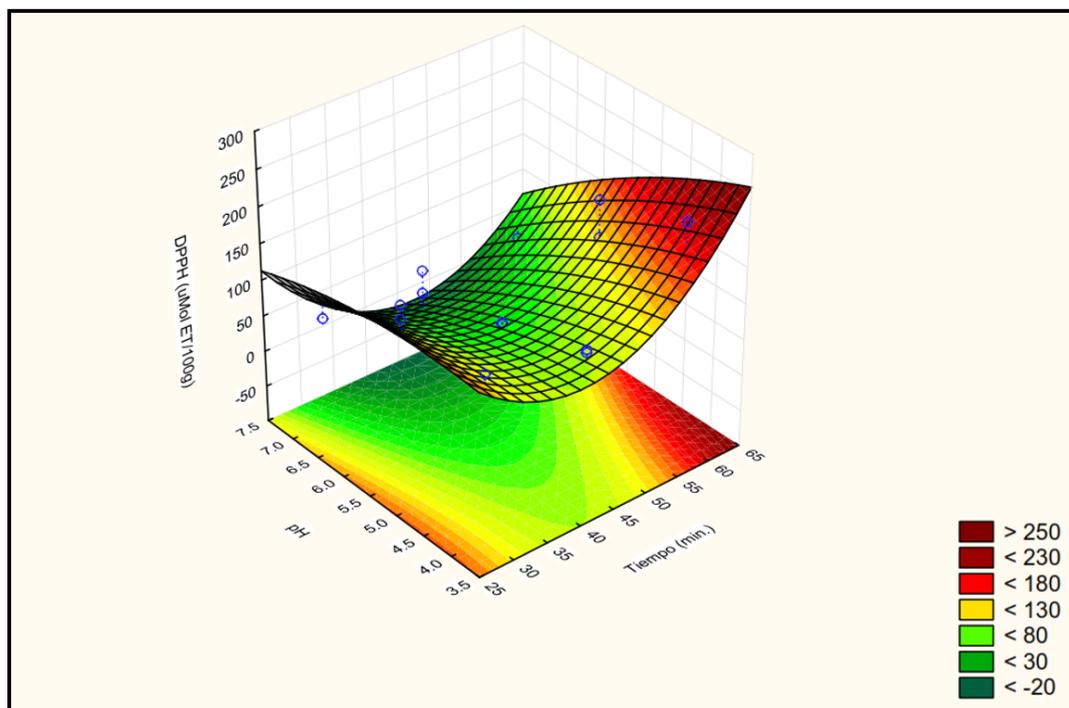
A partir de la tabla de los coeficientes se confeccionó la ecuación de regresión:

$$AA = 780,822 - 13,5512 T^{\circ} - 21,8308 t + 44,8938 \text{ pH} + 0,0924 T^{\circ 2} + 0,0790 T^{\circ} \cdot t + 0,3985 T^{\circ} \cdot \text{pH} + 0,2696 t^2 - 0,9585 t \cdot \text{pH} - 4,41958 \text{ pH}^2$$

El valor óptimo de la actividad antioxidante fue de 219,67 μmol ET/100g, que se obtuvo a una temperatura de 60 °C, un tiempo de 60 minutos y a un pH de 4,0.

Figura 7

Superficie de respuesta. Actividad Antioxidante. pH vs tiempo. $\mu\text{Mol ET}/100\text{ g}$



La Figura 7 muestra la superficie de respuesta de la actividad antioxidante, se observa una sola región con valores altos de DPPH por encima de los 230 $\mu\text{Mol ET}/100\text{ g}$ que en la superficie de contorno se ubica en el

extremo inferior derecho; cuyas abscisas van de 60 – 65 minutos y valores de la ordenada pH entre 3,5 y 5,0; que puede llegar a valores de 230 a 205 $\mu\text{Mol ET}/100\text{ g}$.

Tabla 4

Resultados globales de B, PT y AA de los 15 tratamientos

Nro de Tratam.	Temp. (°C)	Tiempo (min)	pH	BT mg/100 g	PT mg GAE/100g	AA $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$
1	60	45	4,0	117,906	211,175	914,398
2	45	45	5,5	468,097	213,589	575,946
3	60	60	5,5	320,413	197,139	124,555
4	45	30	4,0	373,140	18,744	127,632
5	45	30	7,0	492,972	181,442	503,127
6	60	60	5,5	241,228	190,576	1,671,780
7	45	45	5,5	468,153	198,867	545,811
8	45	60	7,0	455,081	152,841	428,799
9	30	45	7,0	473,077	176,683	245,326
10	30	60	5,5	415,929	232,919	114,984
11	60	45	7,0	375,284	177,864	562,932
12	45	45	5,5	441,318	204,891	561,726
13	30	30	5,5	45,698	220,433	1,434,670
14	30	45	4,0	29,904	220,561	955,428
15	45	60	4,0	343,797	211,175	2,064,630

Nota. La Tabla 4 muestra los resultados de las variables de respuesta de los 15 tratamientos realizados.

Tabla 5
Valores de deseabilidad del proceso de optimización simultánea

Cumbre	Temperatura	Tiempo	pH	POLIFENOLES	DPPH	Betalainas Totales	Desirability
1	33,38	60	4,5	23,2919	163,793	37,7793	0,809
2	33,43	60	4,48	23,2919	164,323	37,6797	0,809
3	33,29	60	4,52	23,2918	162,907	37,9421	0,809
4	33,21	60	4,54	23,292	162,167	38,0732	0,809
5	33,55	59,21	4,38	23,2919	161,141	36,9655	0,796
6	30	30	5,25	21,4887	141,912	43,4311	0,75
7	30	30	5,15	21,4873	143,647	42,9051	0,749
8	30	30	4,88	21,4035	148,064	41,2411	0,741
9	30	31,06	5,12	21,6017	135,697	42,664	0,735
10	30	30	5,8	21,2126	130,402	45,7507	0,731
11	46,02	30	5,36	20,1181	107,414	46,8854	0,636
12	52,3	30	5,34	20,1183	107,782	41,6788	0,604

La Tabla 5 presenta los valores óptimos de las variables independientes, los valores de deseabilidad más cercanos al número 1 corresponde al primer tratamiento a 33,38°C, tiempo: 60 minutos y pH = 4,5, siendo el valor de betalainas 37,7793 mg/100 g. de los polifenoles totales de 23,2919 GAE/100 g. y valor de la actividad antioxidante de 163,793 µMol ET/100 g.

Discusión

La mayor cantidad de betalainas totales fue de 52,95 g/100 g. se logra a una temperatura óptima de 41,6 °C a un tiempo de 30 minutos y a un pH de 6,9, resultado concordante con Apaza (2017), que concluye que a temperaturas mayores de 50°C disminuye el tenor de betalainas totales. Así mismo los resultados de temperatura concuerda con la teoría que manifiesta que los métodos asistido por ultrasonido tienen la ventaja de acortar la temperatura y el tiempo, garantizando la conservación de la betalaina por ser ésta termolábil (Wong et al, 2020; Fenema, 2019).

En cuanto al tiempo resultó ser poco significativo la influencia de este factor, mientras que el pH resultó ser un factor decisivo para la obtención de betalainas, siendo el margen de pH permitido de 4,5 a 7,0, pero se debe considerar el rango de este factor establecido por Fenema - Owen (2019), que manifiesta que la reacción del pH muestra una mayor estabilidad a valores de 4,0 a 5,0. Y Flores (2019) y Ramírez (2015) señalan que el rango de pH que confiere mayor estabilidad a la betalainas está en un rango de 3,0 a 6,0.

Con respecto al tenor de BT obtenidas en los 15 tratamientos, éstas se encuentran por encima de la obtenida por Repo de Carrasco y Encina (2008), pero se trata de diferentes partes del fruto, habiéndose trabajado con la pulpa de tuna roja, y por debajo de las obtenidas por Rosillo (2016) de 1015 mg/L y de 89,2 mg/100 g de Huamán (2014). La diferencia de resultados puede deberse a dos aspectos. Primero el agente disolvente para la extracción utilizado fue el agua y en nuestro caso fue el

etanol. Y, en segundo lugar, el método empleado para su determinación incluye un procedimiento de inactivación de enzimas: una pasteurización a 85°C x 10 minutos y un tiempo de extracción de 3 horas, adicionalmente Rosillo utilizó como agente antioxidante al ácido ascórbico y en el caso de Huamán (2014), este investigador utilizó un escaldado a una presión de 535 mm Hg por diez minutos y una temperatura de 50 °C., adicionalmente dentro de su esquema experimental evaluó los tipos de solvente de extracción: agua y metanol, obteniendo rendimientos en BT de 31,9 (mg/100g) utilizando agua como disolvente a un pH de 4,5 resultado; pese a estas diferencias los resultados son concordantes con los obtenidos en nuestro estudio.

El contenido de PT encontrados en la cáscara de tuna morada tuvo como máximo valor 24,15 mg GAE/100 g muestra. Este es un valor cercano obtenido en otros frutos como: papaya 53,8, la piña 8,9, guayaba 56,9 y guanábana 39,6, según lo reportado por Apaza (2017), considerando que en este estudio la pulpa fue la parte analizada. Si hacemos las comparaciones con PT encontrados por otros investigadores por ejemplo (Alba et al., 2014) que trabajó con tunas rojas, que obtuvo 57,7 mg EAG/100 ml. Las diferencias pueden deberse a los tratamientos fueron sometidos a atmósferas controladas que ayudaron a preservar a los PT en el almacenamiento; así mismo según Cortés et al. (2020) afirma que, existen interferentes como la vitamina C propias de fruto que pueden ocasionar inconsistencias en la cuantificación de los polifenoles, en el caso de las cáscaras de tuna el contenido de vitamina C es alto de acuerdo a la tabla de composición presentado.

Se encontró adicionalmente una fuerte correlación entre el factor pH, relación inversa con el contenido de PT, este mismo comportamiento es similar a otras investigaciones y además a un pH menor de 4,5 favorece la extracción de los polifenoles y estabilidad del mismo (Caldas et al., 2015; Apaza, 2017).

En cuanto a la actividad antioxidante, se obtuvo el mayor valor con el tratamiento 15; siendo éste

de 206,463 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$. resultado concordante con lo obtenido por Apaza (2017), cuyos valores varían de 0,82 a 2,02 $\mu\text{mol Trolox/g}$.

Conclusiones

El factor temperatura incide directamente en el tenor de betalainas; siendo poco significativo a un nivel de confianza del 95% para el caso de los polifenoles totales y la Actividad antioxidante. Dentro del intervalo de temperaturas de sonicación estudiadas; se encontró que el tenor de betalainas se maximiza a un valor de 49,3 mg/100g alrededor de los 37 °C.

Con respecto al factor pH; resultó ser el factor de mayor incidencia y significancia para las 3 variables de respuesta estudiadas: Betalainas, polifenoles totales y actividad antioxidante; de acuerdo al análisis estadístico con un nivel de confianza del 95% y de los diagramas de Pareto realizados. Para el caso de las betalainas; existe un incremento del valor de las betalainas totales si partimos de un pH de 4,0, a pH 33,37 mg/100 g a 49,94 mg/100 g.

Para el caso de polifenoles totales; de acuerdo a la curva de comportamiento, se logró un valor máximo inflexivo de 21,04 mg GAE/100 g; esto es en un medio de pH de 4,78. Y para la actividad antioxidante, para un medio de pH = 4,0, se aprecia un mayor valor de la actividad antioxidante; siendo éste de 89,55 $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$; desciende por la curva con pendiente negativa a un valor de 53,03 $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$ a un pH 7,00.

De acuerdo a los criterios de optimización por la función de deseabilidad, se han obtenido 06 tratamientos con valores cercanos a la unidad, siendo estos mayores a 0,803. El primer tratamiento optimizado de manera simultánea, tuvieron los siguientes valores: 33,38°C, 60 minutos y pH de 4,5, siendo el valor de betalainas 37,7793 mg/100 g, polifenoles totales de 23,2919 GAE/100 g. y actividad antioxidante 163,793 $\mu\text{Mol ET}/100\text{ g}$.

Se propone realizar diseños experimentales para la extracción de colorantes naturales que mantengan sus características funcionales y en el caso de colorantes naturales mantener su capacidad tintórea y ser utilizados para tal fin en la industria alimentaria. Así como también en la formulación y desarrollo de nuevos alimentos funcionales o nutraceuticos, aprovechando la fibra, pectina, o hidrocoloides, etc. tanto en pulpa como en los cladodios.

Recomendaciones

Se recomienda para el caso de betalainas, el estudio de otros componentes de la Betalaina como betanina, vulgaxantina y betanidina y comparar con las

otras variedades de tuna de la región.

Referencias

- Alba, J., Chávez, J., Verdalet, I., Martínez, A., & Aquino, E. (2014). Betalainas, polifenoles y actividad antioxidante en tuna roja mínimamente procesada, almacenada en atmósferas controladas. *Gayana. Botánica*, 71(2), 222-226. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432014000200005>
- Apaza, Y. (2017). *Influencia de parámetros fisicoquímicos en la extracción de pigmentos de ayrampo (Opuntia Soehrensii B.), sobre el contenido de fenoles totales, betacianinas totales y capacidad antioxidante* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional de Moquegua]. Repositorio UNAM. <http://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/57>
- Arciniegas, V. (2020). *Recuperación de compuestos bioactivos de subproductos de la industria alimentaria mediante el empleo de mezclas etanol/agua presurizada* [Trabajo de Maestría, Universidad de Burgos]. Riubu. <https://riubu.ubu.es/handle/10259/5611>
- Campos, R., Razo, O., Almaraz, I., Ramírez, E., Soriano, R., Salinas, J., Arias, L., & Gonzales, S. (2018). *Bioconversión de desperdicios vegetales a biogás, a partir de microorganismos ruminales. Revista internacional de Contaminación Ambiental*, 34(1), 149-150. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.13>
- Caldas-Cueva, J., Morales, P., Ludeña, F., Betalleluz-Pallardel, I., Chirinos, R., Noratto, G., & Campos, D. (2016). Stability of betacyanin pigments and antioxidants in ayrampo (*Opuntia soehrensii* britton and rose) seed extracts and as a yogurt natural colorant. *Journal of food processing and preservation*, 40(3), 541-549. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12633>
- Castro, R. (2016). *Efecto del secado por aspersión en la estabilidad de componentes bioactivos de tuna morada (Opuntia ficus-indica)* [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio DSpace. <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/19733>
- Esparza, F., López R., & Guzmán, S. (2016). Efecto de la temperatura sobre los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en el residuo de la producción de mandarina (*Citrus reticulata* Satsuma). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de alimentos*, 1(1), 843-850. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/1/9/146.pdf>

- Flores, M., Rentería, A., Sánchez, R., & Chávez, A. (2019). Estructura y estabilidad de las betalainas. *Interciencia*, 44(6), 318-325. https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2019/07/318_6534_A_Chavez_v44n6.pdf
- García, E., Fernández, I., & Fuentes, A. (2015). *Determinación de polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu*. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/52056/Garcia%20Mart%C3%ADnez%20et%20al.pdf?sequence=1>
- Hernández, J., Reyes, A., Hernández, I., Peláez, A., & Campos, R. (2023). Tecnologías sustentables (microondas, ultrasonido y CO2 supercrítico) para extracción de compuestos bioactivos en propóleo. *Boletín De Ciencias Agropecuarias Del ICAP*, 9(Especial), 20-25. <https://doi.org/10.29057/icap.v9iEspecial.9260>
- Huamán, L. (2014). *Evaluación del tipo de solvente en el rendimiento durante la extracción de colorante natural de la cáscara de tuna morada (Opuntia ficus)* [Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Centro]. Repositorio UNCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1231>
- Naranjo, J. (2016). *Evaluación de dos métodos para la obtención de extractos con actividad antioxidante a partir de gulupa (Passiflora edulis Sims.) con aplicación en productos mínimamente procesados* [Tesis de Titulación, Universidad de la Salle]. Ciencia Unisalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1057&context=ing_alimentos
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2022). *Hacer frente a la pérdida y el desperdicio de alimentos: una oportunidad de ganar por partida triple*. <https://www.fao.org/newsroom/detail/FAO-UNEP-agriculture-environment-food-loss-waste-day-2022/es>
- Ponce, J., Taype, G., & Huamantico, H. (2020). Efecto del ultrasonido y tamaño de partícula en la extracción de oleoresina a partir de cúrcuma (*Curcuma longa* L.). *Peruvian Agricultural Research*, 2(1). <https://doi.org/10.51431/par.v2i1.622>
- Ramírez, P. (2015). *Cambios producidos por la cocción y el lavado sobre las betalainas de la quinua (Chenopodium quinoa Wild)* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2560>
- Repo de Carrasco, R., & Encina, C. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 74(2), 108-124. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2008000200004&lng=es&tlng=es
- Rosillo, C. (2016). *Estudio de los principios bioactivos y obtención de colorantes naturales de la cáscara de Opuntia ficus – indica (L.) Miller “tuna”* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Cybertesis. <http://hdl.handle.net/20.500.12672/5031>
- Sepúlveda, C., & Zapata, J. (2019). Efecto de la Temperatura, el pH y el Contenido en Sólidos sobre los Compuestos Fenólicos y la Actividad Antioxidante del Extracto de Bixa orellana L. *Información tecnológica*, 30(5), 57-66. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500057>
- Schieber, A., Routray, W., & Orsat, V. (2017). Plant By-Products and Food Industry Waste: A Source of Nutraceuticals and Biopolymers. *Food bioconversion*, (08), 279-315. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-811413-1.00008-5>
- Valencia, O. (2018). *Métodos de extracción de aceite esencial de la semilla de moringa (Moringa oleifera)* [Tesis de Grado, Universidad Rafael Landívar]. Recursos Biblio. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjrtd/2018/06/17/Valencia-Maylin.pdf>
- Wong, J., Aguilar, P., Veana, F., & Muñiz, D. (2020). Artículo de revisión: Impacto de las tecnologías de extracción verdes para la obtención de compuestos bioactivos de los residuos de frutos cítricos. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 23. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.255>
- Ummat, V., Sivagnanam, S., Rajauria, G., O'Donnell, C., & Tiwari, B. (2021). Advances in pre-treatment techniques and green extraction technologies for bioactives from seaweeds. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 90–106. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.018>