


# Ultrasound application to conserve the antioxidant properties of pitahaya

William Escribano–Siesquén, Mg.<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú  
wescribano@usat.edu.pe

*Abstract- Pitahaya fruit has a considerable content of antioxidant and nutraceutical substances. Traditional techniques and thermal treatments used in fruit processing alter the phytochemical and nutritional components and limit their utilization, so a modern and suitable technology was sought to help preserve its components, finding ultrasound as one of the techniques that favors the preservation of the nutritional properties, bioactivity and antioxidants of the fruit pulp and its derived or processed products. In the processing of the pitahaya, the pulp was extracted by cutting it into slices and freezing it at -50°C, then freeze-drying it for about 49 hours. The dry ground sample was macerated in methanol for 7 days, separated into portions to determine the antioxidant capacity by DPPH method and analyzed by spectrophotometer. In a filtered portion, the antioxidant capacity was determined directly, and other portions were subjected to ultrasound before analysis, evaluating the times, power and frequency of application in order to preserve the natural antioxidant and nutritional composition of the pulp; it was found that the sample to which ultrasound was applied for 20 minutes at 180 W power and 40 kHz frequency was the most relevant to preserve the antioxidant capacity of the pitahaya pulp.*


*Keywords – Pitahaya, antioxidants, ultrasound in fruits, nutraceuticals, bioactive compounds.*

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

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

**DO NOT REMOVE**

# Aplicación del ultrasonido para conservar las propiedades antioxidantes de la pitahaya

William Escribano–Siesquén, Mg.<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú

wescribano@usat.edu.pe

**Resumen–** La fruta pitahaya presenta un considerable contenido de sustancias antioxidantes y nutraceuticas. Las técnicas tradicionales y tratamientos térmicos usados en el procesamiento de frutas alteran los componentes fitoquímicos y nutricionales y limitan su aprovechamiento, por lo que se buscó una tecnología moderna e idónea que ayude a la conservación de sus componentes, encontrándose al ultrasonido como una de las técnicas que favorece a la preservación de las propiedades nutricionales, bioactividad y antioxidantes de la pulpa de frutas y de sus productos derivados o procesados. Durante el procesamiento de la pitahaya se extrajo la pulpa, cortándola en rodajas y llevándolas a congelamiento hasta – 50 °C para luego liofilizarla por 49 horas aproximadamente, la muestra seca molida se maceró en metanol por 7 días, separándola en porciones para determinar la capacidad antioxidante por el método DPPH y analizándola con el espectrofotómetro. En una porción filtrada se determinó la capacidad antioxidante directamente y a otras porciones se les suministró ultrasonido antes de analizarlas, evaluando los tiempos, potencia y frecuencia de aplicación, para mantener la composición antioxidante y nutritiva natural de la pulpa; encontrando que la muestra a la que se aplicó 20 minutos de ultrasonido a 180 W de potencia y 40 kHz de frecuencia es la más pertinente para conservar la capacidad antioxidante de la pulpa de la pitahaya.

**Palabras clave –** Pitahaya antioxidantes, ultrasonido en frutas, nutraceuticos, compuestos bioactivos.

## I. INTRODUCCIÓN

Las especies de pitahaya (*Hylocereus spp.*) o también llamada pitaya, poseen cualidades nutricionales, 85 % de agua, 13 % de carbohidratos y el resto se distribuye en grasas, proteínas, fibra, minerales esenciales, vitaminas [1]. Presentan alto contenido de betalaínas (707 mg/mL); pigmentos con propiedades antioxidantes [2] que estimulan la acción de la quinona reductasa, poderosa enzima de detoxificación quimiopreventiva de cáncer gastrointestinal y con acción sobre las células de melanoma maligno evitando así su proliferación [3], [4]. En la pulpa de la pitahaya se encuentra un buen contenido de compuestos fenólicos y bioactivos con gran capacidad antioxidante [5].

El consumo de frutas con antioxidantes ayuda a neutralizar el exceso de radicales libres generados por nuestro organismo y permite disminuir el riesgo de padecer enfermedades crónicas [6], [7]; generando cierto potencial antimutagénico, antialérgico, antiinflamatorio, antitrombótica y protegiendo del daño oxidativo celular [5], [8]. En la Sierra peruana existen varias especies con gran contenido nutricional, capacidad antioxidante y sustancias bioactivas tales como aguaymanto,

pitahaya amarilla y quito, y se propone que el consumo de frutas sea el 10 % del consumo total de alimentos diarios [9]; otros frutos como el acaí, yacón y mora contienen biocompuestos antioxidantes, pigmentos, fibras, etc. por lo que es transcendental mantener las propiedades funcionales de los productos autóctonos [10].

Es por ello que, la industria alimentaria busca obtener productos alimenticios frescos, con vida útil amplia, aplicando tratamientos térmicos, inactivando microorganismos y enzimas, conservando los compuestos bioactivos y las propiedades sensoriales, nutricionales y funcionales, pero alteran la calidad del producto final [11]. El consumo mundial de alimentos procesados industrialmente aumentó considerablemente, formulando sustancias alimenticias modificadas por procesos químicos y con adición de conservantes, colorantes, entre otras sustancias afines que pueden alterar sus propiedades naturales; su ingestión está asociada con la hipertensión arterial, enfermedad cardiovascular, cáncer, obesidad, diabetes, asma en los adultos [12], [13], [14] y con las enfermedades respiratorias sibilantes en los niños y la probable adquisición de bronquitis [15].

Entre las técnicas modernas de conservación de alimentos encontramos al ultrasonido [16]. Es efectivo en la extracción de compuestos conservando la calidad nutricional y compuestos bioactivos en sus productos finales [17], [18]. Es una tecnología de procesamiento que mejora la calidad de alimentos fundamentada en efectos sonoquímicos y sonofísicos [19].

El objetivo de esta investigación es evaluar los datos experimentales de tiempo de aplicación del ultrasonido a potencia y frecuencia dada, para determinar la capacidad antioxidante por el método DPPH analizando la absorbancia y comparándolos con los estudios más significativos de la aplicación del ultrasonido en el procesamiento de las frutas para la conservación de la calidad nutricional, sustancias bioactivas y de las propiedades antioxidantes de las mismas, centrando su aplicación en el pulpeado de la pitahaya que permita la conservación de su capacidad antioxidante en sus productos finales.

## II. METODOLOGÍA

Se realizó el tratamiento de datos y selección de estudios de la fruta pitahaya, de los antioxidantes presentes en la misma y su acción benéfica en nuestro organismo. Asimismo, se planteó un método para extraer los antioxidantes en la pulpa de pitahaya, basándose en los tratamientos aplicados en otras frutas y sus principales componentes similares, que permitieron fundamentar y adaptarlo en la aplicación del ultrasonido en el

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

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

DO NOT REMOVE

procesamiento en la pulpa para conservar las propiedades antioxidantes de la fruta pitahaya.

Para hallar la capacidad antioxidante (CAO) de la pulpa de la pitahaya, de manera experimental, se propuso la siguiente metodología:

TABLA 1  
METODOLOGÍA PARA DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LA PULPA DE PITAHAYA

Paso	Descripción
1) Seleccionar y acondicionar la muestra	Se escogieron frutos de la pitahaya amarilla madura. Lavado en hipoclorito de sodio al 200 ppm y secado. Extracción manual de pulpa de pitahaya. Pesado de fruta, cáscara y pulpa.
2) Congelado y liofilizado	Acondicionamiento de pulpa de pitahaya en rodajas. Congelamiento hasta $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 28 horas. Liofilizado para sublimar el agua congelada por 49 h.
3) Molienda y tamizado	Molienda de muestra seca en el molino Ika-Werke M20. Tamizado en malla N° 200. Se halló la humedad de la muestra molida en el determinador de humedad Kern Dab.
4) Preparación de muestra para análisis	Se pesó 10 g de muestra seca molida y tamizada en la balanza analítica Ohaus – Adventurer. Se maceró la muestra en 100 mL de metanol por 7 días, removiendo 2 min diarios. Centrifugación a 9000 rpm y filtración del macerado.
5) Extracción del componente bioactivo	Se determinó la CAO por el método DPPH por su sensibilidad alta para extraer el componente bioactivo. La muestra filtrada se separó en dos porciones. En la primera porción se realizó la extracción de antioxidantes sin aplicación del ultrasonido (US) y se halló la CAO de la muestra. La segunda porción recibió un baño de ultrasonido y luego se determinó la CAO de la muestra.
6) Aplicación de ultrasonido	Se dividieron las muestras para aplicación del US con una frecuencia de 40 kHz, con el siguiente esquema: Baño de US por 15 minutos a 180 W Baño de US por 20 minutos a 180 W Baño de US por 25 minutos a 180 W

### III. RESULTADOS

En los últimos años, el consumo de subproductos de la pitahaya se ha acrecentado y es de gran importancia conservar los compuestos fenólicos [20] y las propiedades antioxidantes de la fruta mediante el uso del ultrasonido (US) en el pulpeado [19] y siendo la pulpa de la pitahaya una gran fuente de antioxidantes, es fundamental la preservación de los mismos, mediante el US que, aplicado en parámetros óptimos, conserva las propiedades fitoquímicas y nutricionales de frutas y optimiza la calidad de los productos que se generen a partir de su pulpa, para la mejor disposición de sus propiedades prebióticas en los productos derivados.

#### A. Pitahaya o pitaya

Llamada también “fruta del dragón”. Su origen es centroamericano, encontrándose las variedades amarillas y rojas, principalmente, cuyo cultivo se desarrolla ampliamente en Asia y América, en países tales como México, Ecuador, Colombia entre otros [21]; presentan alto valor comercial en muchos países, su pulpa es usada como postre gourmet en Europa y Japón [22]. En las costas peruanas, se encontró que la *Hylocereus undatus* (Haw), presenta en su pulpa alto contenido de fibras (4,70 g/100 g), vitamina C (14,74 mg/100 g), K (215,83 mg/100 g), P, Mn, Zn, Fe, entre otros componentes importantes [23] que ayudan a la nutrición humana y a la salud, presenta pocas calorías y gran cantidad de sustancias fenólicas [24], [25], [26], [27], [28].

La pulpa de la pitahaya presenta semillas negras y pequeñas y alta presencia de humedad [29], tiene considerable potencial industrial con buen contenido de las betalainas y propiedades prebióticas y antioxidantes, colorantes naturales para alimentos y productos derivados; además contiene agua; baja acidez, dada principalmente por el ácido málico que se encuentra en el jugo [2], [30] o en la fruta fresca, con un contenido soluble importante; por lo que es apreciada en el mercado comercial internacional [21]; con pulpa dulce y jugosa, de colores verde, anaranjado, morado y rojizo, debido a la presencia de betacianina y betalainas y con valor comercial adquirido [31], [32] y pueden actuar como aditivos alimentarios [33]. Los compuestos fenólicos totales y el potencial antioxidante son mayores en la pulpa roja de la pitahaya respecto a la pulpa blanca, pero el azúcar total y la mayor parte de sustancias fenólicas independientes son idénticas en ambas especies [34].

Es un fruto exótico de consumo fresco, con pH aproximado de 4,5; alto contenido de polifenoles, gran fuente de bioactivos antioxidantes y semillas con gran contenido de fibra, por lo que se busca industrializarlo para elaborar zumos, cócteles, postres, snacks deshidratados, yogures, mermeladas [5], [35] y optimizando las propiedades antioxidantes presenta aceptabilidad de color en helados [36]. En el análisis de la pitahaya amarilla [31], tipo seleccionado para nuestra investigación, se encontró que la cáscara y la pulpa presenta las características descritas en la tabla 2.

TABLA 2  
CARACTERÍSTICAS DE LA PITAHAYA AMARILLA

	Cáscara	Pulpa
Sólidos Solubles Totales (SST)	10 % – 14 %	11 % – 13 %
pH (grado de acidez)	4,2 – 4,7	3,9 – 4,6
Acidez titulable para ácido málico	0,20 % – 0,58%	0,25 % – 0,58 %
Proteínas	0,2 mg/g – 0,8 mg/g	1,5 mg/g – 3,7 mg/g
Vitamina C	8,4 – 10,4 mg/100 g	9,6 – 13,8 mg/100 g
Agua	84,16 % $\pm$ 0,046	85 % – 88 %
Ácido málico en jugo de pulpa		6,08 g/L – 8,20 g/L
Ácido málico en fruta fresca		0,20 mg – 0,35 mg
$^{\circ}\text{Bx}$		12 – 14

Es por ello que, se puede colegir que la pitahaya es un fruto que presenta particularidades agronómicas significativas y su pulpa es aprovechable para diversos fines alimenticios y nutritivos, siendo primordial su consumo por sus excelentes propiedades que presenta.

## *B. Antioxidantes en la pitahaya y sus efectos en el organismo humano*

Los compuestos fenólicos presentan una estructura química apropiada para captar radicales libres neutralizando las sustancias oxidantes y los iones metálicos quelantes; la capacidad antioxidante de estas sustancias, genera cierto potencial antimutagénico en sustancias lipídicas, protegiendo del daño oxidativo celular [5], [37]. La pitaya o pitahaya contiene 76,4 % ( $\pm 3,8$ ) de antioxidantes naturales y nutrientes significativos para el ser humano destacando los azúcares en 11,1 % ( $\pm 0,08$ ) y la vitamina C en 7,78 mg/100 mL de jugo [38]. La pitahaya amarilla presenta actividad citotóxica, considerándose como frutas funcionales [39], [40], con sustancias medicinales y nutricionales en sus distintas variedades [28].

La concentración físico-química de fenoles totales compuestos se vincula con la capacidad antioxidante de la pitahaya amarilla, en promedio de 4202,1 mg de trolox/g; con potencial para neutralizar los efectos de los radicales libres y ayudando a proteger del cáncer de colon y problemas cardiovasculares [41]. El estrés oxidativo genera el desarrollo de enfermedades crónicas como cáncer, anemia, diabetes entre otras y se busca agentes antioxidantes para contrarrestar los radicales libres en exceso generados en nuestro organismo, encontrándose en la pitahaya un alto contenido en vitamina C y componentes fenólicos [5], [42]. El consumo de la fruta del dragón regula la glucemia y el perfil lipídico y en cantidades adecuadas regula el riesgo cardiovascular por el gran contenido de betalaínas [43].

Siendo las betalaínas agentes antioxidantes presentes en la pitahaya, se demostró su gran potencial para usarse como agentes antiinflamatorios naturales, citoprotectores, quimioprotectores y terapia complementaria en diversas enfermedades tal como la hipertensión y enfermedades degenerativas como cáncer o artritis [44]. La deficiencia de antioxidantes genera estrés oxidativo que conlleva a patologías crónicas como la diabetes; los antioxidantes mejoran el cuadro clínico y el pronóstico de los pacientes ya que previenen y reparan los daños causados por la diabetes mellitus [45].

Es cierto que, los radicales libres permiten mantener el organismo sano, pero el desequilibrio o exceso de los mismos generan estrés oxidativo, lo cual se asocia a diferentes enfermedades y envejecimiento de las personas [6] y el extracto de pitahaya previene y repara el daño producido por ello [46].

Los frutos de pitahaya presentan betalaínas, destacando las betacianinas (17,7067 a 22,0536 ( $\pm 0,3281$ ) mg/g de muestra seca) y compuestos fenólicos derivados del hidroxicinamoilo, flavonoles y flavanonas; con capacidad antioxidante que varía entre 9,21 y 2,41  $\mu\text{mol}$  de trolox/g de muestra fresca encontrado por el ensayo ABTS [47]; con alta capacidad antioxidante y recomendada para contrarrestar la diabetes y cáncer de colon [1]. La fruta tiene corta vida útil reduciendo la posibilidad de exportarlos a mercados distantes, por lo que debe buscarse una condición óptima para su almacenamiento en atmósfera controlada, calidad de la fruta y compuestos orgánicos volátiles, así como su color, acidez total y biocomponentes [48].

Por lo que se afirma que, los antioxidantes son sustancias químicas que permiten mantener el equilibrio de los radicales libres en exceso en el organismo humano y los frutos de la pitahaya son buenos suministros de estas vitales sustancias, encontrándose a los compuestos fenólicos y las betalaínas como los componentes esenciales en la actividad antioxidante.

## *C. Principales técnicas de procesamiento de frutas y sus consecuencias en la conservación de sus propiedades*

Uno de los problemas generados por el procesamiento de las frutas, es la modificación de sus propiedades naturales. Los procedimientos tradicionales aplicados en la industria de alimentos facilitan la pérdida de compuestos, ya que la mayoría de sus componentes son vulnerables a los cambios físicos, químicos y microbiológicos, y son sensibles a la temperatura [16]. La forma de procesamiento puede afectar la química y fisicoquímica de los compuestos enzimáticos y volátiles de la pitahaya [49]. Los tratamientos tradicionales usados en el procesamiento de las frutas alteran sus propiedades naturales y contenido nutricional.

El tratamiento térmico genera inactivación microbiana y extiende la vida útil de la fruta, pero acelera la degradación de la calidad nutritiva y funcional de los productos alimenticios obtenidos; la administración del ozono en las frutas, produce cambios microestructurales en la epidermis y paredes celulares al igual que al aplicar luz UV-C, aunque en menor proporción [50]. A temperaturas bajas se puede prolongar la duración de las frutas frescas, pero el frío puede dañar a la pitahaya disminuyendo la pérdida de agua y fenoles totales a 6 °C, además, a 8 °C y 10 °C se redujo la capacidad y calidad antioxidante [51].

El consumo de más de 4 porciones diarias de alimentos ultraprocesados se relacionó independientemente con un 62 % de riesgo relativamente mayor de mortalidad por todas las causas; siendo el cáncer la principal causa de mortalidad, con 58,0 años de edad promedio de fallecimiento; además, existe un impacto negativo de los alimentos ultraprocesados en la incidencia general de enfermedades crónicas; por lo que debe incentivarse el consumo de alimentos frescos o mínimamente procesados y tomarse como una política de salud transcendental para mejorar la salud pública en el mundo [14].

Por lo tanto, el procesamiento tradicional y más aún, el ultra procesamiento de las frutas puede aumentar la posibilidad de contraer o estar propenso a adquirir enfermedades, ya que alteran su composición fitoquímica y nutricional, limitando el aprovechamiento satisfactorio de sus propiedades naturales en los productos obtenidos y se debe buscar la técnica de procesamiento más idóneo para conservar el mayor contenido posible de biocomponentes de las frutas procesadas.

## *D. Aplicación del ultrasonido en el procesamiento de alimentos para la conservación de antioxidantes y compuestos bioactivos*

El ultrasonido es muy efectivo en la extracción de compuestos conservando la calidad nutricional y compuestos bioactivos en sus productos finales [52]; tiene la ventaja de ser una tecnología segura, amigable con el medio ambiente, no tóxica y de aplicación económica [53]. En comparación con la

metodología estándar para determinar polifenoles en frutas (plátano, melón, piña, papaya, entre otras), se obtuvo que el tratamiento con ultrasonido mejoró el potencial antioxidante hasta un 70 % y redujo el tiempo de procesamiento de 25 % a 60 % [16]. Es una buena alternativa de aplicación tecnológica no térmica que supera a los tratamientos tradicionales mejorando el procesamiento y calidad de los alimentos [18]. En un proceso asistido por ultrasonido se puede optimizar la extracción de polifenoles [54] y puede aplicarse en el pulpeado de la fruta pitahaya para esta misma acción.

La combinación de pulsos eléctricos (PE), microondas (MW), ultrasonidos (US) y el uso del secado convectivo (SC), logró mejoras en la calidad del producto final (color y actividad del agua) y una disminución de 94 % en el tiempo de procesamiento para el combinado SC–MW–US respecto con el SC; al combinar SC con SC y MW con US, disminuyeron los tiempos de procesos en un 93 % y 52 %, respectivamente [16]. La tecnología ultrasónica científica avanzada, libre de contaminación y efectiva, permitió extender el almacenamiento postcosecha de frutas y verduras, eliminando los residuos de plaguicidas y limpieza, esterilizando y reduciendo la pudrición causada por microorganismos, inactivando enzimas y los efectos sobre índices físico–químicos [24].

La aplicación de US en la preparación del té verde, logró que, a 60 °C, se obtuviera una infusión con concentración similar en polifenoles y taninos y cinco veces mayor en antocianinas que la preparación tradicional a 80 °C; además, se obtuvo mayor concentración de aminoácidos y cafeína, generando un incremento del 5 % de la actividad antioxidante [55]. Al procesar los alimentos con US se reduce el tiempo y la temperatura, realizando un mezclado efectivo y aumentando la transferencia de masa y energía, eliminando microorganismos sin dañar los nutrientes de los alimentos, por lo que se considera una tecnología limpia adaptable en las distintas fases del procesamiento de alimentos [18]. La gran rapidez en la congelación lograda con los ultrasonidos, y la menor dimensión de los cristales restringen los probables efectos perjudiciales de las velocidades lentas de congelación, ya que, al producir menor daño tisular, mejora la conservación de la estructura del alimento [56].

La extracción de compuestos bioactivos de la cáscara de pitahaya con el uso del US, disminuye el tiempo de procesamiento, logrando conservar la capacidad antioxidante mayor al 90 %; asimismo, encontraron 973,10 mg/L de polifenoles obtenidos por ultrasonido a 0,222 kW de potencia nominal, 35 kHz de frecuencia y 22 min para superar el 90 % de capacidad antioxidante con menor tiempo de procesamiento que las técnicas convencionales [57]. Los US de baja frecuencia se usan en la industria alimentaria en muchos procesos tales como limpieza, desgasificación, inactivación de microorganismos, atomización, extracción homogenización y emulsionado, secado y deshidratación, y en la mejora de múltiples reacciones químicas [55], [58], [59].

En la industria farmacéutica y alimentaria se usa el US como sistema de encapsulación [60]; las antocianinas son activos farmacéuticos naturales antioxidantes y antiinflamatorios presentes en la pitahaya [61]; los compuestos

bioactivos se concentran en su pulpa sin semillas usando el pretratamiento con el US por 15 min en combinación con microondas y procesos enzimáticos, aumentan la concentración de betacianinas (13,5%), bexantinas (12,7%) y betalaínas totales (13,1%), respecto a una muestra control sin pretratamiento; asimismo, se maximiza el contenido de pigmentos a 480,3 mg de betalaínas totales por cada 100 g de pulpa seca y la capacidad antioxidante a 4925,7 mg equivalentes de Trolox/g de pulpa seca [62]. El US al vacío en pulpa permitió obtener entre 11,03 mg GAE/100 g pulpa y 17,92 mg GAE/100 g pulpa de fenoles totales y la combinación del US con el proceso al vacío mejora la obtención de sustancias bioactivas de la pitaya [63].

Las betalaínas de la pitahaya pueden estabilizarse al encapsularse con maltodextrina mediante US, logrando un 79% de eficiencia y utilizarlos en los alimentos procesados [33] y como ingrediente eficaz en la producción alimenticia por su actividad antioxidante [64]. El proceso óptimo con ultrasonido puede acrecentar la liberación de betacianinas nativas de la pitahaya, mejorando la capacidad antioxidante [27]. Se requiere un mayor conocimiento del uso del US en alimentos, el avance tecnológico y el desarrollo de equipos más potentes de ultrasonidos para su aplicación a nivel industrial [65].

En ese sentido, el ultrasonido aplicado en ponderaciones recomendables de frecuencia, tiempo y potencia, presenta beneficios significativos comparado con los tratamientos térmicos y típicos, ya que reduce la pérdida del sabor y mejora la calidad de las frutas, sin alterar sus propiedades naturales y podría ser usado en el procesamiento de la pulpa de la pitahaya para emplearla en los diversos productos o aplicaciones, aprovechando las bondades nutraceuticas y antioxidantes en beneficio del organismo humano y de la industria alimentaria.

#### *E. Aplicación del ultrasonido en muestras de pitaya amarilla*

En la primera etapa del análisis se usó aproximadamente, un (01) kg de pitahaya amarilla con pulpa blanca procedente de Palora – Ecuador (Fig. 1a), cuyos frutos pesaron en promedio 201 g de peso bruto y el peso promedio de pulpa fue 142,6 g. Del total de 1004 g de fruta, se procesaron 713 g de pulpa, lo cual fue pesado en una balanza digital Kern – FCB 12 K1.

La pulpa extraída manualmente se cortó en rodajas y se colocó en las bandejas (Fig. 1b) para llevarlas a congelar hasta –50 °C en el Liofilizador Biobase BK-FD10T (Fig. 1c) partiendo de una temperatura ambiental de 25,6 °C, cuyo proceso duró 28 horas aproximadamente. Después del congelamiento de la muestra se retiró de la cabina (Fig. 1d), para ser llevada al proceso de liofilización, comenzando con una presión de 1,5 kPa, a una temperatura de –17,2 °C de la muestra y –75,2 °C de la bandeja y colocadas en el Liofilizador Biobase BK-FD10T, cuyo tiempo de procesamiento aproximado fue de 49 horas con 19 minutos para extraer el agua congelada de la muestra (Fig. 1e) por sublimación, con la ayuda de una bomba de vacío 2XZ–2 Rotary Vane, conectada al liofilizador en mención. Las muestras liofilizadas se pulverizaron por 2 minutos en el molino Ika – Werke M20.

Se calculó la humedad de la muestra en el equipo determinador de humedad Kern DAB 100–3 resultando 9,9 %



de agua, con la cual se elaboró el macerado metanólico para extraer el principio activo antioxidante.

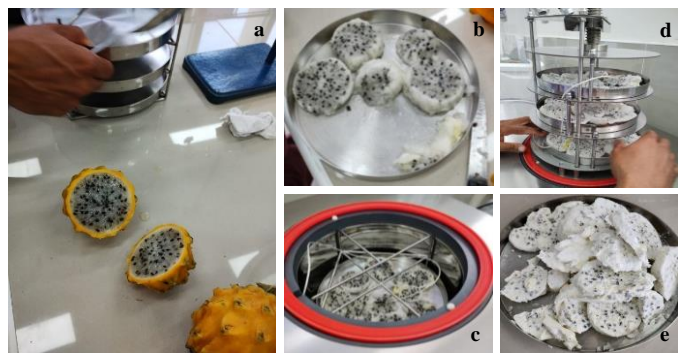


Fig. 1. a) Fruto de la pitaya junto a las bandejas para congelamiento; b) Pulpa de la pitahaya en rodajas; c) Bandejas colocadas en la cabina para congelamiento y posterior liofilización; d) y e) Muestra de pitaya seca después del proceso de liofilización

Se prepararon soluciones en matraces aforados de 50 mL c/u, color ámbar, usando 5 gramos de la muestra molida, macerándolas por 7 días y removiéndolas 2 min diarios.

El extracto macerado se separó por decantación, el líquido obtenido se puso en tubos de fondo cónico y se llevó a la centrífuga Pro Analytical CR4000R por 15 min a una temperatura de 5 °C, para luego separarlo con papel filtro. Con el filtrado líquido se preparó una solución 5 % V/V del extracto metanólico con agua ultrapura, para realizar el análisis en el espectrofotómetro Genesys 30 con absorbancia a 517 nm.

En una segunda fiola oscura de 50 mL se elaboró una solución metanólica 0,1 mM de DPPH (Sigma – Aldrich – Merck), como solución “blanco” que se llevó a medir su absorbancia en el espectrofotómetro a 517 nm tan luego se retiró de la conservadora donde se mantuvo a 20 °C, anotando los datos cada 30 s por 10 min. De la misma fiola, se tomó otra muestra luego de 15 minutos de haber estado a temperatura ambiente bajo los mismos parámetros de la muestra anterior, es decir a 517 nm, y tomando los datos cada 30 s por 10 min.

Se formuló una mezcla del extracto de pitahaya al 5 % V/V en proporción 2 a 1 con la solución DPPH 0,1 mM preparada, dejándola en reposo en oscuridad por 30 min a temperatura ambiente para que reaccione el substrato antioxidante al reducirse el radical DPPH y vire de color violeta a amarillo, según el método analítico [66], [67].

Una porción de la mezcla se analizó en el espectrofotómetro a 517 nm de manera similar a la solución “blanco”, registrando los datos de absorbancia cada 30 s por 10 min a 20 °C tan luego se retiró de la conservadora y de la oscuridad. Luego de 15 min se volvió a analizar la muestra a temperatura y luz ambiental, igualmente a 517 nm, por 10 min y tomando los datos cada 30 s. Con los datos obtenidos se calculó el porcentaje de absorbancia:  $(abs_{DPPH} - abs_{muestra}) * 100 / abs_{DPPH}$  [68], para cada dato de absorbancia anotado, que se representa en la figura 2.

Se usaron 3 porciones más de la mezcla extracto de pitaya/DPPH 2:1 formulada y usada en el proceso anterior, que se sometieron a un baño de ultrasonido por 15 min, 20 min y 25 min, respectivamente, a 180 W de potencia, frecuencia de 40 kHz y 30 °C de temperatura ambiental, registrando los valores

de absorbancia en cada caso, tan luego se retiró del baño del US y después de 15 min de haberse retirado del US a temperatura y luz ambiental. Con los datos obtenidos se volvió a calcular el porcentaje de absorbancia [68] para cada dato de absorbancia anotado, según la fórmula indicada y se muestra en la figura 3.

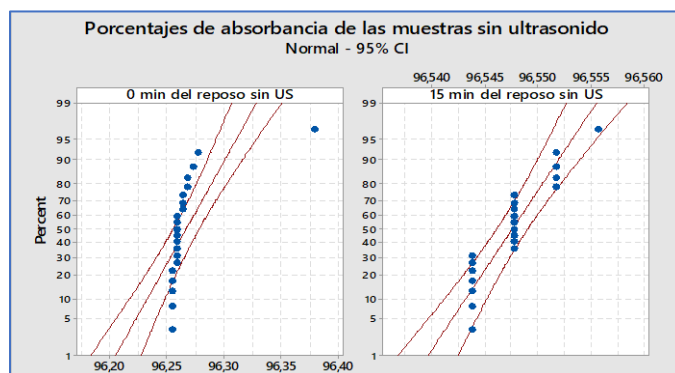


Fig. 2. Comparación de porcentajes de absorbancia de la formulación extracto de pitaya/DPPH sin aplicación de US a 0 y 15 min del reposo

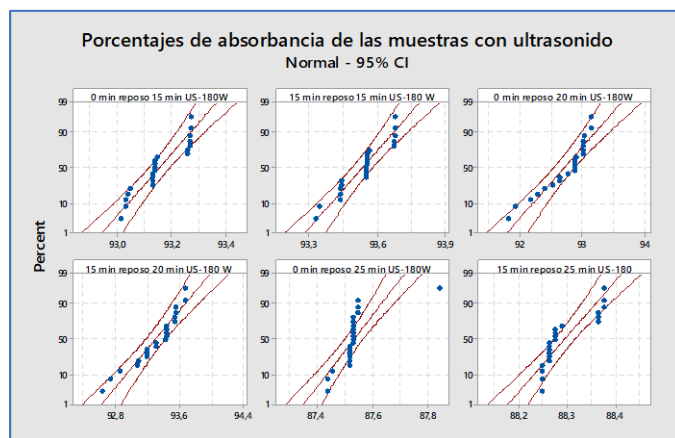


Fig. 3. Porcentajes de absorbancia de las muestras con aplicación de 15, 20 y 25 min de US

Asimismo, se analizaron y compararon las muestras sin aplicación y con aplicación del ultrasonido, según lo descrito en los párrafos anteriores, lo cual de plasma en la figura 4 y los datos estadísticos se describen en la tabla 3.

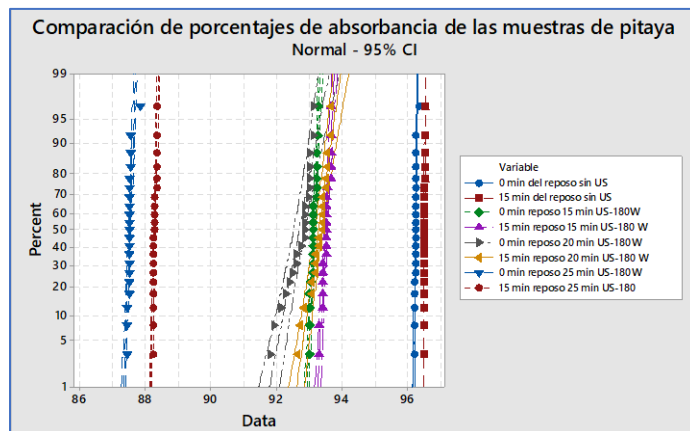


Fig. 4. Comparación de porcentajes de absorbancia de las muestras sin aplicar US y con aplicación de 15 min, 20 min y 25 min de US en el pulpeado

TABLA 3

DATOS ESTADÍSTICOS GENERADOS POR LOS PORCENTAJES DE ABSORBANCIA

	Mean	StDev	N	AD	P
0 min del reposo sin US	96,27	0,02653	21	4,405	<0,005
15 min del reposo sin US	96,55	0,003433	21	1,338	<0,005
0 min reposo 15 min US-180W	93,16	0,08973	21	1,158	<0,005
15 min reposo 15 min US-180 W	93,53	0,1077	21	0,892	0,018
0 min reposo 20 min US-180W	92,71	0,3905	21	1,054	0,007
15 min reposo 20 min US-180 W	93,31	0,2896	21	0,673	0,067
0 min reposo 25 min US-180W	87,53	0,07803	21	3,356	<0,005
15 min reposo 25 min US-180W	88,29	0,05055	21	2,395	<0,005

De los datos analizados con Minitab 17, al interpretar las gráficas de probabilidad mostradas en la figura 3, se observa que cuando se aplicó 20 min de US a 180 W, se mantienen dentro las líneas de borde de confianza, tanto de los datos medidos inmediatamente al retirarse del reposo, como de los datos obtenidos cuando pasaron 15 min a temperatura y luz ambiental, siendo el segundo quien presenta la mayor cantidad de datos cercanos a la línea intermedia, lo cual nos indica que existe más cercanía a una probabilidad máxima.

Asimismo, interpretando los datos estadísticos generados, el valor AD (Anderson – Darling) usado por Minitab 17 para medir las desviaciones entre las líneas ajustadas y la función de paso no paramétrica, con la cual se calcula “p”, que es la probabilidad medidora de la evidencia frente a la hipótesis nula, donde un mayor valor de “p” y menor valor de “AD”, señala un mejor ajuste de los datos [69].

El resultado obtenido de los datos experimentales recopilados del tratamiento de la pulpa de pitahaya en relación con los datos estadísticos mostrados en la Tabla 3, se puede corroborar lo observado en las Figuras 3 y 4; encontrando que, la muestra que presentó el mayor valor de “p” igual a 0,067 y el menor valor de AD equivalente a 0,673, es la que se mantuvo a 15 minutos a temperatura y luz ambiental, después de retirarla del reposo y oscuridad, a la cual se le aplicó 20 minutos de ultrasonido a 180 W de potencia y 40 kHz de frecuencia, con lo que se puede afirmar que dicha muestra cumple una distribución normal, respecto a las demás muestras analizadas en nuestra investigación, en comparación a lo propuesto por Torres–Valenzuela, et al. [57] que aplicaron 22 minutos de US a 222 W y 35 kHz, logrando en nuestro estudio disminuir la potencia y el tiempo y aumentando la frecuencia de aplicación de US, que permitieron lograr una mayor conservación de las propiedades antioxidantes de la pulpa de la pitahaya.

Actualmente, el uso del ultrasonido se está aplicando a nivel industrial en ciertas empresas alimentarias, en la congelación, homogenización, deshidratación, entre otros procesos, reduciendo la temperatura y tiempo de procesamiento, pero también se requiere realizar una investigación más extensa a nivel industrial [70], ya que aún se encuentra en proceso de implementación por los costos que generan y el equipamiento que se requiere para su uso idóneo. Se ha realizado un prototipo industrial en una bodega de vino, aplicando ultrasonido a 27 kHz en las uvas estrujadas y en la maceración, encontrando efectos positivos en los mecanismos de extracción del proceso [71].

Existen distintas técnicas estandarizadas, tales como DDPH, FRAP, ABTS, ORAC, que al relacionarlo con la absorbancia de sus longitudes de onda en el espectrofotómetro permiten medir la capacidad antioxidante, cuyos resultados se expresan en Trolox equivalente, ácido gálico equivalente, entre otras. En nuestra investigación se utilizó el método DPPH estandarizado [66], [67], ya que es uno de los métodos con mejores resultados y que ha sido más aplicado y usado en la industria alimentaria [68], [72]. Asimismo, para expresar la capacidad antioxidante (CAO) de la pulpa de pitahaya, se utilizó la CAO equivalente de Trolox (TE o TEAC), que mide la fuerza antioxidante de alimentos, suplementos y bebidas y obtuvo mejor capacidad antioxidante que otros ensayos [73], [74]. El ensayo TEAC se puede automatizar y combinar con HPLC para identificar componentes bioactivos en frutas [75].

Se preparó una curva de calibración a diferentes concentraciones de Trolox equivalente (de 10  $\mu$ M a 60  $\mu$ M) en el eje “x” versus el porcentaje de inhibición o absorbancia de los radicales DPPH en el eje “y”, dando una ecuación resultante de  $y = 1,6281x - 1,9125$  y un  $R^2$  igual a 0,996. Al reemplazar el promedio de porcentaje de inhibición de la muestra a la cual se le aplicó 20 minutos de ultrasonido a 180 W de potencia y 40 kHz de frecuencia, que es la que tuvo mayor pertinencia en nuestra investigación, en la ecuación obtenida de la curva de calibración, se encontró un valor 58,49  $\mu$ M de Trolox equivalente, y al comparar con los 60,48  $\mu$ M de la muestra con el mismo tiempo de reposo, que no recibió ultrasonido se logró demostrar que las propiedades antioxidantes se conservan en un 96,71 %, lo cual es mayor al 90 % de conservación de capacidad antioxidante encontrada por Torres–Valenzuela, et al. [57] y al 79 % calculada por Li et al. [33], en sus estudios respectivos.

#### IV. CONCLUSIONES

Las técnicas de procesamiento de las frutas evolucionan constantemente y se requiere que sus productos procesados tengan alta calidad y conserven sus propiedades naturales. La pitahaya es una de las frutas que presenta gran cantidad de compuestos bioactivos y en nuestra investigación hemos aplicado un procesamiento idóneo para la conservación de los antioxidantes de su pulpa por la vital importancia que tienen en el funcionamiento de nuestro organismo.

Se seleccionaron y analizaron los estudios más significativos sobre las características que presenta la fruta pitahaya, los antioxidantes presentes en las frutas y la función que cumplen en los seres humanos, así como las probables consecuencias de su deficiencia; además, se analizaron las principales técnicas de procesamiento de alimentos, frutas y hortalizas.

Los tratamientos tradicionales usados en el procesamiento y ultraprocesamiento de las frutas, permiten aumentar la vida útil de las mismas, pero alteran sus propiedades y contenido nutricional, aumenta la posibilidad de contraer o estar propenso a adquirir enfermedades, por la modificación de su composición fitoquímica y nutricional, limitando el aprovechamiento satisfactorio de sus propiedades naturales en los productos obtenidos.

De los tratamientos analizados para conservar compuestos bioactivos de frutas, se pudo inferir que, la aplicación del ultrasonido en alta potencia y baja frecuencia en el procesamiento de la pulpa de la pitahaya puede ser más ventajosa que los tratamientos convencionales por ser eficiente y no térmica, y permiten conservar las propiedades nutricionales para aprovecharlas en sus productos procesados y derivados, siendo las betalainas, los componentes esenciales ya que presentan excelentes propiedades antioxidantes y prebióticas, neutralizando los radicales libres en exceso generados por las reacciones químicas y bioquímicas en los seres humanos.

Resulta primordial conservar y determinar los valores de antioxidantes en los productos finales que, con los datos experimentales analizados, se encontró que la aplicación de 20 minutos de ultrasonido a 180 W, 40 kHz de frecuencia y expuesto a temperatura y luz ambiental por 15 minutos como mínimo, permiten conservar las propiedades antioxidantes de la pitahaya para su posterior disposición y consumo, recomendando investigar sobre otros parámetros óptimos o específicos de tiempo, frecuencia y potencia de aplicación del ultrasonido en el pulpeado de la pitahaya, así como también realizar el estudio de su consumo adecuado en sus posibles aplicaciones o presentaciones.

Finalmente, se obtuvo un valor de 58,49  $\mu\text{M}$  de Trolox equivalente para la aplicación de 20 minutos de ultrasonido a 180 W y 40 kHz de frecuencia que se mantuvo a temperatura y luz ambiental por 15 minutos, comparado con 60,48  $\mu\text{M}$  de Trolox equivalente para la muestra de pulpa de pitahaya a la que no se aplicó ultrasonido y que también estuvo durante el mismo tiempo a temperatura y luz ambiental, encontrándose que las propiedades antioxidantes se conservan en un 96,71 %, respecto a dicha muestra sin ultrasonido.

#### RECONOCIMIENTO

A mi asesor, Dr. Iván Reyes López de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Trujillo, por su apoyo en las diferentes etapas de la investigación. Al Dr. César Monteza Arbulú, decano de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo – Lambayeque por permitirme desarrollar la investigación experimental en el laboratorio de la facultad.

#### REFERENCIAS

[1] A. Verona–Ruiz, J. Urcia–Cerna y L. Paucar–Menacho. “Pitahaya (*Hylocereus spp.*): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds”, *Scientia Agropecuaria*, vol. 11, no. 3, pp. 439–453, 2020.

[2] P. Esquivel y Y. Araya, “Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus sp.*) y su potencial de uso en la industria alimentaria”. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, vol.3, no 1, pp. 113–129, 2012.

[3] J. Montesinos, L. Rodríguez–Larramendi, R. Ortiz–Pérez, M. Fonseca–Flores, G. Ruiz, y F. Guevara–Hernández, “Pitahaya (*Hylocereus spp.*) Un recurso Fitogenético con historia y futuro para el trópico Seco mexicano”. *Cultivos Tropicales*, vol. 36, pp. 67–76, 2015.

[4] P. Paško, A. Galanty, P. Zagrodzki, P. Luksirikul, D. Barasch, A. Nemirovski, y S. Gorinstein, “Dragon fruits as a reservoir of natural polyphenolics with chemopreventive properties”, *Molecules*, vol. 26 no 8, 2021.

[5] J. Giménez, “Caracterización de zumo y bagazo de pitaya y bioaccesibilidad de sus principales compuestos bioactivos”, tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, 2021.

[6] M. Coronado, S. Vega, R. León, M. Gutiérrez, M. Vásquez, y C. Radilla, “Antioxidants: Present perspective for the human health; [Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana]”. *Revista chilena de nutrición*, vol. 42, no 2, pp. 206–212, 2015.

[7] G. Vierci y E. Ferro, “Total antioxidant capacity associated to the intake of fruits and vegetables in young adults from Asuncion, Paraguay; [Capacidad antioxidante total vinculada a la ingesta de frutas y verduras en adultos jóvenes de Asunción, Paraguay]”. *Nutrición Hospitalaria*, vol. 36, no 1, pp. 118–124, 2018.

[8] C. Manach, A. Scalbert, C. Morand, C. Remesy, y L. Jimenez, “Polyphenols: food sources and bioavailability”, *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 79, no 5, pp. 727–747, 2004

[9] A. La Rosa, G. Rodríguez y R. Taco, “Native fruits of Peru as a potential source of nutrients, bioactive compounds and antioxidant capacity in the nutritional requirements of vulnerable groups. [Frutas nativas do Peru como fonte potencial de nutrientes, compostos bioativos e capacidade antioxidante nas necessidades nutricionais de grupos vulneráveis; Frutos nativos de Perú como fuente potencial de nutrientes, compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el requerimiento nutricional de grupos vulnerables]”, *Revista de la Facultad de Agronomía*, vol. 38, no 2, pp. 421–440, 2021.

[10] A. Sanín, D. Navia, y J. Serna–Jiménez, “Functional foods from crops on the northern region of the south american andes: The importance of blackberry, yacon, açai, yellow pitahaya and the application of its biocompounds”, *International Journal of Fruit Science*, vol. 20, no S3, pp. S1784–S1804, 2020.

[11] K. Figueroa–Septúlveda, N. Castillo–Robles y J. Martínez–Girón, “Aplicación de altas presiones y otras tecnologías en frutas como alternativa de tratamientos térmicos convencionales”, *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, vol. 19, no 2, pp. 271–285, 2021

[12] R. Blanco–Rojo, H. Sandoval–Insausti, E. López–García, A. Graciani, J. Ordovás, J. Banegas, F. Rodríguez–Artalejo y P. Guallar–Castillón, Consumption of Ultra-Processed Foods and Mortality: A National Prospective Cohort in Spain, *Mayo Clinic Proceedings*, vol. 94, no. 11, pp. 2178–2188, 2019.

[13] M. Lawrence y P. Baker, “Ultra–processed food and adverse health outcomes”, *BMJ*, vol. 36, no 12289, 2019.

[14] A. Rico–Campá, M. Martínez–González, I. Álvarez–Álvarez, R. De Deus, C. De la Fuente–Arrillaga, C. Gómez–Donoso, y M. Bes–Rastrullo, “Association between consumption of ultra-processed foods and all–cause mortality: SUN prospective cohort study”, *BMJ*, no 365, 2019.

[15] L. Moreno–Galarraga, I. Martín–Álvarez, A. Fernández–Montero, B. Santos, E. Ciriza y N. Martín–Calvo, “Consumption of ultra-processed products and wheezing respiratory diseases in children: The SENDO project”, *Anales de Pediatría*, no. 95, pp. 18–25, 2021.

[16] J. Gamboa–Santos, J. Rodríguez, G. Carvajal y A. Pilamala, “Aplicación de tecnologías emergentes al procesamiento de frutas con elevada calidad nutricional – Una revisión”, *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, vol. 3, no 1, 57–75, 2016.

[17] S. Naik, D. Suryawanshi, M. Kumar y R. Waghmare, “Ultrasonic treatment: A cohort review on bioactive compounds, allergens and physico-chemical properties of food”, *Current Research in Food Science*, no. 4, pp. 470–477, 2021.

[18] Y. Campo–Vera, V. Gélvez–Ordóñez y A. Ayala–Aponte, “Ultrasonido en el procesamiento (homogenización, extracción y secado) de alimentos”, *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, vol. 16, no 1, pp. 102–113, 2018.

[19] X. Fu, T. Belwal, G. Cravotto y Z. Luo, “Sono-physical and sono-chemical effects of ultrasound: Primary applications in extraction and freezing operations and influence on food components”. *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 20, no 10472, 2020.

[20] F. Shi, Z. Jiang, J. Xu, X. Bai, Q. Liang y Z. Fu, “Optimized extraction of phenolic antioxidants from red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) seeds by subcritical water extraction using response surface methodology”, *Journal of Food Measurement and Characterization*, no. 16, pp. 2240–2258, 2022.

[21] E. Mercado–Silva, “Pitaya – *Hylocereus undatus* (Haw)”. *Exotic Fruits, Reference Guide*, pp.339–349, 2018.

[22] M. Ricalde y J. Andrade, “La pitahaya, una delicia tropical”, *Ciencia – Academia Mexicana de Ciencias*, vol. 60, no 3, pp. 36–43, 2009



- [23] A. Obregón-La Rosa, E. Contreras-López, C. Elías-Peñafield, A. Muñoz-Jauregui, R. Yuli-Posadas y E. Córdor-Salvatierra, "Perfil nutricional y fisicoquímico de la pitahaya cultivada en la costa central del Perú", *Revista de la Facultad de Agronomía*, vol. 39, no. 1, 2022.
- [24] H. Jiang, W. Zhang, X. Li, C. Shu, W. Jiang, y J. Cao, "Nutrition, phytochemical profile, bioactivities and applications in food industry of pitaya (*Hylocereus spp.*) peels: A comprehensive review", *Trends in Food Science & Technology*, vol. 116, pp. 199–217, 2021.
- [25] M. Arivalagan, G. Karunakaran, T. Roy, M. Dinsha, B. Sindhu, V. Shilpashree, G. Satisha y K. Shivashankara, "Biochemical and nutritional characterization of dragon fruit (*Hylocereus species*)", *Food Chemistry*, no. 353, 2021.
- [26] Z. Chen, B. Zhong, C. Barrow, F. Dunshea y H. Suleria, "Identification of phenolic compounds in Australian grown dragon fruits by LC-ESI-QTOF-MS/MS and determination of their antioxidant potential", *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 14, no. 6, 2021.
- [27] T. Le y N. Le, "Antioxidant capacities and betacyanin LC-MS profile of red-fleshed dragon fruit juice (*Hylocereus polyrhizus*) extracted by ultrasound-assisted enzymatic treatment and optimized by response surface methodology", *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 45, no. 3, 2021.
- [28] N. Al-Mekhlafi, A. Mediani, N. Ismail, F. Abas, T. Dymerski, M. Lubinska-Szczygeł, S. Vearasilp y S. Gorinstein, "Metabolomic and antioxidant properties of different varieties and origins of dragon fruit", *Microchemical Journal*, no. 160, 2021.
- [29] N. Razali, S. Sargent, C. Sims, J. Brecht, A. Berry y G. Cheng, "Potential of postharvest coatings to maintain freshness of red-fleshed pitaya (*Hylocereus costaricensis*)", *Agriculture (Switzerland)*, vol. 11, no. 9, 2021.
- [30] A. Viana, A. Dionisio, G. Moreira, F. Pinto, G. Silvestre, R. Lima, H. Rodrigues, G. Dos Santos, I. Da Silva, A. Guirado, C. Taniguchi, M. Passos y G. Zocolo, "Microfiltered red-purple pitaya colorant: UPLC-ESI-QTOF-MSE-based metabolic profile and its potential application as a natural food ingredient" *Food Chemistry*, vol. 330, no. 127222, 2020.
- [31] M. Arriaga-Ruiz, C. Neri-Luna, E. Pimienta-Barríos y J. Sánchez-Martínez, "El fruto del pitayo silvestre (*Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum), una alternativa alimenticia, nutricional, y socioeconómica en época de estiaje", *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, vol. 2, no. 3, pp. 362–367, 2015.
- [32] S. Machado, A. Dionisio, M. Oliveira, C. Gomes, G. Silvestre, L. Coelho, G. Moreira, F. Pinto, F. Alves, E. De Lima, J. Arruda, D. Ferreira, M. Florindo y G. Zocolo, "Metabolic profile of pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) (F.A.C. Weber) Britton & Rose by UPLC-QTOF-MS<sup>E</sup> and assessment of its toxicity and anxiolytic-like effect in adult zebrafish", *Food Research International*, no. 127, pp. 108701, 2020.
- [33] X. Li, Z. Zhang, J. Qiao, W. Qu, M. Wang, X. Gao, C. Zhang, C. Brennan y X. Qi, "Improvement of betalains stability extracted from red dragon fruit peel by ultrasound-assisted microencapsulation with maltodextrin", *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 82, pp. 105897, 2022.
- [34] Ş. H. Attar, M. Gündeşli, I. Ürün, S. Kafkas, N. Kafkas, S. Ercisli, C. Ge, J. Mlcek y A. Adamkova, "Nutritional Analysis of Red-Purple and White -Fleshed Pitaya (*Hylocereus*) Species", *Molecules*, vol. 27, no. 3, pp. 808, 2022).
- [35] L. Constantino, D. Zeffa, M. Ventorim, L. Gonçalves, A. Marcos, A. Dos Santos, L. Rossetto, S. Alves, J. Resede y L. Takahashi, "Nutritional quality and technological potential of pitaya species. [Qualidade nutricional e potencial tecnológico de espécies de pitaya]", *Semina: Ciências Agrárias*, vol. 42, no. 3, pp. 2023-2030, 2021
- [36] A. Gengatharan, G. Dykes y W.S. Choo, "Betacyanins from *Hylocereus polyrhizus*: Pectinase-assisted extraction and application as a natural food colourant in ice cream", *Journal of Food Science and Technology*, vol. 58, no. 4, pp. 1401–1410, 2021.
- [37] M. Royer, P. Diouf y T. Stevanovic, "Polyphenol contents and radical scavenging capacities of red maple (*Acer rubrum L.*) extracts", *Food and Chemical Toxicology*, vol. 49, no. 9, pp. 2180–2188, 2011.
- [38] V. Balderas, L. Palafox, S. Castro y C. Saucedo, "Evaluación de las propiedades físicas y calidad organoléptica y nutricional de frutos de pitaya (*Stenocereus pruinosus*)". *Revista Iberoamericana de Ciencias*, vol. 3, no. 7, pp. 86–92, 2016.
- [39] P. Pasko, A. Galanty, P. Zagrodzki, Y. Gyu, P. Luksirikul, M. Weisz y S. Gorinstein, "Bioactivity and cytotoxicity of different species of pitaya fruits – A comparative study with advanced chemometric analysis". *Food Bioscience*, vol. 40, pp. 100888, 2021.
- [40] N. Al-Radadi, "Biogenic proficient synthesis of (Au-NPs) via aqueous extract of red dragon pulp and seed oil: Characterization, antioxidant, cytotoxic properties, anti-diabetic anti-inflammatory, anti-alzheimer and their anti-proliferative potential against cancer cell lines", *Saudi Journal of Biological Sciences*, vol. 29, no. 4, pp. 2836–2855, 2022.
- [41] C. Chuck-Hernández, R. Parra-Saldívar y L. Sandate-Flores, "Pitaya (*Stenocereus spp.*)", *Enciclopedia of Food and Health*, pp. 385–391, 2016.
- [42] A. Tapia, J. Rodriguez, C. Theoduloz, S. López, G. Egly y Schmeda-Hirschmann, "Free radical scavengers and antioxidants from baccharis grisebachii", *Journal of Ethno-pharmacology*, vol. 95, pp. 155–161, 2004.
- [43] A. Cheok, Y. Xu, Z. Zhang, P. Caton y A. Rodriguez-Mateos, "Betain-rich dragon fruit (pitaya) consumption improves vascular function in men and women: A double-blind, randomized controlled crossover trial", *American Journal of Clinical Nutrition*, vol. 115, no. 5, pp. 1418–1431, 2022.
- [44] C. Moreno-Ley, G. Osorio-Revilla, D. Hernández-Martínez, O. Ramos-Monroy y T. Gallardo-Velázquez, "Anti-inflammatory activity of betalains: A comprehensive review", *Human Nutrition & Metabolism*, vol. 25, pp. 200126, 2021.
- [45] R. Núñez-Musa, A.J. Núñez-Sellés, W. Mañón Rossi, R. Guillén-Marmolejos, G. Martínez-Sánchez y A. Selman-Almonte, "Posibilidades de la terapia antioxidante en diabetes mellitus tipo 2. Estudio del estrés oxidativo en una muestra poblacional de pacientes diabéticos", *Ciencia y salud*, vol. 4, no. 3,71–93, 2020.
- [46] W. Tamagno, A. Vanin, N. Sutorillo, D. Bilibio, R. Dada, L. Colla, D. Zamberlan, R. Kaizer, y L. Barcellos, "Fruit extract of red pitaya (*Hylocereus undatus*) prevents and reverses stress-induced impairments in the cholinergic and antioxidant systems of caenorhabditis elegans", *Journal of Food Biochemistry*, vol. 46, no. 4, 2022.
- [47] L. García-Cruz, M. Dueñas, C. Santos-Buelgas, S. Valle-Guadarrama y Y. Salinas-Moreno, "Betalains and phenolic compounds profiling and antioxidant capacity of pitaya (*Stenocereus spp*) fruit from two species (*S. pruinosus* and *S. stellatus*)", *Food Chemistry*, vol. 324, pp. 111–118, 2017.
- [48] P. Ho, D. Tran, M. Latm y B. Nicolai, "Effect of controlled atmosphere storage on the quality attributes and volatile organic compounds profile of dragon fruit (*Hylocereus undatus*)", *Postharvest Biology and Technology*, vol. 173, pp. 111406, 2021.
- [49] G. Moreira, A. Dionisio, H. Rodrigues, F. Pinto, S. Machado, A. Viana, G. Silvestre, J. Carvalho, I. Da Silva, A. Guirado, D. Ferreira y G. Zocolo, "Effects of processing on the chemical, physicochemical, enzymatic, and volatile metabolic composition of pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (F.A.C. Weber) Britton & Rose)", *Food Research International*, vol. 127, no. 108710, 2020.
- [50] G. Jaramillo, "Cambios en la estructura y las propiedades fisicoquímicas de frutos de arándano por aplicación de factores emergentes de conservación" tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, 2019.
- [51] K. Sheng, S. Wei, J. Mei, y J. Xie, "Chilling injury, physicochemical properties, and antioxidant enzyme activities of red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) fruits under cold storage stress", *Phyton*, vol. 90, no. 1, pp. 291–305, 2021.
- [52] A. Silotry, D. Suryawanshi, M. Kumar y R. Waghmare, "Ultrasonic treatment: A cohort review on bioactive compounds, allergens and physicochemical properties of food", *Current Research in Food Science*, vol. 4, pp. 470–477, 2021.
- [53] S. Kentish, y M. Ashokkumar, "The physical and chemical effects of ultrasound", *Ultrasound Technologies for food and bioprocessing*, pp. 1-13, 2011.
- [54] J. Fajardo Daza, F. Herrera Ruales, C. Ibarra Cabrera y D. Perdomo, "Optimización de la extracción de polifenoles en granos de cacao asistida por ultrasonidos", *Vitae*, vol. 27, no. 1, 2020.
- [55] H. Ciudad, "Aplicación de ultrasonidos al cocinado de los alimentos", tesis doctoral, Universidad Zaragoza, 2018.
- [56] X. Cheng, M. Zhang, B. Xu, B. Adhikari y J. Sol, "The principles of ultrasound and its application in freezing related processes of food materials: A review", *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 27, pp. 576–585, 2015.
- [57] L. Torres-Valenzuela, J. Serna-Jiménez, V. Pinto y D. Vargas, "Evaluación de las condiciones de extracción asistida por ultrasonido de compuestos bioactivos de cáscara de pitahaya amarilla", *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 17, no. 1, pp. 70–83, 2021.

- [58]M. Legay, N. Gondrexon, S. Le Person, P. Boldo y A. Bontemps, “Enhancement of heat transfer by ultrasound: Review and recent advances”, *International Journal of Chemical Engineering*, 2011.
- [59]T. Awad, H. Moharram, O. Shaltout, D. Asker y M. Youssef, “Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review”. *Food Research International*, vol. 48, no. 2, pp. 410–427, 2012.
- [60]M. Ashokkumar, “Applications of ultrasound in food and bioprocessing”, *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 25, pp. 17–23, 2015.
- [61]C. Saenjurn, T. Pattananandecha y K. Nakagawa, “Antioxidative and anti-inflammatory phytochemicals and related stable paramagnetic species in different parts of dragon fruit”, *Molecules*, vol. 26, no. 12, 2021.
- [62]M. Pérez–Loredo, L. Hernández–De Jesús y B. Barragán–Huerta, “Extracción de compuestos bioactivos de pitaya roja (*Stenocereus stellatus*) aplicando pretratamientos con microondas, ultrasonido y enzimáticos”, *Agrociencia* vol. 51, pp. 135–151, 2017.
- [63]N. Uslu y M. Özcan, “The effect of ultrasound–vacuum-assisted extraction on bioactive properties of pitaya (*Hylocereus undatus*)”, *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 56, no. 12, pp. 6618–6625, 2021.
- [64]E. Lupuche, J. Pérez, M. Medina–Pizzali, L. Gutiérrez y E. Suárez, “Chemical characterization, polyphenol content and antioxidant capacity of two pitahaya ecotypes (*Hylocereus spp.*). [Caracterización química, contenido de polifenoles y capacidad antioxidante de dos ecotipos de pitahaya (*Hylocereus spp.*)]”, *Revista Facultad Nacional De Agronomía Medellín*, vol. 74, no. 3, pp. 9723–9734, 2021.
- [65]J. Gallego–Juárez, M. Villamiel, J. García–Pérez, A. Montilla, J. Cárcel y J. Benedito, “Basic principles of ultrasound”, *Ultrasound in Food Processing. Recent advances*, ed. 1, pp. 4–26, 2017.
- [66]W. Brand – Williams, M. Cuvelier y C. Berset. Use of Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 28 no. 1, pp 25–30, 1995.
- [67]A. Ruiz–Toralba, E. Guerra–Hernández y B. García–Villanova. Antioxidant capacity, polyphenol content and contribution to dietary intake of 52 fruits sold in Spain. *CyTA - Journal of Food*, vol. 16, no. 1, pp. 1131–1138, 2018.
- [68]C. Soler–Rivas, J. Espín y H. Wichers. An Easy and Fast Test to Compare Total Free Radical Scavenger Capacity of Foodstuffs. *Phytochemical Analysis*, vol. 11, no. 2, pp. 330–338, 2000.
- [69]“Paquete de software de herramientas estadísticas y de análisis de datos | Minitab”. Data Analysis, Statistical & Process Improvement Tools | Minitab. [En línea]. Disponible: <https://www.minitab.com/es-mx/products/minitab/>. [Accedido: 08–ene–2024]
- [70]E. Caballero–Figueroa, E. Terrés, H. Hernández–Hernández y M. Escamilla–García. Revisión sobre las tecnologías emergentes no térmicas para el procesamiento de alimentos. *TIP, Revista Especializada en Ciencias Químico–Biológicas*, vol 25, pp. 1–14, 2022.
- [71]T. Román, L. Tonidandel, G. Nicolini, R. Larcher y E. Celotti. Efectos del tratamiento con ultrasonido en los precursores tiólicos de las uvas. *Revista Internet de Viticultura y Enología*, vol 6, no. 3, pp. 1–9, 2021.
- [72]I. Gulcin y S.H. Alwasel. DPPH Radical Scavenging Assay. *Processes*, vol 11, pp. 2248, 2023.
- [73]R. Fried. The Polyphenolic Antioxidant Resveratrol, the Carotenoid Lycopene, and the Proanthocyanidin Pycnogenol. *Erectile Dysfunction as a Cardiovascular Impairment*, *Academy press*, pp. 259–291, 2014.
- [74]R. Wołosiak, B. Druzynska, D. Derewiaka, M. Piecyk, E. Majewska, M. Ciecierska, E. Worobiej, y P. Pakosz, Verification of the Conditions for Determination of Antioxidant Activity by ABTS and DPPH Assays—A Practical Approach. *Molecules*, vol 27, no 1, pp. 50, 2022.
- [75]Y. Zhong y F. Shahidi. Methods for the assessment of antioxidant activity in foods. *Handbook of Antioxidants for Food Preservation*, *Woodhead Publishing*, pp 287–333, 2015.