

Sumersión en ultrasonido de la pulpa de pitahaya liofilizada para preservar sus propiedades antioxidantes

Ultrasonic soaking of freeze-dried pitahaya pulp to preserve its antioxidant properties

William Escribano-Siesquén 

Doctorado en Ciencias e Ingeniería, Escuela de Posgrado, Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n – Ciudad Universitaria, Trujillo, Perú.

* Autor correspondiente: p810907721@unitru.edu.pe (W. Escribano-Siesquén)

DOI: [10.17268/rev.cyt.2025.01.02](https://doi.org/10.17268/rev.cyt.2025.01.02)

RESUMEN

La pulpa de pitahaya contiene gran proporción de componentes antioxidantes. Los métodos tradicionales y tratamientos térmicos empleados en el procesamiento de frutas trastocan los constituyentes fitoquímicos y nutracéuticos y restringen el aprovechamiento de sus beneficios, examinando por ello, una técnica innovadora y pertinente que permita la preservación de sus constituyentes, convergiéndose que, para lograr nuestro objetivo, la sumersión en ultrasonido del pulpeado contribuye a la conservación de las propiedades antioxidantes de la pitahaya. En nuestra investigación experimental, se separó la pulpa de pitahaya, seccionándola en rodajas y congelándolas hasta $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$, liofilizándola cerca de 48 horas, se molió la muestra seca y se maceró 7 días en alcohol metílico puro, dividiendo el extracto en diversas fracciones para medir el potencial antioxidante a través del método DPPH con ayuda del espectrofotómetro. Se calculó la capacidad antioxidante directamente en una porción de la muestra filtrada sin sonicación; a otras fracciones similares se les aplicó baños de ultrasonido previos a su disquisición en el espectrofotómetro, determinando que, al aplicar 20 minutos de ultrasonido, 40 kHz de frecuencia y 250 W de potencia, es la más conveniente preservar la capacidad antioxidante de la pulpa de pitahaya.

Palabras clave: Pitahaya; componentes antioxidantes; sonicación; ultrasonido; liofilización.

ABSTRACT

Pitahaya pulp contains a high proportion of antioxidant components. The traditional methods and thermal treatments used in fruit processing alter the phytochemical and nutraceutical constituents and restrict the use of its benefits, therefore, we examined an innovative and relevant technique that allows the preservation of its constituents, converging that, to achieve our objective, the submersion in ultrasound pulping contributes to the preservation of the antioxidant properties of pitahaya. In our experimental investigation, pitahaya pulp was separated, sectioned into slices and frozen at $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$, freeze-dried for about 48 hours, the dry sample was ground and macerated for 7 days in pure methyl alcohol, dividing the extract into different fractions to measure the antioxidant potential through the DPPH method with the help of a spectrophotometer. The antioxidant capacity was calculated directly in a portion of the filtered sample without sonication; to other similar fractions, ultrasound baths were applied prior to their disquisition in the spectrophotometer, determining that, applying 20 minutes of ultrasound, 40 kHz frequency and 250 W of power, is the most convenient to preserve the antioxidant capacity of the pitahaya pulp.

Keywords: Pitahaya; antioxidant components; sonication; ultrasound; freeze-drying.

1. INTRODUCCIÓN

En cien gramos de *Hylocereus spp.* llamada también pitahaya, pitaya o fruta del dragón hay 85 g de agua, 13 g de carbohidratos y los 2 g restantes contienen minerales esenciales, fibra, grasas, proteínas, vitaminas (Verona-Ruiz et al., 2020). Presenta 707 mg de betalaínas por mL de jugo de pulpa; pigmentos con cualidades antioxidantes (Esquivel y Araya, 2012), estimulantes de la activación de la enzima quinona reductasa, con gran poder quimiopreventivo detoxificante de cáncer gastrointestinal actuando en las células de melanoma maligno y previniendo su desarrollo (Montesinos et al., 2015; Pasko et al., 2021). Asimismo, presenta alto porcentaje de componentes bioactivos y sustancias fenólicas de gran acción antioxidante (Giménez, 2021).



Las sustancias antioxidantes presentes en las frutas que ingerimos, favorecen la neutralización de los radicales libres en exceso, que se forman en nuestro organismo, disminuyendo la posibilidad de sufrir enfermedades graves (Coronado et al., 2015; Vieri y Ferro, 2018); suscitando un potencial antialérgico, antimutagénico, antiinflamatorio, antitrombótica y preservando del deterioro oxidativo celular (Giménez 2021; Manach et al., 2004). En Perú encontramos varias frutas con alta capacidad antioxidante, contenido nutricional y compuestos bioactivos tales como pitahaya amarilla, pitahaya roja, aguaymanto, aguaje, camu camu, entre otras y se plantea ingerir este tipo de frutas en un 10 % del total de alimentos diarios que se consumen (La Rosa et al., 2021).

Por lo cual, la industria alimentaria se encuentra en constante investigación, para producir alimentos frescos con mayor vida útil, usando procesos térmicos, evitando la proliferación de microorganismos y preservando las propiedades nutricionales, funcionales y sensoriales, así como los componentes bioactivos, pero durante el procesamiento se modifica la calidad del producto final (Figueroa–Sepúlveda et al., 2021). La ingesta mundial de alimentos industrialmente procesados incrementó cuantiosamente, elaborando productos alimenticios alterados por los procedimientos físico–químicos, añadiendo colorantes, conservantes y similares que pueden modificar su composición natural; su consumo se vincula a enfermedades cardiovasculares, obesidad, hipertensión arterial, cáncer, asma en adultos, diabetes (Blanco–Rojo et al., 2019; Lawrence y Baker, 2019; Rico–Campá et al., 2019), posible padecimiento de bronquitis y enfermedades sibilantes en niños (Moreno–Galarraga et al., 2021).

La sumersión en ultrasonido es un procedimiento moderno para preservar los alimentos (Gamboa–Santos et al., 2016). Es eficaz para extraer compuestos, preservando los compuestos bioactivos y calidad nutricional en sus productos derivados (Naik et al., 2021; Campo–Vera et al., 2018). Los efectos sonoquímicos y sonofísicos mejoran la calidad de los alimentos procesados mediante el baño de ultrasonido (Fu et al., 2020).

En esta investigación se tiene el objetivo de evaluar experimentalmente el tiempo de sumersión en ultrasonido a frecuencia y potencia establecida para calcular la capacidad antioxidante con el método DPPH, examinando la absorbancia en el espectrofotómetro y contrastándolos con los estudios más relevantes de sonicación en el tratamiento de frutas para preservar los componentes antioxidantes de la pulpa de pitahaya liofilizada.

2. METODOLOGÍA

Se examinaron los estudios más relevantes sobre la fruta pitahaya, principalmente de la capacidad antioxidante y de los beneficios que generan en el organismo humano. Se utilizó un método estandarizado para extraer sustancias antioxidantes, adaptándolo en el pulpeado de la pitahaya y fundamentándolo en el procesamiento aplicados a otras frutas similares, dándoles diferentes tiempos de baño de ultrasonido a frecuencia y potencia determinada, para conservar las propiedades antioxidantes de la pulpa de la pitahaya liofilizada.

2.1 Materiales, equipos y reactivos

En la presente investigación experimental se utilizaron los siguientes materiales y equipos del laboratorio de investigación de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo (UNPRG) de Lambayeque y otros que se requirieron según el método planteado.

Los materiales utilizados son los siguientes: pitahaya amarilla de pulpa blanca, cuchillos de acero inoxidable, tablas de picar, matraces aforados de 50 mL color ámbar, tubos de fondo cónico, papel filtro, embudo de vidrio, vasos de precipitación, micropipeta, probetas, papel Parafilm, papel toalla, cubetas de cuarzo.

Los equipos usados fueron los siguientes: Balanza digital Kern – FCB 12 k1, balanza analítica digital Ohaus – Adventurer, equipo liofilizador Biobase BK-FD10T conectado a una bomba de vacío 2XZ–2 Rotary Vane, molino Ika – Werke M20, determinador de humedad Kern DAB 100–3, centrífuga Pro Analytical CR4000R, espectrofotómetro Genesys 30, Equipo de Baño Ultrasónico Digital Lab Companion, modelo UCP–10.

Se adquirieron y emplearon los reactivos siguientes: Reactivo DPPH (Sigma – Aldrich – Merck), metanol de grado analítico para uso espectrofotométrico (HPLC) de J.T. Baker, reactivo Trolox.

2.2 Procedimiento y métodos

Los datos obtenidos de la lectura espectroscópica permitieron hallar el porcentaje de absorbancia o inhibición, siguiendo el método DPPH. Se tomaron las medidas de absorbancia cada 30 segundos por un tiempo de 10 minutos, por cada muestra, tanto a la que no se aplicó ultrasonido y también a las muestras a las que se les aplicó 15, 20 y 25 minutos de sumersión en ultrasonido, los cuales fueron analizados con el software Minitab 17, por ser altamente potente en los procedimientos estadísticos y generación de gráficos integrados, seleccionando y conjugando los datos ingresados que son identificados por el software y determinando el análisis estadístico correcto, permitió evaluar la calidad y diseñar experimentos; además, se trabajó diferentes

tipos de datos numéricos, de texto, de fecha y hora, entre otros; relacionando las variables y permitiendo generar informes de resumen, de diagnóstico, de estadísticas descriptivas, tarjetas de informe y comparación de resultados.

Para calcular la capacidad antioxidante (CAO) de la pulpa de pitahaya liofilizada, experimentalmente, se planteó la metodología siguiente:

Tabla 1. Metodología para calcular la capacidad antioxidante de la pulpa de pitahaya liofilizada

| Itinerario | Actividades | Equipo, reactivo o material empleado |
|---|---|--|
| Elección de la fruta | Selección de los frutos maduros de la pitahaya amarilla de pulpa blanca | |
| Acondicionamiento de la muestra | Lavado externo de fruta Secado externo de fruta Pesado de fruta entera Extracción manual de pulpa Pesado de pulpa y cáscara Corte de la pulpa en rodajas | Hipoclorito de sodio al 200 ppm Papel toalla blanco Balanza digital, Kern–FCB 12 k1 Cuchillo de acero inoxidable Balanza digital, Kern–FCB 12 k1 Cuchillo de acero inoxidable |
| Congelado y liofilizado | Colocación de rodajas en bandejas para congelar Congelamiento de muestra por 28 horas Liofilización de muestra congelada | Bandejas metálicas (3) para liofilizador Congelador – liofilizador Biobase BK-FD10T Liofilizador Biobase BK-FD10T y bomba de vacío 2XZ–2 Rotary Vane |
| Molienda y Tamizado | Pulverización de la muestra seca Cernido de muestra pulverizada | Molino Ika – Werke M20 Malla N° 200 |
| Determinación de humedad | Pesar una porción y llevar la muestra para cálculo de humedad | Determinador de humedad Kern DAB 100–3 |
| Preparación de muestra para análisis | Pesado de muestra seca molida y tamizada Macerado metanólico de muestra y agitación manual Filtración y centrifugación de macerado | Balanza analítica digital Ohaus – Adventurer Matraces aforados de color ámbar, metanol, muestra de pitahaya Papel filtro y embudo, tubos fondo cónico, Centrifuga Pro Analytical CR4000R |
| Extracción de sustancia bioactiva | Aplicación del método DPPH Extracción de antioxidantes en porción 1 sin sonicación Extracción de antioxidantes en porción 2, 3, 4 con sonicación | Método DPPH estandarizado Reactivo DPPH (Sigma – Aldrich – Merck) Equipo de Baño Ultrasónico Digital Lab Companion, modelo UCP–10, reactivo DPPH |
| Sumersión en ultrasonido (US) | Sumersión en US a 40 kHz de frecuencia y 250 W de potencia, en los tiempos de: 15 minutos de sonicación 20 minutos de sonicación 25 minutos de sonicación | Equipo de Baño Ultrasónico Digital Lab Companion, modelo UCP–10 |
| Medición de la absorbancia | Colocación de las muestras sin US y con US en el espectrofotómetro Registro de datos de absorbancia | Cubetas de cuarzo Espectrofotómetro Genesys 30 a 517 nm Software Excel y Minitab 17 |
| Cálculo de Capacidad Antioxidante (CAO) | Cálculo del % absorbancia Comparación del % absorbancia con Trolox equivalente | Curva de calibración de Trolox Equivalente Reactivo Trolox |

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La ingesta de productos derivados de la pitahaya ha crecido en la actualidad y es primordial, preservar las sustancias fenólicas (Shi et al., 2022) y antioxidantes de las frutas por la sonicación en el pulpeado (Fu et al., 2020) y por la gran proporción de antioxidantes en su pulpa, es vital su conservación a través del ultrasonido, aplicándolo en condiciones idóneas para optimizar la calidad de sus derivados y propiedades nutraceuticas.

3.1 Resultados

3.1.1. Características y propiedades de la pitahaya

Conocida también como pitaya (*Hylocereus undatus*), fruta del dragón (dragon fruit), de procedencia centroamericana, desarrollada copiosamente en Asia y América (Ecuador, Colombia, México) en variedades amarillas y rojas, principalmente (Mercado–Silva, 2018); en Japón y Europa usan su pulpa como postre gourmet (Ricalde y Andrade, 2009). En los frutos de la costa del Perú, se determinó que, por cada 100 g de pulpa de pitaya presenta 4,70 g de fibras; 14,74 mg de ácido ascórbico; 215,83 mg de K, entre otras sustancias como Mn, Fe, Zn, P (Obregón–La Rosa et al., 2022) que son benéficas para la salud y nutrición humana,

considerable cantidad de compuestos fenólicos y poca cantidad de calorías (Jiang et al., 2021; Arivalagan et al., 2021; Chen et al., 2021; Le y Le, 2021; Al–Mekhlafi et al., 2021).

La pulpa de la fruta del dragón tiene alto contenido de agua y semillas negras pequeñas (Razali et al., 2021; Constantino et al., 2021), gran potencial industrial, considerable cantidad de betalaínas, sustancias antioxidantes y prebióticas, compuestos químicos que actúan como colorantes alimenticios naturales, es ligeramente ácida por la presencia del ácido málico (Esquivel y Araya, 2012; Viana et al., 2020). La pulpa jugosa y dulce, puede ser de color blanco, rojo, verde, rojizo o morado, dada por las betalaínas y betacianinas de alto valor comercial (Arriaga–Ruiz, 2015; Machado et al., 2020) y puede usarse como aditivo alimentario (Li et al., 2022). Existe más cantidad de sustancias antioxidantes y de componentes fenólicos totales en la pulpa roja respecto a las que se encuentran en la pulpa blanca; aunque la mayoría de sustancias fenólicas libres y el azúcar total, son similares en ambos tipos de especies (Attar et al., 2022).

La pulpa de pitahaya normalmente se consume fresca, tiene aproximadamente 4,5 unidades de pH, por lo que se pretende industrializarlo para preparar cócteles, zumos, postres, yogures, snacks deshidratados, mermeladas (Constantino et al., 2021), además de usarse como pigmentos de helados (Gengatharan et al., 2020). En el presente estudio se utilizó la pitahaya amarilla de pulpa blanca y semillas negras, cuyas características principales (Arriaga–Ruiz, 2015) se encuentran en la tabla 2.

Tabla 2. Principales características de la pitahaya amarilla

| Características | Contenido en cáscara | Contenido en pulpa |
|--------------------------------------|------------------------|---------------------|
| Por cada 100 g de fruta: | | |
| - Agua | 84,16 g (\pm 0,046) | 85 g – 88 g |
| - Sólidos solubles totales (SST) | 10 g – 14 g | 11 g – 13 g |
| - Acidez titulable para ácido málico | 0,20 g – 0,58 g | 0,25 g – 0,58 g |
| - Proteínas | 20 mg – 80 mg | 150 mg – 370 mg |
| - Vitamina C | 8,4 mg – 10,4 mg | 9,6 mg – 13,8 mg |
| pH | 4,2 – 4,7 | 3,9 – 4,6 |
| °Bx | | 12 – 14 |
| Ácido málico en jugo de pulpa | | 6,08 g/L – 8,20 g/L |
| Ácido málico en pulpa fresca | | 0,20 mg – 0,35 mg |

Por consiguiente, la pitaya es un fruto de sustancias nutraceuticas primordiales y su pulpa es adecuada para emplearse en alimentos y derivados, por lo que se propone consumirla por las grandes propiedades que ofrece.

3.1.2 Efectos de las sustancias antioxidantes en los seres humanos

La pulpa de pitahaya presenta 76,4 g (\pm 3,8) de antioxidantes naturales importantes para el organismo humano y 11,1 g (\pm 0,08) de azúcares por cada 100 g de muestra (Balderas et al., 2016). Las sustancias fenólicas son químicamente apropiadas para contrarrestar los radicales libres en exceso, iones metálicos quelantes, generando capacidad antimutagénica en componentes lipídicos que evitan el daño oxidativo celular (Giménez, 2021; Royer et al., 2011). La pitahaya amarilla es una fruta utilitaria con actividad citotóxica (Pasko, 2021; Al–Radadi, 2022).

Las sustancias fenólicas totales se asocian con la capacidad antioxidante, encontrándose 4202,1 mg de trolox/g en la pitaya amarilla que equilibran los radicales libres y protegen de afecciones cardiovasculares y del cáncer de colon (Chuck–Hernández et al., 2016). La oxidación celular puede provocar enfermedades como anemia, diabetes, cáncer, por lo que se trata de hallar sustancias antioxidantes para neutralizar los radicales libres en exceso producidos por el ser humano, encontrando en la pitahaya una gran fuente de sustancias fenólicas y ácido ascórbico (Giménez, 2021).

La ingesta de la pulpa de la *Hylocereus undatus* spp. regulariza la glucemia y el perfil lipídico, su consumo apropiado, regula del riesgo cardiovascular por presencia de betalaínas (Cheok et al., 2022), pueden consumirse como agentes citoprotectores, antiinflamatorios, quimioprotectores, antihipertensivos y anticancerígenos (Moreno–Ley et al., 2021); además es una sustancia preventiva y regenera los daños causados por la diabetes mellitus (Núñez–Musa et al., 2020) y por el envejecimiento de las personas (Tamagno et al., 2022).

Uno de los tipos de la betalaínas es la betacianina encontrando 17,7067 a 22,0536 (\pm 0,3281) mg/g de muestra seca, con CAO de 2,41 a 9,21 μ mol de trolox equivalente/g de muestra seca de compuestos fenólicos que se derivan de las flavanonas, flavonoles e hidroxicinamoilo, que se calculó por el ensayo ABTS (García–Cruz et al., 2017). La pitaya es una fruta de propiedades importantes, pero tiene una vida útil corta, por lo que restringe la posibilidad de exportarla a países distantes, es por ello que se busca condiciones adecuadas para almacenarlos, conservando la calidad de sustancias orgánicas volátiles, color, biocomponentes y acidez total (Ho et al., 2021).

Por lo tanto, se ratifica que los componentes antioxidantes son químicos naturales que favorecen la neutralización de los radicales libres de los seres humanos, encontrando a la pitahaya como una fuente vital de betalaínas y sustancias fenólicas de gran actividad antioxidante.

3.1.3 Principales consecuencias del tratamiento de frutas y los efectos en sus propiedades

El procesamiento de las frutas puede alterar sus propiedades naturales. Las técnicas tradicionales usadas en la industria alimentaria posibilitan la pérdida de sustancias susceptibles a las transformaciones químicas, físicas y microbiológicas (Gamboa–Santos et al., 2016), así como también afecta a las sustancias volátiles y enzimáticas de la pitaya (Moreira et al., 2020).

Los procedimientos térmicos pueden deteriorar la calidad funcional y nutricional de sus productos finales, aunque inactivan a los microorganismos y aumenta la vida útil de la fruta; la ozonificación y la luz UV–C alteran levemente la epidermis y paredes celulares (Jaramillo, 2019). La congelación ayuda a prolongar la durabilidad de frutos frescos, pero conlleva a la pérdida de humedad y sustancias fenólicas totales a 6 °C y calidad y capacidad antioxidante entre 8 °C y 10 °C de la pitahaya (Sheng et al., 2021).

Es por ello que, los tratamientos tradicionales y el ultraprocesamiento de frutas modifican sus características nutricionales y fitoquímicas, restringiendo el aprovechamiento idóneo de sus propiedades naturales, por lo que es primordial encontrar un método adecuado que permita conservar la mayor cantidad de sustancias bioactivas durante el procesamiento de las frutas.

3.1.4 Sumersión de las frutas en ultrasonido (US) para preservar antioxidantes y sustancias bioactivas

La extracción de sustancias a través del ultrasonido (US) conserva los componentes bioactivos y calidad nutracéutica de sus derivados (Silotry et al., 2021), es una tecnología que cuida el medio ambiente, segura, económica y atóxica (Kentish y Ashokkumar, 2011). El potencial antioxidante se mejoró hasta 70 % al aplicar ultrasonido en frutas (melón, piña, papaya, plátano, etc.) respecto a los métodos estándar para calcular polifenoles totales, reduciendo el tiempo de proceso de 25 % a 60 % (Gamboa–Santos et al., 2016) por lo que mejora a los procesos convencionales y conserva la calidad de los alimentos (Campo–Vera et al., 2018). A través del ultrasonido se puede mejorar la extracción de polifenoles (Fajardo et al., 2010) por lo que se recomienda aplicarlo en el pulpeado de la fruta del dragón.

El US permite que la congelación sea muy rápida y los cristales formados, disminuyen los efectos perjudiciales y menor daño en los tejidos que cuando se congelan a velocidades lentas, conservando mejor la configuración química del alimento (Cheng et al., 2015). Al usar US a 0,222 kW y 35 kHz de frecuencia para extraer las sustancias bioactivas de la cáscara de pitaya, reduce el tiempo de tratamiento a 22 minutos comparado con los procesos convencionales, conservando la CAO en orden mayor al 90 % y se halló 973,10 mg/L de polifenoles (Torres–Valenzuela et al., 2020). La sonicación en frecuencia baja es empleada en limpieza, inactivación de microorganismos, extracción, homogenización y emulsionado, desgasificación, secado y deshidratación, mejorando los procesos químicos (Ciudad, 2018; Legay et al., 2011; Awad et al., 2012).

El US es usado como sistema de encapsulación en la industria alimentaria y farmacéutica (Ashokkumar, 2015); los activos antioxidantes naturales y antiinflamatorios de la pitahaya de acción farmacéutica son las antocianinas (Saenjum et al., 2021); las sustancias bioactivas se concentran en la pulpa sin semilla, a la que se le sonicó 15 minutos aplicando, además, microondas y procedimientos enzimáticos, permitieron acrecentar la concentración a 13,5 % de betacianinas, 13,1 % de betalaínas y 12,7 % de bexantinas, en comparación a la muestra a la que no se le realizó ningún pretratamiento; se acrecentó a 480,3 mg de betalaínas totales en 100 g de pulpa seca y se obtuvo 4925,7 mg de trolox equivalente/g pulpa seca (Pérez–Loredo et al., 2017). De igual modo, al sonicar al vacío, se encontró que por cada 100 g pulpa de pitaya se alcanzó de 11,03 mg GAE a 17,92 mg GAE de fenoles totales, mejorando la obtención de componentes bioactivos (Uslu y Özcan, 2021).

La encapsulación de betalaínas de la pitahaya con maltrodextrina a través el US, alcanzó una eficiencia de 79 % para ser usados en alimentos procesados (Li et al., 2022) y por su acción antioxidante es usado como componente alimenticio muy eficaz (Lupuche et al., 2021). Por lo que es importante hacer un estudio más exhaustivo sobre el US en alimentos, el desarrollo de equipos tecnológicos de ultrasonido más potentes para su aplicación en la industria (Gallego–Juárez et al., 2017; Caballero–Figuerola et al., 2022).

En consecuencia, al sumergir la pulpa de la pitahaya en ultrasonido a condiciones idóneas de frecuencia, potencia y tiempo, se obtienen beneficios relevantes respecto a los procedimientos térmicos y tradicionales que ayudan a conservar el sabor y calidad de las frutas, manteniendo sus propiedades naturales y usarlas en productos derivados, beneficiosos para el ser humano y para la industria alimentaria.

3.1.5 Preparación de la muestra y sumersión en ultrasonido (US) de la pulpa de pitahaya amarilla

La muestra de estudio de la investigación fue de 1 kg aproximadamente de pitahaya amarilla de pulpa blanca adquirida en Chiclayo y proveniente de Palora – Ecuador (Figura 1a) cuyos pesos por cada fruta variaron de 132 g a 267 g, en promedio de 200,8 g y el peso de la pulpa blanca variaron de 88 g a 194 g, en promedio de 142,4 g cuyo peso total fue de 713 g de pulpa, medidos en la balanza Kern–FCB 12 K1.

Los frutos fueron cortados aproximadamente por la mitad (Figura 1b), la pulpa extraída se acondicionó en las bandejas fraccionada en rodajas (Figura 1c) y se colocó en la cámara de congelación del Liofilizador Biobase BK-FD10T (Figura 1d) a 25,5 °C de temperatura ambiental y alcanzó una temperatura de –48 °C en 28 horas aproximadamente. Una vez congelado, las bandejas se colocaron en la cabina para liofilizar la muestra (Figura 1e), empezando a –17,2 °C y 1,5 kPa de presión y conectada a la bomba de vacío 2XZ–2 Rotary Vane, lo cual demoró 48 horas aproximadamente que, por sublimación se separó el agua congelada y se obtuvo la muestra seca. Tres pequeñas muestras de aproximadamente 1,5 g fueron llevadas al determinador de humedad Kern DAB 100–3 arrojando un resultado promedio de 6,6 % de agua.

La pulpa de la pitahaya seca liofilizada se pulverizó en el molino Ika – Werke M20, por un tiempo de 2 minutos por cada carga. Se tomaron 5 g de la muestra molida por cada fiola color ámbar de 50 mL para preparar un macerado metanólico, manteniéndolas en oscuridad por 7 días y agitándolas manualmente por 2 minutos diarios. Después de ello, se separó la muestra sedimentada, colocando el extracto líquido en tubos con fondo cónico y puestos en la centrífuga Pro Analytical CR4000R por un tiempo de 15 min a 5 °C, seguidamente se separó el contenido de cada tubo con papel filtro.

El líquido filtrado fue usado para formular soluciones al 5 % V/V de metanol/agua ultrapura (solución del extracto), tomando pequeñas porciones para analizarlas en el espectrofotómetro Genesisys 30 a 517 nm de absorbancia, tomando los datos cada 30 segundos por 10 minutos.

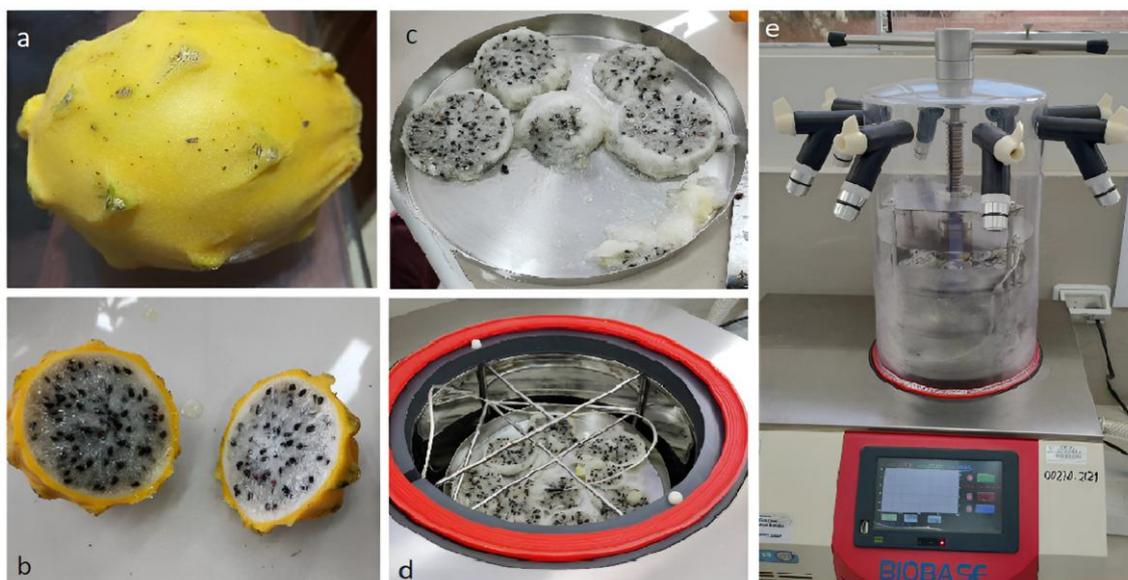


Figura 1. a) Fruto de la pitahaya amarilla; b) Fraccionamiento transversal de la fruta c) Pulpa blanca de la pitahaya en rodajas; d) Bandejas colocadas en la cabina para congelamiento y e) Liofilización de la muestra de pitaya congelada

En un segundo matraz aforado de 50 mL color ámbar, se preparó la solución 0,1 mM de DPPH usado como solución “blanco”, tomando muestras para ser medir la absorbancia a 517 nm en el mismo espectrofotómetro que la solución anterior, en dos tiempos diferentes: la primera tan luego se retiró de la conservadora a 20 °C y la segunda muestra se tomó luego de haber mantenido la solución DPPH 0,1 mM durante 15 minutos a temperatura y luz ambiental; en todos los casos, se tomaron los datos cada 30 segundos por 10 minutos.

Se preparó una tercera mezcla formada por la solución del extracto líquido al 5 % V/V en proporción 2 a 1 con la solución 0,1 mM de DPPH preparada en el segundo matraz aforado, la cual se mantuvo en oscuridad y reposo durante 30 minutos a temperatura ambiental, según el método estandarizado, lo cual permitirá que el sustrato antioxidante reduzca al radical DPPH y cambie de color violeta a color amarillo (Brand–Williams et al., 1995; Ruiz-Torralba et al., 2018).

Una muestra de la solución 3, se analizó en el espectrofotómetro a 517 nm, de la misma forma que en la solución 2, al retirarse inmediatamente de la conservadora y oscuridad y después de 15 minutos de haber estado

a luz y temperatura ambiental, tomando los datos cada 30 s por 10 min en ambos casos. Los datos recolectados permitieron realizar el cálculo del porcentaje de inhibición o absorbancia de cada dato tomado con la Ecuación 1 (Soler–Rivas et al., 2000) y sus resultados tratados con Minitab 17 se muestran en la Figura 2.

$$\% \text{ inhibición o absorbancia} = \frac{(\text{abs}_{\text{DPPH}} - \text{abs}_{\text{muestra}})}{\text{abs}_{\text{DPPH}}} \quad (1)$$

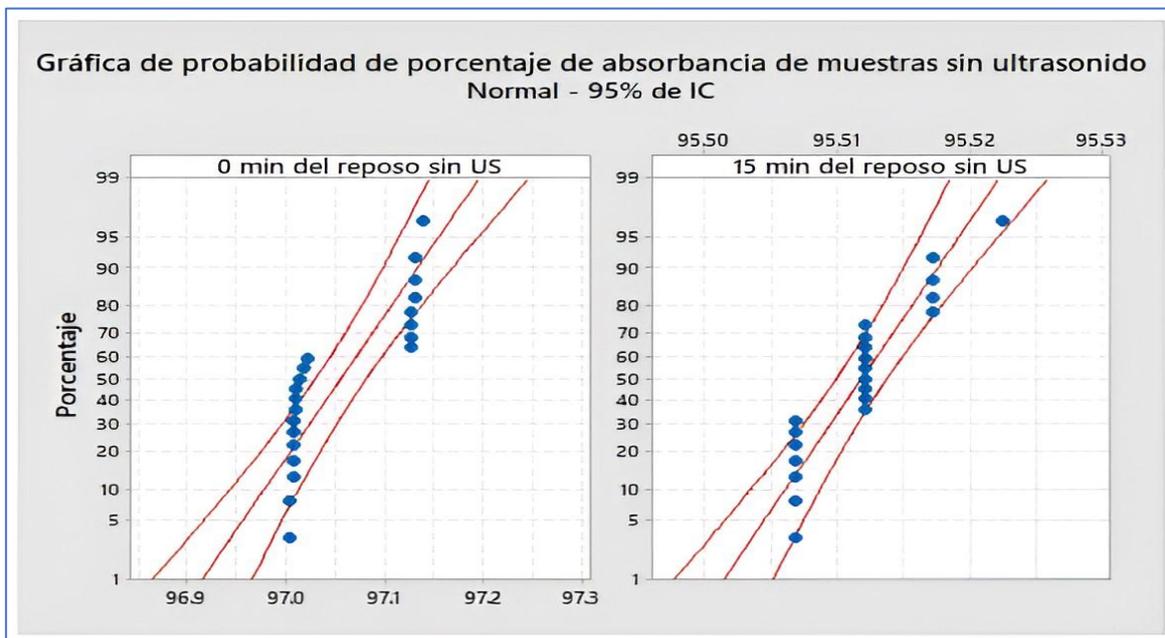


Figura 2. Probabilidad de porcentajes de absorbancia de la solución 3 sin aplicación de US a 0 y 15 min del reposo

Se tomaron tres fracciones más de la solución 3 que se sumergieron por 15, 20 y 25 minutos, respectivamente, en baños de ultrasonido a una potencia de 250 W, 40 kHz de frecuencia y una temperatura ambiental de 30 °C, llevándolas luego al espectrofotómetro, tanto a la muestra que se retiró inmediatamente de la sonicación como a la que se mantuvo al ambiente por 15 minutos de luz y temperatura ambiental, luego de la sumersión en ultrasonido. Los datos de absorbancia recolectados en todos los casos, se utilizaron para calcular el porcentaje de inhibición con la Ecuación 1 y luego de procesarlos con Minitab 17, se presentan en la Figura 3.

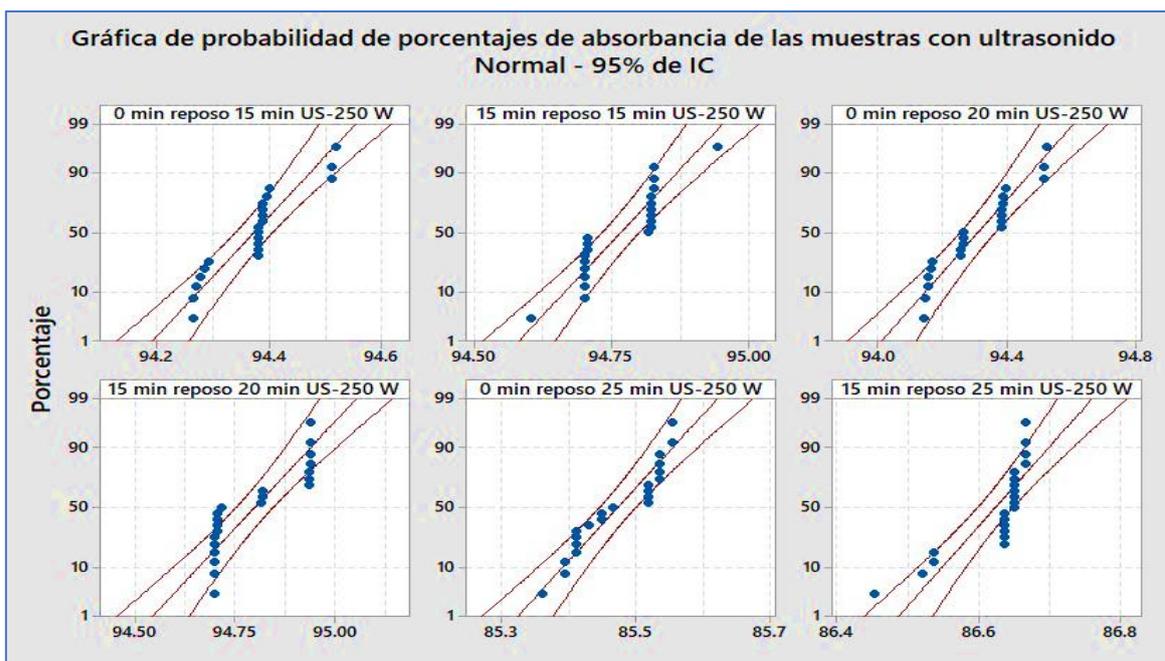


Figura 3. Absorbancia porcentual de la solución 3 de muestras con aplicación de 15, 20 y 25 min de US a 250 W y 40 kHz

Mediante el software Minitab 17, se analizaron las gráficas de probabilidad presentadas en la figura 3, encontrando que cuando las muestras de pitahaya se sumergieron 20 minutos a baños de US a 250 W, tan luego fueron retiradas del reposo, sus valores se encuentran entre las líneas de borde de confianza, así como también cuando fueron sometidas a 25 minutos de sumersión en ultrasonido a 0 minutos del reposo, por visualización directa, pero para mayor seguridad se deben tomar en cuenta los resultados y parámetros estadísticos generados por el software en mención y determinar la mayor probabilidad de certeza.

Se compararon todas las muestras de la solución 3 sin sumersión en ultrasonido y con sumersión en ultrasonido en los tiempos descritos previamente, cuyos resultados se muestran en la figura 4.

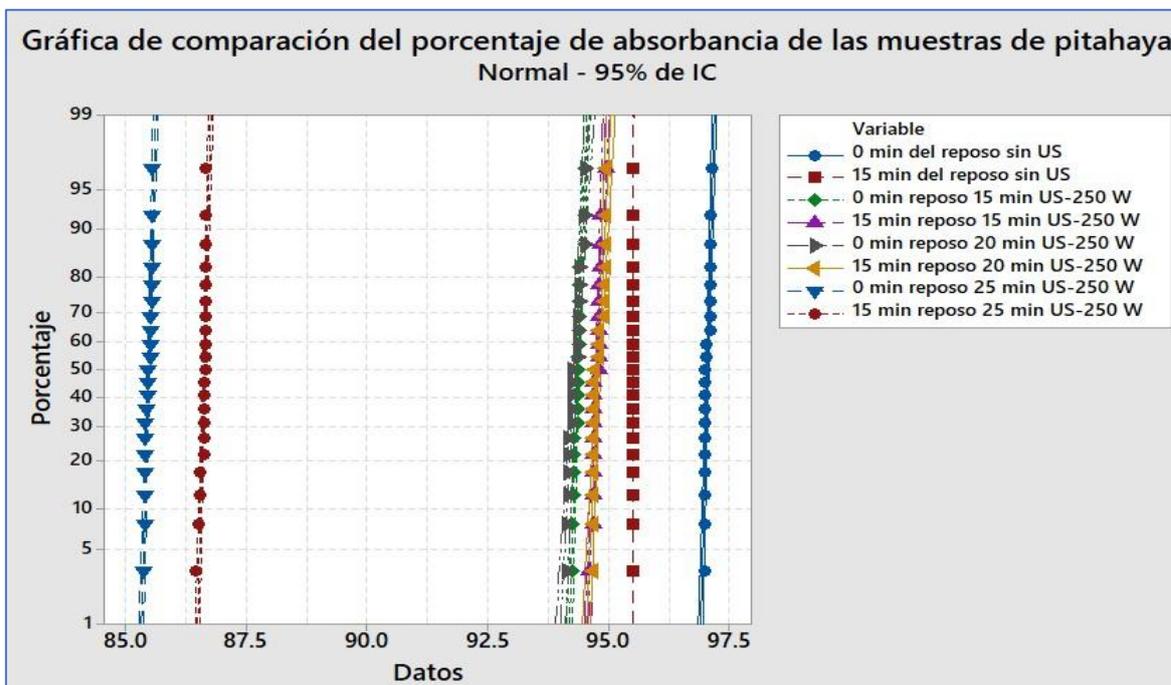


Figura 4. Comparación de las probabilidades de porcentajes de absorbancia de las muestras sin sumersión en US y con sumersión por 15, 20 y 25 min de US en las muestras de pitahaya liofilizada

En la tabla 3 se presenta los parámetros estadísticos de las muestras de pitaya procesadas sin sonicación y con sonicación.

Tabla 3. Parámetros estadísticos de los porcentajes de absorbancia de las muestras

| | Media | Desviación estándar | N | AD | P |
|-------------------------------|-------|---------------------|----|-------|--------|
| 0 min del reposo sin US | 97,06 | 0,06037 | 21 | 3,137 | <0,005 |
| 15 min del reposo sin US | 95,51 | 0,004463 | 21 | 1,338 | <0,005 |
| 0 min reposo 15 min US-250 W | 94,37 | 0,07784 | 21 | 1,401 | <0,005 |
| 15 min reposo 15 min US-250 W | 94,77 | 0,07944 | 21 | 1,745 | <0,005 |
| 0 min reposo 20 min US-250 W | 94,31 | 0,1277 | 21 | 0,816 | 0,029 |
| 15 min reposo 20 min US-250 W | 94,80 | 0,1094 | 21 | 2,346 | <0,005 |
| 0 min reposo 25 min US-250 W | 85,47 | 0,06369 | 21 | 1,040 | 0,008 |
| 15 min reposo 25 min US-250 W | 86,62 | 0,05868 | 21 | 2,991 | <0,005 |

La función de paso no paramétrica de Anderson – Darling (AD) que presenta el Paquete de software de herramientas estadísticas y de análisis de datos, Minitab, versión 17, se usa en la medición de las desviaciones entre las líneas presentadas en cada gráfico, con lo que se determina el valor de “p” que indica la probabilidad de medida de evidencia comparada con la hipótesis nula, señalando que un menor valor de “AD” y un mayor valor de “p”, para una muestra, indica un mejor ajuste de los datos analizados (Minitab, 2024).

Los datos experimentales procesados con Minitab 17, generaron los datos estadísticos presentados en la Tabla 3; se encontró que la muestra que tiene menor valor de “AD” igual a 0,816 y un mayor valor de “p” equivalente a 0,029 es aquella que se sumergió por 20 minutos en ultrasonido a 250 W de potencia y a una frecuencia de 40 kHz, cuyos absorbancias en el espectrofotómetro fueron medidas tan luego las muestras fueron retiradas del baño de US, cumpliendo con una distribución normal en comparación a las demás muestras estudiadas.

Los porcentajes de absorbancia sirven para medir la capacidad antioxidante (CAO) expresadas como ácido gálico equivalente, trolox equivalente entre otras comparaciones, según los métodos estandarizados como FRAP, DPPH, ORAC, ABTS. En la presente investigación se utilizó el método DPPH (Brand–Williams et al., 1995; Ruiz–Torralba et al., 2018), que ha presentado resultados destacados y es el más usado en estudios de industrias alimentarias (Soler–Rivas et al., 2000; Gulcin y Alwasel, 2023). Para indicar la CAO de la pulpa de la pitahaya se relacionó el promedio de absorbancia con la curva de Trolox equivalente (TE o TEAC) que permite medir el potencial antioxidante de bebidas, alimentos y suplementos, y permitió obtener mejores resultados de CAO que otros ensayos realizados (Fried, 2014; Wołosiak et al., 2021) y que al automatizarlo y combinarlo con HPLC permite determinar sustancias bioactivas de las frutas (Zhong y Shahidi, 2015).

La curva de calibración preparada con Trolox equivalente a concentraciones de 10 μM a 60 μM en el eje de las abscisas frente al porcentaje de absorbancia o inhibición de los radicales DPPH en el eje de las ordenadas, dio la ecuación resultante de $y = 1,6605x - 1,9118$ y un R^2 igual a 0,9972. Según los resultados estadísticos más pertinentes en la presente investigación, se tienen que al sumergir la muestra en ultrasonido a 250 W de potencia y a una frecuencia de 40 kHz por 20 minutos, se obtuvo un promedio de absorbancia de 94,31 % (eje “y”) y reemplazando en la ecuación de la curva, generó el valor de 57,947 μM de Trolox equivalente y al contrastarlo con los 59,604 μM de la muestra sin sumersión en ultrasonido medidos tan luego se retiró de la conservadora, se probó que la capacidad antioxidante se preservan en un 97,221 %.

3.2 Discusión

Según Obregón–La Rosa (2022) y Jiang et al. (2021) la pitahaya es una fruta de grandes características y propiedades nutraceuticas y antioxidantes, siendo su pulpa aprovechable para contrarrestar los radicales libres en exceso generados por nuestro organismo (Arivalagan et al., 2021; Chen et al., 2021; Le y Le, 2021; Al–Mekhlafi et al., 2021), he ahí la gran importancia de proponer su consumo como alimento fundamental.

Los componentes antioxidantes son sustancias químicas que naturalmente se encuentran en diversas frutas. Se encontró un gran porcentaje de estas sustancias en la pitahaya amarilla de pulpa blanca (Balderas et al., 2016), que ayudan a contrarrestar los efectos citotóxicos suscitados por los radicales libres en exceso (Pasko, 2021; Al–Radadi, 2022), además de prevenir daños por diabetes (Núñez–Musa et al., 2020, Cheok et al., 2022), afección al corazón (Cheok et al., 2022) y cáncer de colon (Chuck–Hernández et al., 2016), por lo que es muy valioso conservarlos mediante métodos idóneos y aprovechar sus beneficios naturales.

Los procedimientos de conservación de frutas alteran sus propiedades antioxidantes y nutraceuticas. Al procesarlas, se pierden propiedades naturales (Gamboa–Santos et al., 2016; Jaramillo, 2019) y componentes volátiles (Moreira et al., 2020). La congelación genera pérdida de humedad y capacidad antioxidante (Sheng et al., 2021). En consecuencia, se buscó una técnica adecuada para preservar propiedades de la pitaya.

La aplicación de ultrasonido en parámetros óptimos de frecuencia, potencia y tiempo permite conservar las sustancias antioxidantes de la pitahaya. Se preservan los compuestos bioactivos (Silotry et al., 2021) y la calidad de alimentos (Campo–Vera et al., 2018), incrementa la actividad antioxidante (Ciudad, 2018) y mejora los procesos químicos (Legay et al., 2011; Awad et al., 2012; Cheng et al., 2015).

Si bien es cierto que, liofilizar y aplicar ultrasonido a la pulpa de la pitaya, es más costoso que otras técnicas de conservación de alimentos, son métodos que permiten conservar mejor las sustancias bioactivas y las propiedades antioxidantes y nutricionales de la fruta, que compensan de cierta manera su inversión. La implementación de estos métodos requiere equipos más especializados que generan más costos de producción (Ayala et al., 2010; Pérez–Loredo, 2017) que otros métodos como deshidratación osmótica (Mosquera–Vivas et al., 2019), altas presiones hidrostáticas, pasteurización térmica (Salar et al., 2024), secado al aire, por convección, por aspersión, deshidratación (Casanova, 2016), humedad de equilibrio (Ayala–Aponte, 2012; Tormos, 2022). Sin embargo, la liofilización y sonicación de la pitahaya pulpeada generan productos con gran conservación de sus componentes antioxidantes, preservando mejor el aroma, sabor y nutrientes, respecto a otros métodos utilizados en la industria alimentaria, que alteran sus propiedades naturales y antioxidantes.

La deshidratación y secado generan costos bajos o medios, pero conllevan a la pérdida de nutrientes y alteran el sabor y color natural de los productos (Mosquera–Vivas et al., 2019); la humedad de equilibrio aplicada en la pitahaya amarilla genera cambios en sus propiedades mecánicas y respecto al color y las sustancias bioactivas originan cambios significativos a 20 °C, por lo que se requiere que se almacene en refrigeración; además de disminuir la capacidad antioxidante a los 3 meses de acondicionamiento, por el aumento de la actividad del agua que degradan las sustancias antioxidantes (Tormos, 2022), ya que la cantidad de humedad de equilibrio es inversamente proporcional a la temperatura (Ayala–Aponte, 2012); en cambio la combinación de liofilización más la sumersión en ultrasonido permite que la fruta alcance una mayor vida útil, preservando su capacidad antioxidante y dándole más estabilidad a sus componentes naturales.

Los resultados de la presente investigación respecto a las muestras de pulpa de pitahaya liofilizada sumergidas por 20 minutos en ultrasonido a 250 W de potencia y a una frecuencia de 40 kHz, que se encontró experimentalmente es similar a la aplicada por Torres–Valenzuela et al. (2021) que fue de 22 minutos, 35 kHz y 0,222 kW para la cáscara de la pitaya; sin embargo, con los parámetros de US usados en nuestra investigación, se alcanzó una conservación de la capacidad antioxidante (CAO) de 97,221 % que es mayor al 90 % alcanzado Torres–Valenzuela et al. (2021) en la cáscara de pitaya, superior al 79 % en la encapsulación de las betalainas de la pitahaya planteada por Li et al. (2022), mejor que el 70 % logrado por Gamboa–Santos et al. (2016) en otras frutas similares (melón, piña, papaya y plátano) y que Ciudad (2018) en el té verde. En función de la capacidad antioxidante (CAO), podemos afirmar que, la disminución de las sustancias antioxidantes en la pulpa de la pitahaya amarilla, hallada experimentalmente en esta investigación, fueron cerca del 3 % con los parámetros de tiempo, potencia y frecuencia aplicados, lo cual reduce las pérdidas de dichos componentes encontrados en otros frutos, que oscilan entre 10 % al 30 % en condiciones similares de tratamientos.

Estos parámetros de sonicación pueden ser usados en el tratamiento de la pulpa de frutas de consistencia similar a la pitahaya para conservar sus compuestos antioxidantes, por su vital importancia para la salud y el organismo humano; además, puede experimentarse con sonicación de la pulpa de frutas modificando el tiempo, potencia o frecuencia, o manteniendo uno o dos de los parámetros mencionados y probando con los cambios, que permitan una mayor preservación de la capacidad antioxidante de la fruta, en sus productos o derivados.

4. CONCLUSIONES

Los estudios analizados sobre la pitahaya confluyen que contiene gran proporción de sustancias bioactivas con cualidades antioxidantes considerables para el adecuado funcionamiento del organismo humano al neutralizar los radicales libres en exceso, es por ello que se planteó encontrar una técnica adecuada para la mejor conservación de las propiedades antioxidantes.

Existen muchas técnicas o métodos que se utilizan en el procesamiento de las frutas, acrecentando su vida útil, pero modificando, en muchos casos, sus propiedades fitoquímicas primordiales. Se encontró que la sumersión en ultrasonido en parámetros apropiados, permite preservar los componentes antioxidantes de la pulpa de la pitahaya liofilizada, mejor que las técnicas habituales o tradicionales; que, aunque la liofilización y sonicación genera más costos, permiten una mejor conservación del color, olor, sabor y componentes naturales de la fruta y obtener productos de buena calidad nutricional.

Con los resultados experimentales procesados, se determinó que los parámetros de sumersión de ultrasonido más convenientes en este estudio, fueron aplicados en un tiempo de 20 minutos a 250 W de potencia y 40 kHz de frecuencia y los valores de absorbancia a 517 nm fueron medidos tan luego la muestra fue apartada del baño de ultrasonido y se corroboraron con los datos y gráficos estadísticos generados.

Por último, se obtuvo un promedio de 94,31 % de absorbancia que al relacionarlo en la curva de calibración da el valor de 57,947 μM de Trolox equivalente, hallando que la pulpa de pitahaya liofilizada conserva en un 97,221 % su capacidad antioxidante, respecto a la muestra sin sumersión en ultrasonido; recomendando realizar otros estudios semejantes, variando los valores de tiempo, frecuencia y potencia y hallando el punto de equilibrio que permitan encontrar los parámetros óptimos de aplicación del ultrasonido en el pulpeado de la pitahaya.

5. AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Iván Reyes López de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Trujillo, mi asesor, por su apoyo durante la investigación. A los directivos de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo – Lambayeque por autorizar la investigación experimental en el laboratorio de la facultad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Mekhlafi, N. A.; Mediani, A.; Ismail, N. H.; Abas, F.; Dymerski, T.; Lubinska-Szczygeł, M.; Vearasilp, S.; y Gorinstein, S. (2021). Metabolomic and antioxidant properties of different varieties and origins of Dragon fruit. *Microchemical Journal*, 160, 105687.
- Al–Radadi, N. (2022). 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*, 29(4), 2836–2855.

- Arivalagan, M.; Karunakaran, G.; Roy, T.; Dinsha, M.; Sindhu, B.; Shilpashree, V.; Satisha, G. y Shivashankara, K. (2021) Biochemical and nutritional characterization of dragon fruit (*Hylocereus* species), *Food Chemistry*, 353, 129426.
- Arriaga–Ruiz, M.; Neri–Luna, C.; Pimienta–Barrios, E. y Sánchez–Martínez, J. (2015). 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*, 2(3), 362–367.
- Ashokkumar, M. (2015). Applications of ultrasound in food and bioprocessing. *Ultrasonics Sonochemistry*, 25, 17-23.
- Attar, Ş. H.; Gündeşli, M. A.; Urün, I.; Kafkas, S.; Kafkas, N. E.; Ercisli, S.; Ge, C.; Mlcek, J. y Adamkova, A. (2022). Nutritional Analysis of Red-Purple and White-Fleshed Pitaya (*Hylocereus*) Species. *Molecules*, 27(3), 808.
- Ayala, A.; Serna, L. y Mosquera E. (2010). Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Vitae*, 17(2).
- Ayala–Aponte, A.; Serna, L. y Rodríguez, G. (2012). Isotermas de desorción de humedad en pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(2), 135–143.
- Awad, T.; Moharram, H.; Shaltout, O.; Asker, D. y Youssef, M. (2012). Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, 48(2), 410–427.
- Balderas V., Palafox L. Castro S. y Saucedo C. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y calidad organoléptica y nutricional de frutos de pitaya (*Stenocereus pruinosus*). *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(7), 86–92.
- Blanco–Rojo, R.; Sandoval–Insausti, H; López–García, E.; Graciani, A; Ordovás, J.; Banegas, J; Rodríguez–Artalejo, F. y Guallar–Castillón, P. (2019). Consumption of Ultra-Processed Foods and Mortality: A National Prospective Cohort in Spain, *Mayo Clinic Proceedings*, 94(11), 2178–2188.
- Brand-Williams, W.; Cuvelier, M. y Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT*, 28(1), 25-30.
- Caballero-Figueroa, E.; Terrés, E.; Hernández-Hernández, H. M. y Escamilla-García, M. (2022). Revisión sobre las tecnologías emergentes no térmicas para procesamiento de alimentos. *Deleted Journal*, 25.
- Campo–Vera, Y; Gélvez–Ordóñez, V. y Ayala–Aponte, A. (2018). Ultrasonido en el procesamiento (homogenización, extracción y secado) de alimentos. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*. 16(1), 102–113.
- Casanova, M. (2016). *Viabilidad económica de producción industrial de fruta en polvo en función del proceso*. [Tesis de Maestría]. Universidad Politécnica de Valencia.
- Chen, Z.; Zhong, B.; Barrow, C.; Dunshea, F. y Suleria, H. (2021). 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*, 14(6), 103151.
- Cheng, X.; Zhang, M.; Xu, B.; Adhikari, B. y Sol, J. (2015). The principles of ultrasound and its application in freezing related processes of food materials: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 576–585.
- Cheok, A.; Xu, Y.; Zhang, Z.; Caton, P. W. y Rodríguez–Mateos, A. (2022). Betalain-rich dragon fruit (pitaya) consumption improves vascular function in men and women: a double-blind, randomized controlled crossover trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, 115(5), 1418-1431.
- Chuck–Hernández, C.; Parra–Saldívar, R. y Sandate–Flores, L. (2016). Pitaya (*Stenocereus spp.*). *Enciclopedia of Food and Health*, 385–391.
- Ciudad, H. (2018). Aplicación de ultrasonidos al cocinado de los alimentos. [Tesis de Doctorado]. Universidad Zaragoza.
- Constantino, L. V.; Zeffa, D. M.; Vantorim, M. F.; Gonçalves, L. S. A.; Marcos, A. W.; Sanzovo, A. W. D. S.; Rossetto, L. M.; Alves, S. M.; Resende, J. T. V. y Takahashi, L. S. A. (2021). Nutritional quality and technological potential of pitaya species. *Semina Ciências Agrárias*, 2023-2030.
- Coronado, M.; Vega y León, S.; Gutiérrez, R.; Vásquez, M. y Radilla, C. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista chilena de nutrición*. 42(2), 206–212
- Esquivel, P. y Araya, Y. (2012). 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*. 3(1), 113-129.

- Fajardo, J.; Herrera, C.; Ibarra C. y Perdomo, D. (2010) Optimización de la extracción de polifenoles en granos de cacao asistida por ultrasonidos. *Vitae*, 27(1).
- Figueroa–Sepúlveda, K; Castillo–Robles, N. y Martínez–Girón, J. (2021). Aplicación de altas presiones y otras tecnologías en frutas como alternativa de tratamientos térmicos convencionales. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*. 19(2), 271–285.
- Fried, R. (2014) The Polyphenolic Antioxidant Resveratrol, the Carotenoid Lycopene, and the Proanthocyanidin Pycnogenol. *Erectile Dysfunction as a Cardiovascular Impairment*, *Academy press*, 259–291.
- Fu, X.; Belwal, T.; Cravotto, G. y Luo, Z. (2020). Sono-physical and sono-chemical effects of ultrasound: Primary applications in extraction and freezing operations and influence on food components. *Ultrasonics Sonochemistry*, 20, 104726.
- Gallego–Juárez, J.A. (2017). Basic principles of ultrasound. In: Villamiel, M. et al. (Eds.). *Ultrasound in Food Processing. Recent advances*, 4-26.
- Gamboa–Santos, J; Rodríguez, J.; Carvajall, G. y Pilamala, A. (2016). Aplicación de tecnologías emergentes al procesamiento de frutas con elevada calidad nutricional. – Una revisión. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 3(1), 57-75.
- García–Cruz, L; Dueñas, M.; Santos–Buelgas, C.; Valle–Guadarrama, S. y Salinas–Moreno, Y. (2017). Betalains and phenolic compounds profiling and antioxidant capacity of pitaya (*Stenocereus* spp) fruit from two species (*S. pruinosus* and *S. stellatus*). *Food Chemistry*, 324, 111–118.
- Gengatharan, A., Dykes, G., & Choo, W. S. (2020). Betacyanins from *Hylocereus polyrhizus*: pectinase-assisted extraction and application as a natural food colourant in ice cream. *Journal of Food Science and Technology*, 58(4), 1401-1410.
- Giménez, J. (2021). *Caracterización de zumo y bagazo de pitaya y bioaccesibilidad de sus principales compuestos bioactivos*. [Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Valencia].
- Gulcin, İ., & Alwasel, S. H. (2023). DPPH radical scavenging assay. *Processes*, 11(8), 2248.
- Ho, P; Tran, D.; Latm, M y Nicolai, B. (2021). Effect of controlled atmosphere storage on the quality attributes and volatile organic compounds profile of dragon fruit (*Hylocereus undatus*). *Postharvest Biology and Technology*. 173, 111406.
- Jaramillo, G. (2019). *Cambios en la estructura y las propiedades fisicoquímicas de frutos de arándano por aplicación de factores emergentes de conservación* [Tesis de Doctorado, Universidad de Buenos Aires].
- Jiang, H.; Zhang, W.; Li, X.; Shu, C.; Jiang, W. y Cao J. (2021). Nutrition, phytochemical profile, bioactivities and applications in food industry of pitaya (*Hylocereus* spp.) peels: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology*. 116, 199–217.
- Kentish, S. y Ashokkumar, M. (2011). The physical and chemical effects of ultrasound. *Ultrasound Technologies for food and bioprocessing*, 1-13.
- La Rosa, A.; Rodríguez, G. y Taco R. (2021). Native fruits of Peru as a potential source of nutrients, bioactive compounds and antioxidant capacity in the nutritional requirements of vulnerable groups. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 38(2), 421–440.
- Lawrence, M. y Baker, P. (2019). Ultra-processed food and adverse health outcomes. *BMJ*; 36, l2289.
- Le, T. y Le, N. (2021). 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*, 45(3).
- Legay, M. et al (2011). Enhancement of heat transfer by ultrasound: Review and recent advances. *International Journal of Chemical Engineering*.
- Li, X.; Zhang, Z.; Qiao, J.; Qu, W.; Wang, M.; Gao, X.; Zhang, C.; Brennan, C. S. y Qi, X. (2022). Improvement of betalains stability extracted from red dragon fruit peel by ultrasound-assisted microencapsulation with maltodextrin. *Ultrasonics Sonochemistry*, 82, 105897.
- Lupuche, E.; Pérez, J.; Medina–Pizzali, M.; Gutiérrez, L. y Suárez, E. (2021). Chemical characterization, polyphenol content and antioxidant capacity of two pitahaya ecotypes (*Hylocereus* spp.). *Revista Facultad Nacional De Agronomía Medellín*, 74(3) 9723-9734.

- Machado, S; Dionisio, A; Oliveira, M; Gomes, C.; Silvestre, G.; Coelho, L; Moreira, G; Pinto, F.; Alves, F.; De Lima, E; Arruda, J.; Ferreira, D.; Florindo, M y Zocolo, G. (2020). Metabolic profile of pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (F.A.C. Weber) Britton & Rose) by UPLC-QTOF-MS^E and assessment of its toxicity and anxiolytic-like effect in adult zebrafish. *Food Research International*, 127, 108701.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Remesy, C., & Jimenez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727-747.
- Mercado–Silva, E. (2018). Pitaya – *Hylocereus undatus* (Haw). *Exotic Fruits, Reference Guide*. 339–349.
- Minitab (2024). Paquete de software de herramientas estadísticas y de análisis de datos.
- Montesinos, J.; Rodríguez–Larramendi, L.; Ortiz–Pérez, R.; Fonseca–Flores, M.; Ruíz, G. y Guevara–Hernández, F. (2015). Pitahaya (*Hylocereus spp.*) Un recurso Fitogenético con historia y futuro para el trópico Seco mexicano. *Cultivos Tropicales*, 36, 67–76.
- Moreira, G; Dionisio, A; Rodrigues, H.; Pinto, F.; Machado, S; Viana, A; Silvestre, G.; Carvalho, J; Da Silva, I; Guirado, A.; Ferreira, D y Zocolo, G. (2020). Effects of processing on the chemical, physico-chemical, enzymatic, and volatile metabolic composition of pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (F.A.C. Weber) Britton & Rose). *Food Research International*, 127, 108710.
- Moreno–Galarraga, L; Martín–Álvarez, I; Fernández–Montero, A.; Santos, B.; Ciriza, E. y Martín–Calvo, N. (2021). Consumo de productos ultraprocesados y enfermedades respiratorias sibilantes en niños. Proyecto Sendo. *Anales de Pediatría*. 95, 18–25.
- Moreno–Ley, C.; Osorio–Revilla, G.; Hernández–Martínez, D.; Ramos–Monroy, O. y Gallardo–Velásquez, T. (2021). Anti-inflammatory activity of betalains: A comprehensive review. *Human Nutrition & Metabolism*, 25.
- Mosquera-Vivas, E. S., Ayala-Aponte, A. A., & Serna-Cock, L. (2019). Ultrasonido y Deshidratación Osmótica como Pretratamientos a la Liofilización de Melón (*Cucumis melo L.*). *Información Tecnológica*, 30(3), 179–188.
- Naik, S.; Suryawanshi, D.; Kumar, M. y Waghmare, R. (2021). Ultrasonic treatment: A cohort review on bioactive compounds, allergens and physico-chemical properties of food. *Current Research in Food Science*, 4, 470–477.
- Núñez-Musa R, Núñez-Sellés AJ, Mañón Rossi W, Guillén Marmolejos R, Martínez-Sánchez G, Selman-Almonte A. (2020). Posibilidades de la terapia antioxidante en diabetes mellitus tipo 2. Estudio del estrés oxidativo en una muestra poblacional de pacientes diabéticos. *Ciencia y salud*, 4(3),71–93.
- Obrigón–La Rosa, A.; Contreras–López, E.; Elías–Peñafiel, C.; Muñoz–Jauregui, A.; Yuli–Posadas R. y Córdor–Salvatierra, E. (2022). Perfil nutricional y fisicoquímico de la pitahaya cultivada en la costa central del Perú. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 39(1), Artículo e223911.
- Pasko, P; Galanty, A., Zagrodzki, P; Gyu, Y; Luksirikul, P.; Weisz, M y Gorinstein S. (2021). Bioactivity and cytotoxicity of different species of pitaya fruits – A comparative study with advanced chemometric análisis. *Food Bioscience* 40, 100888.
- Pérez–Loredo, M.; Hernández–De Jesús, L y Barragán–Huerta, B. (2017). Extracción de compuestos bioactivos de pitaya roja (*Stenocereus stellatus*) aplicando pretratamientos con microondas, ultrasonido y enzimáticos. *Agrociencia* 51, 135–151.
- Razali, N. A.; Sargent, S. A.; Sims, C. A.; Brecht, J. K.; Berry, A. D. y Cheng, G. (2021). Potential of Post-harvest Coatings to Maintain Freshness of Red-Fleshed Pitaya (*Hylocereus costaricensis*). *Agriculture*, 11(9), 892.
- Ricalde, M. y Andrade, J. (2009). La pitahaya, una delicia tropical. *Ciencia – Academia Mexicana de Ciencias*. 60(3), 36–43.
- Rico–Campá, A.; Martínez–González, M.; Álvarez–Álvarez, I.; De Deus, R.; De la Fuente–Arrillaga, C.; Gómez–Donoso, C. y Bes–Rastrollo, M. (2019). Association between consumption of ultra-processed foods and all-cause mortality: SUN prospective cohort study. *BMJ*, 365.
- Royer, M.; Diouf, P. N. y Stevanovic, T. (2011). Polyphenol contents and radical scavenging capacities of red maple (*Acer rubrum L.*) extracts. *Food and Chemical Toxicology*, 49(9), 2180-2188.
- Ruiz-Torralba, A.; Guerra-Hernández, E. J. y García-Villanova, B. (2018). Antioxidant capacity, polyphenol content and contribution to dietary intake of 52 fruits sold in Spain. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 1131-1138.

- Saenjum, C., Pattananandecha, T., & Nakagawa, K. (2021). Antioxidative and Anti-Inflammatory Phytochemicals and Related Stable Paramagnetic Species in Different Parts of Dragon Fruit. *Molecules*, 26(12), 3565.
- Salar, F. J., Bayonas, P. M. P., Escámez, P. S. F., Perles, R. D., & Viguera, C. G. (2024). Impacto de altas presiones hidrostáticas y pasteurización térmica convencional, sobre el perfil fitoquímico y microbiológico de bebidas de cítricos-maqui, durante el almacenamiento. *13° Workshop en Investigación Agroalimentaria para jóvenes investigadores*.
- Sheng, K.; Wei, S.; Mei, J. y Xie, J. (2021). Chilling Injury, Physicochemical Properties, and Antioxidant Enzyme Activities of Red Pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) Fruits under Cold Storage Stress. *Phyton*, 90(1), 291-305.
- Shi, F.; Jiang, Z.; Xu, J.; Bai, X.; Liang, Q. y Fu, Z. (2022). 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*, 16, 2240–2258.
- Silotry, A; Suryawanshi, D.; Kumar, M. y Waghmare R. (2021). Ultrasonic treatment: A cohort review on bioactive compounds, allergens and physico-chemical properties of food. *Current Research in Food Science*, 4, 470–477.
- Soler–Rivas, C.; Espín, J. y Wichers, H. (2000). An Easy and Fast Test to Compare Total Free Radical Scavenger Capacity of Foodstuffs. *Phytochemical Analysis*. 11(2), 330–338.
- Tamagno, W. A.; Vanin, A. P.; Sutorillo, N. T.; Bilibio, D.; Dada, R. A.; Colla, L. M.; Zamberlan, D. C.; Kaizer, R. R. y Barcellos, L. J. G. (2021). 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*, 46(4).
- Tormos, A. (2022). *Efecte de la humitat relativa sobre les propietats físiques i compostos bioactius de polpa de pitaya groga en pols*. Universitat Politècnica de València
- Torres–Valenzuela, L; Serna–Jiménez, J; Pinto, V. y Vargas, D. (2020) Evaluación de las condiciones de extracción asistida por ultrasonido de compuestos bioactivos de cáscara de pitahaya amarilla. *Revista Lasallista de Investigación*, 17(1), 70–83.
- Uslu, N., & Özcan, M. M. (2021). The effect of ultrasound-vacuum-assisted extraction on bioactive properties of pitaya (*Hylocereus undatus*). *International Journal of Food Science & Technology*, 56(12), 6618–6625.
- Verona–Ruiz, A.; Urcia–Cerna, J. y Paucar–Menacho L. (2020). Pitahaya (*Hylocereus spp*): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439–453.
- Viana, A; Dionisio, A; Moreira, G; Pinto, F.; Silvestre, G.; Lima, R; Rodrigues, H.; Dos Santos, G; Da Silva, I; Guirado, A.; Taniguchi, C; Passos, M, y Zocolo, G. (2020). Microfiltered red–purple pitaya colorant: UPLC-ESI-QTOF-MSE-based metabolic profile and its potential application as a natural food ingredient. *Food Chemistry*, 330, 127222.
- Vierci, G. y Ferro, E. (2018). Capacidad antioxidante total vinculada a la ingesta de frutas y verduras en adultos jóvenes de Asunción, Paraguay. *Nutrición Hospitalaria*. 36(1), 118–124.
- Wołosiak, R., Drużyńska, B., Derewiaka, D., Piecyk, M., Majewska, E., Ciecierska, M., Worobiej, E., & Pakosz, P. (2021). Verification of the Conditions for Determination of Antioxidant Activity by ABTS and DPPH Assays—A Practical Approach. *Molecules*, 27(1), 50.
- Zhong, Y. y Shahidi, F. (2015). Methods for the assessment of antioxidant activity in foods | This chapter is reproduced to a large extent from an article in press by the authors in the Journal of Functional Foods. *En Elsevier eBooks*. 287–333.