



DOI: <https://doi.org/10.70577/cieninter.v4i3.126>

Evaluación de los atributos químicos y la capacidad antioxidante de pulpa fresca y liofilizada de pitahaya roja (*Hylocereus undatus*)

Evaluation of the Chemical Attributes and Antioxidant Capacity of Fresh and Freeze-Dried Pulp of Red Dragon Fruit (Hylocereus undatus)

Diego Andrés Nájera Campos¹

Facultad de Posgrado, Escuela de Ingeniería, Maestría en Agroindustria con mención en gestión de calidad y seguridad alimentaria, Universidad Estatal de Milagro

dnajerac@unemi.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0008-2748-921X>

Katherine Lissette Romero Vasquez²

Facultad de Posgrado, Escuela de Ingeniería, Maestría en Agroindustria con mención en gestión de calidad y seguridad alimentaria, Universidad Estatal de Milagro

kromerov@unemi.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-6765-3236>

Cómo citar:

Nájera Campos, D. A., & Romero Vasquez, K. L. (2026). Evaluación de los atributos químicos y la capacidad antioxidante de pulpa fresca y liofilizada de pitahaya roja (*Hylocereus undatus*). *Ciencia Interdisciplinaria Internacional*, 4(3), 1135–1147. <https://doi.org/10.70577/cieninter.v4i3.126>

Fecha de recepción: 2026-08-23

Fecha de aceptación: 2026-09-09

Fecha de publicación: 2026-09-15

RESUMEN

La pitahaya roja (*Hylocereus undatus*) posee compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, pero su alta perecibilidad limita su aprovechamiento poscosecha. Aunque la liofilización es una tecnología prometedora para estabilizar pulpas, existe evidencia limitada que compare simultáneamente pH, acidez titulable y capacidad antioxidante entre pulpa fresca y liofilizada bajo las mismas condiciones experimentales. El objetivo de estudio es evaluar los atributos químicos y la capacidad antioxidante de pulpa fresca y liofilizada de pitahaya roja (*Hylocereus undatus*). Se aplicó un enfoque cuantitativo, experimental, con dos tratamientos: pulpa fresca y pulpa liofilizada, cada uno por triplicado. Se determinaron pH, acidez titulable y capacidad antioxidante. Se verificó normalidad con Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianzas con Levene; las medias se compararon mediante t de Student para muestras relacionadas ($p \leq 0,05$) en SPSS v27. La pulpa fresca presentó pH 5,070 y acidez 0,710 % de ácido málico; la liofilizada, pH 3,316 y acidez 0,933 %. La capacidad antioxidante fue 33,740 mg TEAC/100 mL en pulpa fresca y 526,540 mg TEAC/100 mL en liofilizada. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en pH ($p = 0,003$), acidez titulable ($p = 0,008$) y capacidad antioxidante ($p < 0,001$). La liofilización modificó los atributos químicos y el potencial antioxidante de la pulpa. El estudio aporta evidencia cuantitativa para valorar la liofilización como alternativa de conservación y aprovechamiento agroindustrial de la pitahaya roja, y establece una base para futuras investigaciones sobre estabilidad, escalamiento y aplicaciones alimentarias.

Palabras clave: Tecnología de alimentos, Composición de alimentos, Antioxidantes, Frutas tropicales, Química de alimentos, Procesamiento de alimentos.

ABSTRACT

Red pitahaya (*Hylocereus undatus*) contains bioactive compounds and has antioxidant capacity, but its high perishability limits its post-harvest use. Although freeze-drying is a promising technology for stabilizing pulps, there is limited evidence comparing pH, titratable acidity, and antioxidant capacity between fresh and freeze-dried pulp under the same experimental conditions. The objective of this study is to evaluate the chemical attributes and antioxidant capacity of fresh and freeze-dried red pitahaya (*Hylocereus undatus*) pulp. A quantitative, experimental approach was used, with two treatments: fresh pulp and freeze-dried pulp, each in triplicate. pH, titratable acidity, and antioxidant capacity were determined. Normality was verified using the Shapiro-Wilk test and homogeneity of variances using Levene's test; means were compared using Student's t-test for paired samples ($p \leq 0.05$) in SPSS v27. The fresh pulp had a pH of 5.070 and an acidity of 0.710% malic acid; the freeze-dried pulp had a pH of 3.316 and an acidity of 0.933%. The antioxidant capacity was 33.740 mg TEAC/100 mL in fresh pulp and 526.540 mg TEAC/100 mL in freeze-dried pulp. Statistically significant differences were found in pH ($p = 0.003$), titratable acidity ($p = 0.008$), and antioxidant capacity ($p < 0.001$). Freeze-drying altered the chemical attributes and antioxidant potential of the pulp. The study provides quantitative evidence to evaluate freeze-drying as an alternative method for the preservation and agroindustrial utilization of red pitahaya, and lays the groundwork for future research on stability, scale-up, and food applications.

Keywords: Food Technology, Food Composition, Antioxidants, Tropical Fruits, Food Chemistry, Food Processing.

pulpa de pitahaya roja, al comparar su estado fresco con el liofilizado. Esto permitió observar los cambios producidos en sus propiedades químicas y en la capacidad antioxidante. Al trabajar bajo condiciones controladas de laboratorio, fue posible relacionar los tratamientos aplicados con las variaciones encontradas en cada una de las variables evaluadas.

Se consideraron dos tratamientos: pulpa fresca y pulpa liofilizada, con tres repeticiones para cada uno. La comparación de las medias se realizó mediante la prueba t de Student para muestras dependientes. Antes de aplicar este análisis, se comprobó la normalidad de los datos con la prueba de Shapiro-Wilk. La evaluación estadística se llevó a cabo con un nivel de significancia del 5 % ($p \leq 0,05$). El análisis de los datos se realizó con el software estadístico SPSS versión 27.

La variable independiente correspondió al tipo de pulpa de pitahaya con dos niveles (A: Pulpa fresca de pitahaya roja y B: Pulpa liofilizada de pitahaya roja), lo que brindó dos tratamientos, a cada tratamiento se lo efectuó por triplicado con un total de 6 unidades experimentales. Las variables dependientes correspondieron al pH, acidez titulable y capacidad antioxidante de las pulpas.

Tabla 1

Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Código	Descripción
T1	a1	Pulpa fresca de pitahaya roja (<i>Hylocereus undatus</i>)
T2	a2	Pulpa liofilizada de pitahaya roja (<i>Hylocereus undatus</i>)

Delimitaciones

La unidad de análisis estuvo formada solo por muestras de pulpa fresca y pulpa liofilizada de pitahaya roja, obtenidas de frutos con madurez comercial homogénea y procedentes de un mismo lote, en este caso de la Exportadora de frutas PITAKAWSAY CIA. LTDA, ubicada en la provincia de Manabí, vía Rocafuerte-Manta km 8. Esto se planteó para reducir la variación asociada al origen del fruto, al grado de madurez, considerado a los 30 días después de la apertura floral, y al manejo previo. En cuanto al espacio, la investigación se limitó al contexto del Laboratorio CE.SE.C.CA (Centro de Servicios para el Control de la Calidad) de la ULEAM en Manta, Ecuador; donde se realizaron las liofilizaciones y determinaciones químicas correspondientes. En el plano temporal, el trabajo se desarrolló en un solo periodo experimental y durante una única temporada de cosecha, correspondiente al verano de 2025-septiembre; por eso, los hallazgos describirán únicamente las condiciones evaluadas, sin ampliarse a variaciones interanuales, almacenamientos prolongados o seguimientos de largo plazo.

Cada unidad experimental estuvo conformada por frutos proveniente de la misma finca. Todos los frutos utilizados en las repeticiones provinieron de una única planta de pitahaya. En cada repetición se emplearon frutos de la misma planta para obtener la pulpa fresca y la destinada a liofilización.

Deshidratación por liofilización de pulpa de pitahaya roja (*Hylocereus undatus*)

Ingreso y clasificación: La fruta fue transportada hasta el laboratorio en gavetas plásticas. Al momento de la recepción, se realizó una inspección visual de la materia prima, pudiendo seleccionar únicamente los frutos que presentaban madurez adecuada y ausencia de daños físicos o signos de deterioro, como magulladuras, cortes o cambios anormales en la coloración. Los frutos que no cumplían con estos criterios fueron descartados.

Lavado y desinfección: Los frutos escogidos se lavaron y desinfectaron sumergiéndolos durante 3 minutos en una solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm. Después, se limpió la superficie de cada fruto

con una esponja limpia para retirar residuos adheridos, como tierra, hojas y pequeñas vellosidades.

Despulpado: La pulpa se extrajo de manera manual con un cuchillo de acero inoxidable. Primero se realizaron cortes longitudinales en los frutos, lo que permitió retirar la cáscara con mayor facilidad.

Liofilización: La pulpa previamente congelada se introdujo en un liofilizador Labconco, modelo AZ214, donde permaneció durante 48 horas en condiciones de vacío, a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una presión de 0,016 mbar. Con este tratamiento se obtuvo una pulpa deshidratada de manera controlada. Al finalizar, el material liofilizado se trituro hasta convertirlo en polvo y se conservó a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ dentro de bolsas de polietileno de baja densidad, hasta el momento de su uso.

Determinación de las variables dependientes

pH: El valor de pH se determinó con el procedimiento establecido en la norma (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1986). Para ello, se pesaron 10 g de muestra previamente homogeneizada y se diluyeron en 90 mL de agua destilada, para el caso del liofilizado fue reconstituido previamente hasta la humedad en dilución 1 en 5 p/v. La mezcla fue agitada durante 1 minuto con un agitador magnético, con el propósito de lograr una adecuada dispersión de la muestra. Posteriormente, el pH se midió mediante un potenciómetro digital Hanna, modelo H 198130, previamente calibrado con soluciones tampón estándar de pH 4,00 y 7,00. El electrodo fue introducido directamente en la muestra líquida y el valor se registró una vez que la lectura se estabilizó.

Acidez titulable: Este parámetro se evaluó siguiendo lo establecido en la norma (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013). Para el análisis, se pesaron 10 g de pulpa y se mezclaron con 100 mL de agua destilada en un vaso de precipitación, con anticipación el polvo liofilizado se reconstituyó en proporción 1 en 5 p/v. La preparación se agitó hasta conseguir una solución uniforme y, cuando hizo falta, fue filtrada para facilitar el proceso de titulación. Después, la muestra se tituló con hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N y se utilizó fenolftaleína al 1 % disuelta en etanol como indicador. El punto final se reconoció cuando apareció una tonalidad rosada que se mantuvo durante al menos 30 segundos. Finalmente, se registró el volumen de NaOH consumido y la acidez titulable se expresó como porcentaje de ácido málico, con el uso de la fórmula correspondiente basada en el equivalente

gramo-ácido.

Capacidad antioxidante: La capacidad antioxidante se determinó mediante el método ABTS, con la metodología descrita por Kuskoski (2004), cuando se trató del polvo liofilizado fue necesaria su reconstitución en una proporción 1 en 10 p/v. Para la preparación del radical ABTS⁺, Se combinó ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) con una solución de persulfato de potasio a una concentración de 2,45 mM. La solución se incubó durante 16 horas en oscuridad y a temperatura ambiente, hasta permitir la formación del radical. Posteriormente, la solución fue diluida hasta alcanzar una absorbancia de $0,70 \pm 0,02$ a 734 nm. Para el análisis, se adicionaron 10 μL del extracto de muestra a 990 μL de la solución ABTS⁺ y, luego de 6 minutos de reacción, se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-Vis Genesys 10S a una longitud de onda de 734 nm. Los resultados se expresaron como miligramos de equivalente de capacidad antioxidante Trolox por cada cien mililitros (mgTEAC/100mL muestra), mediante una curva estándar de Trolox.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el diseño completamente al azar con dos tratamientos y tres repeticiones con la prueba de Shapiro-Wilk mostró que no se rechazó la hipótesis de normalidad en las variables, dado que todos los valores p fueron superiores a 0,05. Para el pH, la pulpa fresca

presentó $p = 0,363$ y la pulpa liofilizada $p = 0,637$. En la acidez titulable, la pulpa fresca obtuvo $p = 1,000$, mientras que la liofilizada registró $p = 0,637$. En la capacidad antioxidante, los valores fueron $p = 0,657$ para la pulpa fresca y $p = 0,751$ para la liofilizada. En consecuencia, los resultados respaldan la aplicación de la prueba t de Student.

Tabla 2.

Estadísticos descriptivos y resultados de la prueba de Shapiro-Wilk

Parámetro	Tipo	M	DE	EE	IC 95 %	p
pH	Pulpa fresca	5,070	0,1058	0,0611	[4,807; 5,332]	0,363
pH	Pulpa liofilizada	3,316	0,0611	0,0352	[3,164; 3,468]	0,637
Acidez titulable	Pulpa fresca	0,710	0,0200	0,0115	[0,660; 0,759]	1,000
Acidez titulable	Pulpa liofilizada	0,933	0,0152	0,0088	[0,895; 0,971]	0,637
Capacidad antioxidante	Pulpa fresca	33,740	1,4534	0,8391	[30,129; 37,350]	0,657
Capacidad antioxidante	Pulpa liofilizada	526,540	9,4701	5,4676	[503,014; 550,065]	0,751

Nota. n = 3. M = media; DE = desviación estándar; EE = error estándar; IC 95 % = intervalo de confianza del 95 % para la media. Los valores p corresponden a la prueba de Shapiro-Wilk.

En concordancia con el diseño, se evaluó la homogeneidad de las varianzas mediante la prueba de Levene. Para el pH se obtuvo $p = 0,275$; para la variable acidez $p = 0,789$; y en la capacidad antioxidante $p = 0,105$. Debido a que todos los valores de significación fueron superiores a 0,05, no se

rechazó la hipótesis de igualdad de varianzas entre la pulpa fresca y la liofilizada. Por tanto, los resultados respaldan el cumplimiento del supuesto de homogeneidad requerido para aplicar la prueba t de Student.

Tabla 3.

Estadísticos descriptivos y prueba de homogeneidad de varianzas de Levene

Parámetro	Tipo	DE	E	IC 95 % para la media	p (Levene)
pH	Fresca	0,10583	0,06110	[4,8071, 5,3329]	0,275
pH	Liofilizada	0,06110	0,03528	[3,1649, 3,4684]	0,275
Acidez titulable	Fresca	0,02000	0,01155	[0,6603, 0,7597]	0,789
Acidez titulable	Liofilizada	0,01528	0,00882	[0,8954, 0,9713]	0,789
Capacidad antioxidante	Fresca	1,45341	0,83913	[30,1295, 37,3505]	0,105
Capacidad antioxidante	Liofilizada	9,47018	5,46761	[503,0148, 550,0652]	0,105

Nota. DE = desviación estándar; EE = error estándar; IC = intervalo de confianza. Los valores p corresponden a la prueba de Levene

La prueba *t* de Student para muestras relacionadas evidenció diferencias estadísticamente significativas entre la pulpa fresca y la liofilizada en las tres variables

evaluadas. Para el pH se obtuvo $t = 18,786$ y $p = 0,003$. El valor positivo de t indica que el pH fue significativamente mayor en la pulpa fresca que en la

Debido a que todos los valores de p fueron inferiores a 0,05, se rechazó la hipótesis nula de igualdad de medias para los tres parámetros. Estos resultados indican que el estado de la pulpa, fresca o liofilizada, influye significativamente sobre sus atributos químicos y su potencial antioxidante. En consecuencia, la liofilización produjo cambios relevantes en la calidad química y funcional de la pulpa de pitahaya roja.

Resultados de la prueba t de Student para muestras relacionadas

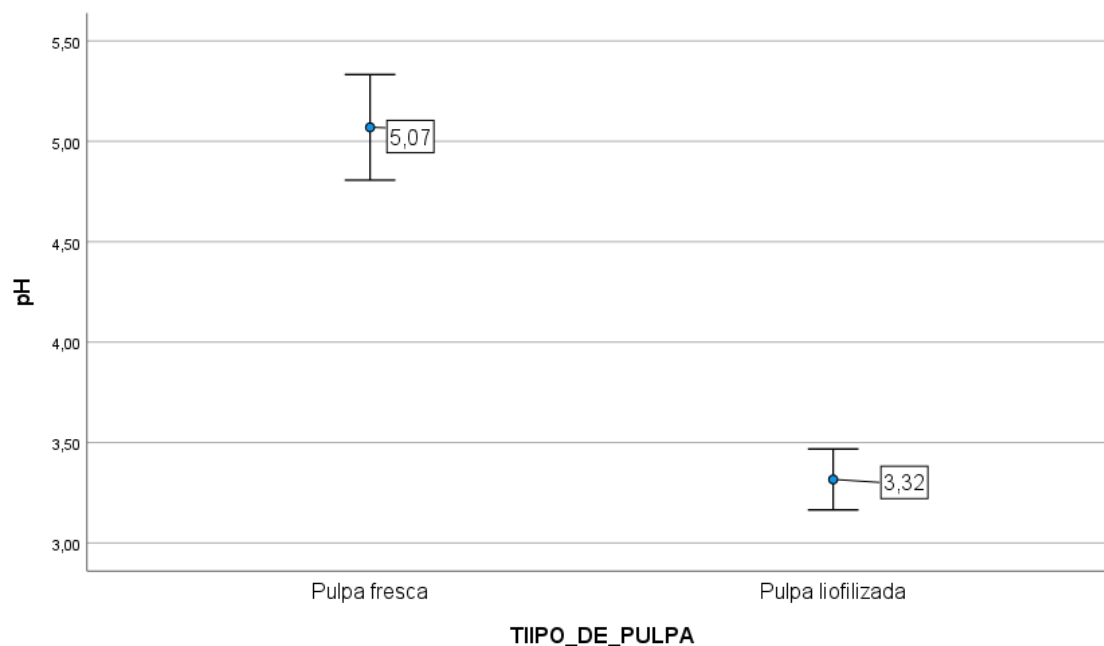
Nota. La desviación estándar, el error estándar y el intervalo de confianza se calcularon a partir de las diferencias emparejadas entre la pulpa fresca y la pulpa liofilizada, al considerar la resta pulpa fresca menos pulpa liofilizada. gl = 2; t = valor estadístico de la prueba; p = significancia bilateral.

nivel químico como tecnológico, ya que este parámetro influye en la estabilidad, la conservación y las posibles aplicaciones agroindustriales del producto. Asimismo, una acidez más elevada podría dificultar el desarrollo de determinados microorganismos y contribuir a que la pulpa se conserve en condiciones adecuadas durante un periodo más prolongado. En este sentido, la liofilización no solo redujo el contenido de humedad de la pulpa, sino que también modificó su comportamiento ácido-base.



Figura 1.

T Student para variable pH



La disminución del pH de la pulpa fresca a la pulpa liofilizada de pitahaya evidencia una modificación importante del equilibrio ácido-base de la matriz después del proceso, este comportamiento puede relacionarse, con la concentración relativa de ácidos orgánicos al eliminarse agua durante la liofilización y con la alteración de las estructuras celulares ocasionada por la congelación y sublimación, que genera una matriz porosa que facilita la rehidratación y la extracción de componentes solubles durante la dispersión de la muestra (Coşkun y otros, 2024). Al no reconstituirse el polvo hasta la humedad original ni normalizarse los resultados por materia seca, la muestra liofilizada aportó una mayor concentración de sólidos por unidad de volumen, lo que pudo intensificar el descenso observado (Sampaio L y otros, 2025).

Los resultados contrastan con Dadhaneeya y otros (2023), quienes estudiaron diferentes métodos de secado en pulpa de pitahaya y coinciden parcialmente, informaron que el pH del fruto fresco de *Hylocereus undatus* disminuyó de 7,96 a 6,78 en la pulpa liofilizada. Aunque la reducción observada fue menor que la registrada en el presente estudio, la dirección del cambio fue semejante; la diferencia en magnitud

podría explicarse por el genotipo, estado de madurez, composición inicial de ácidos, condiciones de liofilización y procedimiento utilizado para preparar las muestras antes de medir el pH. Por otra parte, Villafán-González y otros (2024) reportaron un pH promedio de 3,29 en pulpa de *Selenicereus undatus* cultivada en Yucatán, valor muy cercano al encontrado en la pulpa liofilizada de este trabajo, esta coincidencia demuestra que la especie puede presentar valores marcadamente ácidos al depender de su procedencia, madurez comercial y composición química. Por otro lado, Choque-Quispe y otros (2023) reportaron un pH de 5,91 en frutos frescos de tuna y observaron que este valor aumentó ligeramente luego de la liofilización. A pesar de que corresponde a otra especie perteneciente a la familia Cactaceae, el resultado fue contrario al obtenido en la pitahaya, lo cual deja ver que este proceso no siempre provoca una disminución del pH. En realidad, la respuesta puede variar según la composición de ácidos orgánicos, el contenido de sales minerales, la capacidad amortiguadora y las condiciones utilizadas para reconstituir cada matriz vegetal.

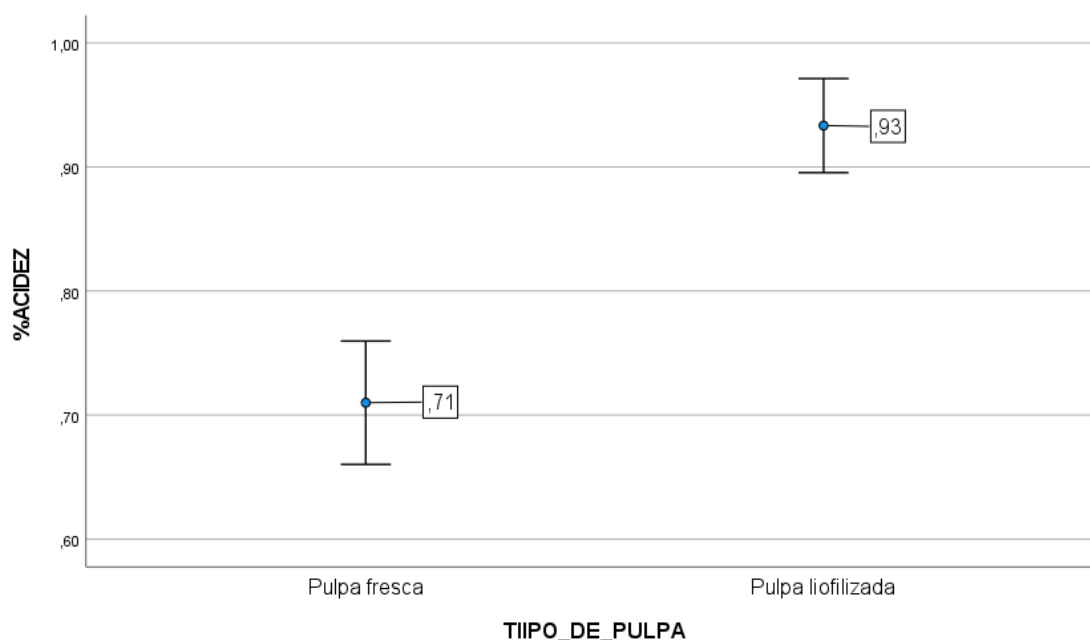
Acidez titulable

La Figura 2 muestra que la pulpa de pitahaya roja (*Hylocereus undatus*), luego de ser liofilizada, registró una acidez titulable superior a la obtenida en la pulpa fresca. La versión fresca registró un valor de 0,71 % de ácido málico, mientras que la pulpa liofilizada alcanzó 0,93 %. Este comportamiento indica que el

proceso de liofilización influyó en la concentración de ácidos orgánicos de la matriz, posiblemente debido a la reducción del contenido de agua durante el secado. En consecuencia, la pulpa liofilizada presentó una mayor acidez titulable, lo cual se relaciona directamente con la disminución del pH observada previamente y confirma cambios relevantes en los atributos químicos de la pulpa después del tratamiento.

Figura 2.

T Student para variable acidez titulable



El incremento de la acidez titulable en la pulpa fresca hasta la liofilizada, expresada como ácido málico, indica una mayor cantidad de compuestos ácidos neutralizables por unidad de muestra, pero no demuestra que la liofilización haya generado nuevos ácidos. Este comportamiento podría explicarse por el aumento proporcional de los ácidos orgánicos que ya estaban presentes al retirar parte del agua. A esto se suma una mayor facilidad para detectarlos durante el análisis, debido al daño de las células ocasionado por la congelación, la sublimación y la posterior trituration de la muestra (Nowak & Jakubczyk, 2020).

La acidez registrada en la pulpa fresca se encuentra dentro del rango de 0,41 a 0,74 % de ácido málico señalado por Franco y otros (2022) para *Hylocereus undatus* recolectada en diferentes etapas de maduración. Esta similitud respalda la plausibilidad del valor de la presente investigación, posiblemente

por diferencias de madurez, procedencia y composición inicial de ácidos orgánicos. El valor de la pulpa fresca también fue superior al 0,60 % de ácido málico observado por Centurión-Yah y otros (2008) en pitahayas cosechadas 29 días después de la floración, la relativa proximidad entre ambos resultados puede relacionarse con que las frutas del presente estudio se recolectaron aproximadamente a los 30 días después de la apertura floral. La diferencia reducida refleja condiciones distintas de cultivo, genotipo y manejo poscosecha. De Oliveira y otros (2024) reportaron una acidez titulable de 1,89 % de ácido málico en polvo liofilizado de pitahaya roja *H. polyrhizus*, valor aproximadamente dos veces mayor que el obtenido en el presente estudio. Coinciden en que la matriz liofilizada conserva una cantidad apreciable de ácidos neutralizables y expresan sus resultados con el mismo equivalente, ácido málico, lo que mejora la

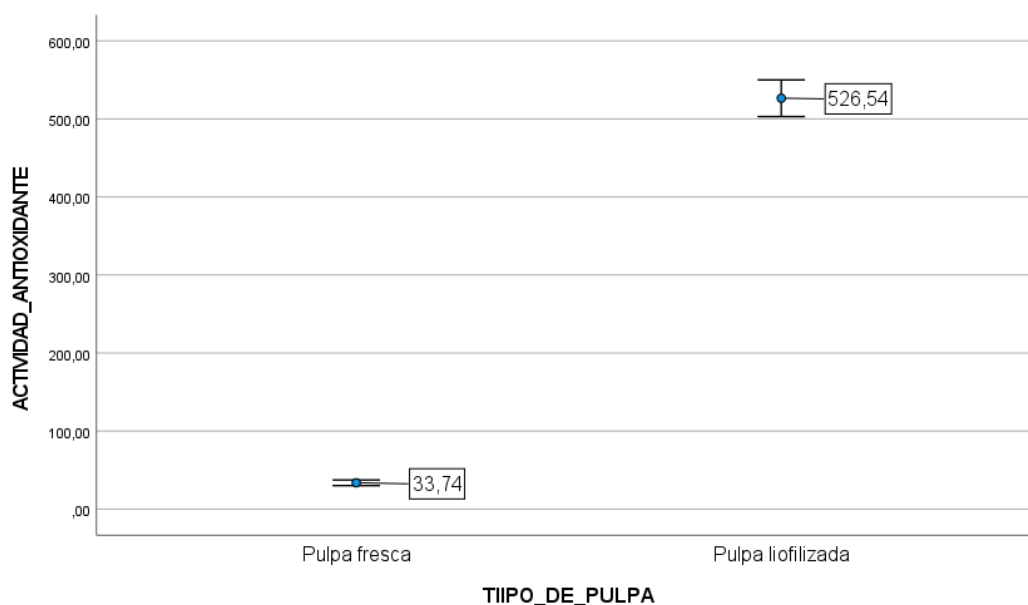
comparabilidad analítica. La diferencia entre ambos valores puede explicarse, en primer lugar, por la especie: *H. polyrhizus* y *H. undatus* presentan composiciones químicas distintas, determinadas por su genotipo y metabolismo de ácidos orgánicos y madurez, los frutos más maduros suelen presentar menor acidez porque los ácidos orgánicos se utilizan como sustratos respiratorios; por tanto, una materia prima menos madura podría originar un polvo con mayor acidez.

Capacidad antioxidante

La Figura 3 muestra una diferencia muy marcada en la capacidad antioxidante entre la pulpa fresca y la pulpa liofilizada de pitahaya roja (*Hylocereus undatus*). La pulpa fresca presentó un valor de 33,74 mg TEAC/100 mL de muestra, mientras que la pulpa liofilizada alcanzó un valor de 526,54 mg TEAC/100 mL de muestra. Esto ratifica que la pulpa liofilizada tuvo una capacidad antioxidante considerablemente mayor que la pulpa fresca.

Figura 3.

T Student para variable Capacidad antioxidante



La capacidad antioxidante aumentó significativamente en la pulpa liofilizada de pitahaya, este incremento indica una mayor capacidad del extracto liofilizado para neutralizar el radical ABTS⁺; sin embargo, no demuestra la formación de nuevos antioxidantes durante el proceso. El comportamiento observado se relaciona con la conservación de compuestos bioactivos sensibles al calor, la concentración ocasionada por la eliminación de agua y cambios estructurales que favorecen su liberación y solubilización durante la extracción. Dadhaneeya y otros (2023) observaron que el tipo de secado influye en la composición de los compuestos fenólicos y en la capacidad antioxidante de la pulpa de pitahaya. Esto indica que los resultados obtenidos no dependen solamente de cuánto se conserven dichos compuestos,

sino también de las condiciones utilizadas durante el procesamiento y la extracción. Por otra parte, Coşkun y otros (2024) explican que las bajas temperaturas y presiones aplicadas en la liofilización ayudan a disminuir el deterioro de las sustancias bioactivas. Además, este proceso puede formar estructuras porosas con buena capacidad de rehidratación, lo cual podría facilitar, en cierta medida, la extracción de los compuestos antioxidantes.

Dadhaneeya y otros (2023) evaluaron pulpa de *Hylocereus undatus* mediante DPPH, al comparar con la liofilización, la pulpa fresca presentó 59,13 % de actividad, mientras la liofilizada alcanzó 55,50 %, es decir, una reducción moderada. Este resultado difiere del aumento pronunciado del presente estudio,



probablemente porque el porcentaje de inhibición DPPH y los mg TEAC/100 mL por ABTS responden a mecanismos y bases de expresión distintas, también pudieron intervenir la humedad residual, el solvente, la concentración del extracto y pérdidas oxidativas durante el secado. Reyes-García y otros (2024) reportaron una capacidad antioxidante de 4,73 mM equivalentes de Trolox/g mediante ABTS en pulpa de *Hylocereus ocamponis*, obtenida por liofilización durante 48 h a -35°C , este resultado coincide con el presente estudio en demostrar que la pulpa liofilizada conserva compuestos capaces de neutralizar el radical ABTS⁺. Además, ambos trabajos emplearon Trolox como patrón y aplicaron un proceso de liofilización de 48 h, lo que favorece una comparación cualitativa de la capacidad antioxidante. La mayor respuesta obtenida en el presente trabajo podría relacionarse con la concentración de sólidos causada por la eliminación de agua y con una mayor accesibilidad de los antioxidantes después de la ruptura celular y pulverización. Sin embargo, no evidencia la formación de nuevos compuestos.

CONCLUSIONES

La liofilización se asoció con cambios estadísticamente significativos en los tres parámetros evaluados. El pH disminuyó de 5,0700 a 3,3167 ($p = 0,003$), mientras que la acidez titulable aumentó de 0,7100 a 0,9333 % de ácido málico ($p = 0,008$). Asimismo, la capacidad antioxidante se incrementó de 33,7400 a 526,5400 mg TEAC/100 mL ($p < 0,001$).

En conjunto, los resultados demuestran que la pulpa liofilizada presentó una condición más ácida y una respuesta antioxidante considerablemente superior a la pulpa fresca. No obstante, estos incrementos pueden estar relacionados con la pérdida de agua, la concentración de sólidos y la mayor disponibilidad de los compuestos durante la extracción, por lo que no evidencian necesariamente la formación de nuevas sustancias antioxidantes.

Para futuras investigaciones se recomienda ampliar el número de muestras, lotes, temporadas de cosecha y estados de madurez. También es necesario normalizar los resultados en función de la materia seca o reconstituir la pulpa liofilizada hasta su humedad original, además de cuantificar compuestos fenólicos, pigmentos y otros antioxidantes mediante diferentes métodos analíticos.

Los hallazgos amplían la importancia de la liofilización más allá de la conservación química, debido a su posible contribución a la reducción de pérdidas poscosecha y al aprovechamiento agroindustrial de frutas tropicales. Sin embargo, su aplicación requiere evaluar aspectos no abordados en profundidad, como la estabilidad microbiológica, las propiedades sensoriales, la vida útil, el consumo energético y la viabilidad económica.

De confirmarse estos resultados mediante estudios de mayor escala y condiciones estandarizadas, la pulpa liofilizada de pitahaya roja podría emplearse como ingrediente estable en alimentos funcionales y productos de valor agregado. Este escenario favorecería una mayor disponibilidad de la fruta fuera de su temporada de cosecha y nuevas oportunidades de innovación para la cadena agroalimentaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arivalagan, M., Karunakaran, G., Roy, T. K., Dinsha, M., Sindhu, B. V., Shilpashree, V. M., & Shivashankara, K. S. (2021). Biochemical and nutritional characterization of dragon fruit (*Hylocereus* species). *Food chemistry*, 353, 129426. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129426>
- Carmen, F., Frances, C., & Barthe, L. (2023). Trends on valorization of pitaya fruit biomass through value-added and green extraction technology—A critical review of advancements and processes. *Trends in Food Science & Technology*, 138, 339-354. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.06.014>
- Carpio-Rivas, V., Balois-Morales, R., Ochoa-Jiménez, V. A., Bello-Lara, J. E., & Berumen-Varela, G. (2024). Physicochemical parameters and antioxidant capacity of Queen Purple pitahaya fruits in postharvest storage. *Revista Bio Ciencias*, 11, e1654. <https://doi.org/https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1654>
- Centurión-Yah, A. R., Solís-Pereira, S., Saucedo-



- Veloz, C., Báez-Sañudo, R., & Sauri-Duch, E. (2008). Cambios físicos, químicos y sensoriales en frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus*) durante su desarrollo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(1), 1–5. <https://doi.org/https://doi.org/10.35196/rfm.2008.1.1>
- Choque-Quispe, D., Ligarda-Samanez, C. A., Huamán-Rosales, E. R., Aguirre Landa, J. P., Agreda Cerna, H. W., Zamalloa-Puma, M. M., . . . Gamarra-Villanueva, W. (2023). Bioactive compounds and sensory analysis of freeze-dried prickly pear fruits from an inter-Andean valley in Peru. *Molecules*, 28(9), 3862. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules28093862>
- Coşkun, n., Sarıtaş, S., Jaouhari, Y., Bordiga, M., & Karav, S. (2024). The impact of freeze drying on bioactivity and physical properties of food products. *Applied Sciences*, 14(20), 9183. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app14209183>
- Dadhaneeya, H., Kesavan, R. K., Inbaraj, B. S., Sharma, M., Kamma, S., Nayak, P. K., & Sridhar, K. (2023). Impact of different drying methods on the phenolic composition, in vitro antioxidant activity, and quality attributes of dragon fruit slices and pulp. *Foods*, 12(7), 1387. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods12071387>
- Franco, R. K., Castro, A., & Esguerra, E. (2022). Harvest maturity affects the quality and storage behavior of white-fleshed dragon fruit [*Hylocereus undatus* (Haworth) Britton and Rose]. *Food Research*, 6(2), 423–433. [https://doi.org/https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(2\).268](https://doi.org/https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(2).268)
- Herrera, M. D., Zegbe, J. A., & Reveles-Torres, L. R. (2024). Phytochemicals and functional properties of pitaya juice powders. *Plants*, 13(21), 3040. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/plants13213040>
- Huang, M., & Zhao, J. (2024). Recent advances in postharvest storage and preservation technology of pitaya (dragon fruit). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 99(2), 115-129. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/14620316.2023.2263757>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1986). *Conservas vegetales. Determinación de la concentración del ion hidrógeno (pH)*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Obtenido de https://es.scribd.com/document/578448182/inen-conservas-vegetales?utm_source=chatgpt.com
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Productos vegetales y de frutas: Determinación de la acidez titulable (IDT)*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Kuskoski, E., Asuero, A., García, M., Troncoso, A., & Fett, R. (2004). Actividad antioxidante de pigmentos antociánicos. *Food Sci. Technol. Food Science and Technology*, 24(4), 691-693. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0101-20612004000400036>
- Magalhães, D. S., Ramos, J. D., Salles Pio, L. A., Vilas Boas, E. V., Pasqual, M., Rodrigues, F. A., . . . dos Santos, V. A. (2019). Physical and physicochemical modifications of white-fleshed pitaya throughout its development. *Scientia horticultrae*, 243, 537-543. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.029>
- Nowak, D., & Jakubczyk, E. (2020). Nowak, D., & Jakubczyk, E. (2020). The freeze-drying of foods—The characteristic of the process course and the effect of its parameters on the physical properties of food materials. *Foods*, 9(10), 1488. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods9101488>
- Oliveira, V. C., Lourenço, M. T., Paiva, M. J., Guerra, D. J., Silva, C. W., Araújo, T., & Saldaña, M. (2024). Oliveira, V. C., Lourenço, M. T., Paiva, M. J., Guerra, D. J., Silva, C. W., ARAÚJO, T., ... & SALDAÑA, M. (2024).



- Freeze-dried dragon fruit powder: characterization and incorporation in plant-based drink. *Observ. La Econ. Latinoam*, 22, 1-18.
- Reyes-García, V., Botella-Martínez, C., Juárez-Trujillo, N., Muñoz-Tébar, N., & Viuda-Martos, M. (2024). Pitahaya (*Hylocereus ocamponis*)-peel and -flesh flour obtained from fruit co-products—Assessment of chemical, techno-functional and in vitro antioxidant properties. *Molecules*, 29(11), 2241.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules29102241>
- Sampaio L, M. F., Rebouças C, R. D., Soares, L. M., Lima A, C. d., Lima A, R. N., Ferreira N, L. d., . . . Oliveira, L. d. (2025). Green valorization of pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peels by ultrasound-assisted extraction and encapsulation of bioactive compounds. *Processes*, 13(11), 3628.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/pr13113628>
- Santos, N., Almeida, R., Albuquerque, J., de Lima, T., de Sousa, F., de Alcântara Silva, V., . . . Sousa, Á. (2024). Effect of ultrasound and freeze-drying to enhance the extraction of phenolic compounds in dragon fruit peels and apply them in edible starch-based films. *Packaging Technology and Science*, 37(9), 901-916.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pts.2833>
- Strazzer, P., Spelt, C. E., Li, S., Blik, M., Federici, C. T., Roose, M. L., . . . Quattrocchio, F. M. (2019). Hyperacidification of Citrus fruits by a vacuolar proton-pumping P-ATPase complex. *Nature communications*, 10(1), 744.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41467-019-08516-3>
- Villafán-González, D., Betancur-Ancona, D. A., & Gallegos-Tintoré, S. M. (2024). Freeze-dried pulp and peel from pitahaya (*Selenicereus undatus*): physicochemical properties and potential source of fructooligosaccharides. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11(1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.23850/24220582.6231>
- Agroindustriales, 11(1), 80-94.
<https://doi.org/https://doi.org/10.23850/24220582.6231>
- Wang, X., Chen, J., Luo, D., & Ba, L. (2024). Advances in the understanding of postharvest physiological changes and the storage and preservation of pitaya. *Foods*, 13(9), 1307.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods13091307>
- them in edible starch-based films. *Packaging Technology and Science*, 37(9), 901-916.
<https://doi.org/10.1002/pts.2833>
- Strazzer, P., Spelt, C. E., Li, S., Blik, M., Federici, C. T., Roose, M. L., ... & Quattrocchio, F. M. (2019). Hyperacidification of Citrus fruits by a vacuolar proton-pumping P-ATPase complex. *Nature communications*, 10(1), 744. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08516-3>
- Villafán-González, D., Abram Betancur-Ancona, D., & Moisés Gallegos-Tintoré, S. (2024). Freeze-dried pulp and peel from pitahaya (*Selenicereus undatus*): physicochemical properties and potential source of fructooligosaccharides. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 11(1).
<https://doi.org/10.23850/24220582.6231>
- Wang, X., Chen, J., Luo, D., & Ba, L. (2024). Advances in the understanding of postharvest physiological changes and the storage and preservation of pitaya. *Foods*, 13(9), 1307.
<https://doi.org/10.3390/foods13091307>