

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Agroindustria Alimentaria
Ingeniería en Agroindustria Alimentaria



Proyecto Especial de Graduación

Encapsulación del extracto etanólico de cáscara de pitaya (*Hylocereus costaricensis*) utilizando maltodextrina como agente encapsulante

Estudiante

Kathya Nicole Wainwright Baquedano

Asesores

Luis F. Maldonado, Ph.D.

Adriana Hernández, D.Sc.

Honduras, agosto 2022

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ADELA M. ACOSTA MARCHETTI

Directora Departamento de Agroindustria Alimentaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros	4
Índice de Figura.....	5
Resumen	6
Abstract	7
Introducción.....	8
Materiales y Métodos	11
Preparación de Tratamientos	11
Fase I. Extracción y Cuantificación de Polifenoles y Flavonoides de Cáscara de Pitaya	11
Fase II. Encapsulación y Análisis fisicoquímico del extracto etanólico de pitaya	15
Diseño Experimental y Análisis Estadístico	18
Resultados y Discusión.....	19
Análisis Químicos y Físicos	19
Análisis Químicos	19
<i>Análisis Físicos</i>	26
Conclusiones.....	28
Recomendaciones.....	29
Referencias	30

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Tratamientos evaluados en la investigación.	11
Cuadro 2 Contenido de polifenoles (mg EAG/100 g) y flavonoides (mg EC/100 g) en la harina de cáscara de pitaya.	20
Cuadro 3 Actividad de agua de los encapsulados de cáscara de pitaya con maltodextrina.	21
Cuadro 4 Solubilidad de los encapsulados de cáscara de pitaya con maltodextrina.	22
Cuadro 5 Eficiencia de encapsulación de polifenoles y flavonoides del extracto de cáscara de pitaya con maltodextrina.	23
Cuadro 6 Capacidad de carga para polifenoles y flavonoides del extracto de cáscara de pitaya con maltodextrina.	24
Cuadro 7 Capacidad captadora de radicales de los encapsulados de cáscara de pitaya con maltodextrina.	25
Cuadro 8 Actividad antioxidante de los encapsulado de cascara de pitaya con maltodextrina.	26
Cuadro 9 Medias de color en la escala L, a y b para los encapsulados de cáscara de pitaya con maltodextrina.	27

Índice de Figura

Figura 1 Flujo de proceso para la encapsulación de polifenoles y flavonoides de cáscara de pitaya. 13

Resumen

La industria alimentaria busca dar uso a los coproductos por su alto valor nutricional. En esta investigación, se utilizó la cáscara de pitaya como fuente de compuestos bioactivos. Se encapsularon polifenoles y flavonoides de la cáscara utilizando maltodextrina en diferentes proporciones como agente encapsulante. La investigación se desarrolló en dos fases: Fase I. Extracción y cuantificación de polifenoles y flavonoides de la harina de cáscara pitaya; fase II. Análisis fisicoquímico de los encapsulados de cáscara de pitaya. Ambas fases se analizaron haciendo uso de un Diseño Completo al Azar (DCA). La investigación se llevó a cabo con cuatro tratamientos y tres repeticiones por tratamiento, para un total de 12 unidades experimentales. En los análisis fisicoquímicos se evaluó: cuantificación de polifenoles y flavonoides de la cáscara y del encapsulado, solubilidad, actividad de agua, capacidad antioxidante, actividad captadora de radicales, capacidad de carga y color. Se obtuvo un valor de 16.40 ± 0.59 mg EAG/g para polifenoles y 19.25 ± 0.54 mg EC/g para flavonoides en el extracto de cáscara de pitaya. Además, se obtuvo una eficiencia de encapsulación máxima de 90.03% para polifenoles y de 23.94% para flavonoides con valores de solubilidad superiores a 90%. Se encontró un valor máximo de actividad captadora de radicales de 42.13%, lo que indica que el encapsulado de cáscara de pitaya cuenta con capacidad antioxidante. Se recomienda, combinar la maltodextrina con goma arábica, goma guar y gelatina para tener una mayor eficiencia de encapsulación. También, se recomienda replicar la investigación utilizando diferentes cáscaras de frutas y vegetales.

Palabras clave: actividad antioxidante, polifenoles, flavonoides, coproductos, radicales libres.

Abstract

The food industry seeks to use co-products for their high nutritional value. In this research, pitaya peel was used as a source of bioactive compounds. Polyphenols and flavonoids from the peel were encapsulated using maltodextrin in different proportions as an encapsulating agent. The research was developed in two phases: Phase I. Extraction and quantification of polyphenols and flavonoids from pitaya peel flour; Phase II. Physicochemical analysis of pitaya peel encapsulates. Both phases were analyzed using a Randomized Complete Design (RCD). The research was carried out with four treatments and three replicates per treatment, for a total of 12 experimental units. In the physicochemical analyses, the following were evaluated: quantification of polyphenols and flavonoids in the peel and encapsulation, solubility, water activity, antioxidant capacity, radical scavenging activity, loading capacity and color. A value of 16.40 ± 0.59 mg EAG/g for polyphenols and 19.25 ± 0.54 mg EC/g for flavonoids was obtained in the pitaya peel extract. In addition, a maximum encapsulation efficiency of 90.03% for polyphenols and 23.94% for flavonoids with solubility values above 90% was obtained. A maximum radical scavenging activity value of 42.13% was found, indicating that pitaya peel encapsulation has antioxidant capacities. Combining maltodextrin with gum arabic, guar gum and gelatin is recommended to have a higher encapsulation efficiency. It is also recommended to replicate the research using different fruit and vegetable peels.

Keywords: antioxidant activity, coproducts, polyphenols, flavonoids, free radical, efficiency.

Introducción

A medida que pasa el tiempo la población mundial crece, y con ello la demanda de alimentos. En la actualidad, las frutas y verduras juegan un rol muy importante en la dieta de las personas. En 2020, se reportó una producción mundial de aproximadamente 890 millones de toneladas de fruta fresca, logrando un incremento de casi cinco millones de toneladas con respecto al año 2019 (Orús 2022). La industria hortofrutícola genera grandes cantidades de desperdicios, alcanzando aproximadamente entre el 40 y 55% del total de la cosecha mundial (i Totosaus 2018). Estos residuos contienen compuestos orgánicos que pueden ser utilizados como nuevos ingredientes alimenticios de origen vegetal con múltiples propiedades funcionales. El aprovechamiento de estos residuos podría aportar beneficios económicos a las empresas y a los consumidores.

La pitaya (*Hylocereus* spp.) es una fruta conocida en los últimos años a nivel mundial por sus características fisicoquímicas, nutricionales y sus compuestos bioactivos que la convierten en un alimento funcional. La cáscara de la pitaya conforma aproximadamente entre el 22 y el 44% del peso total de la fruta, las cuales son desechadas durante el proceso de producción agroindustrial (Le 2022). Los resultados reportados por Manihuruk et al. (2017), indicaron que los flavonoides, fenoles, hidroquinona, triterpenoides, saponina y taninos son el tipo de compuestos fitoquímicos contenidos en el extracto de cáscara de pitaya. Es por ello, que la utilización e investigación de la cáscara de pitaya como fuente de compuestos bioactivos ha crecido en los últimos años.

Los compuestos bioactivos han ganado popularidad debido a su actividad funcional como antioxidantes, antiinflamatorios, antidiabéticos, anticancerígenos, antivirales y antitumorales. De esta forma, protegen el cuerpo humano de los altos niveles de radicales libres y especies reactivas de oxígeno (Dahunsi et al. 2018). Los compuestos fenólicos o polifenoles son los compuestos bioactivos presentes en mayor proporción en los alimentos de origen vegetal y se han identificado como potenciales antioxidantes (Quiñones et al. 2012).

Dentro de los compuestos bioactivos de mayor interés se encuentran los antioxidantes naturales por su capacidad de inhibir las reacciones de oxidación, logrando contrarrestar los efectos de los radicales libres (Ortiz 2016). Es decir, que la producción acelerada de radicales provoca el estrés oxidativo que resulta en múltiples Enfermedades No Transmisibles (ENT). El estrés oxidativo consiste en un desequilibrio entre la producción de oxígeno reactivo y la capacidad del sistema biológico para detoxificar rápidamente los radicales libres o reparar el daño resultante (Pacheco Romero 2015).

En la actualidad, las Enfermedades No Transmisibles (ENT) representan un problema a nivel mundial, lo que ha dado paso a múltiples investigaciones sobre las propiedades biológicas de los alimentos. Se estima que anualmente mueren alrededor de 41 millones de personas a causa de ENT, lo que equivale al 71% de las muertes que se producen en el mundo. En América, las muertes por ENT rondan los 5.5 millones cada año (OPS 2022). En los últimos años, se ha demostrado que el consumo de polifenoles, específicamente flavonoides, generan un efecto positivo en la prevención de ENT. El interés en los flavonoides ha aumentado debido a varios estudios epidemiológicos que demuestran una correlación inversa entre el consumo diario de flavonoles y flavonas, con una menor incidencia y mortalidad de cáncer y enfermedades cardiovasculares (Duarte y Pérez-Vizcaíno 2015). Los flavonoides se utilizan en la industria alimentaria en la elaboración de alimentos y bebidas funcionales, suplementos dietéticos, como edulcorantes y colorantes (Grand View Research 2015) . La ingesta recomendada de flavonoides oscila entre 20 - 26 mg/día, lo cual podría ser suplida si se tiene una dieta rica en frutas y verduras (Coronado et al. 2015).

Los nuevos consumidores buscan alimentos que satisfagan sus necesidades nutricionales y brinden beneficios a su salud. Una oportunidad para la industria es la utilización de compuestos bioactivos encapsulados provenientes de subproductos de la industria alimentaria. La encapsulación es una tecnología de empaquetamiento utilizada para recubrir compuestos, siendo algunas de sus ventajas, proteger el material encapsulado de condiciones ambientales, aumentar la vida útil,

proteger el encapsulado de su paso por el tracto gastrointestinal y promover una liberación controlada (Castromonte et al. 2020).

La industria hace uso de múltiples agentes de encapsulantes, una de las más utilizadas es la maltodextrina. Las maltodextrinas son polímeros de glucosa obtenidos a partir del almidón mediante procesos enzimáticos. Son unidades de β -D-glucosa unidas principalmente por enlaces glucosídicos y generalmente están clasificadas de acuerdo con su equivalente de Dextrosa (DE), el cual determina su capacidad de reducción (Gabas et al. 2009). En múltiples investigaciones se ha concluido que los tratamientos encapsulados con maltodextrina mejoran la capacidad de atrapamiento del contenido total de polifenoles, lo que permite una alta recuperación de incompuestos.

Basado en lo anterior, se establecieron los siguientes objetivos:

Evaluar las propiedades fisicoquímicas de los encapsulados utilizando maltodextrina como agente encapsulante.

Cuantificar la capacidad de carga y eficiencia de encapsulación para los compuestos bioactivos de la cáscara de pitaya.

Determinar la actividad captadora de radicales y capacidad antioxidante del encapsulado.

Materiales y Métodos

La investigación se desarrolló en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, km 30 carretera de Tegucigalpa a Danlí, Valle del Yeguaré, Municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, República de Honduras. La preparación de la materia prima y los análisis fisicoquímicos se desarrollaron en el Laboratorio de Análisis de Alimentos (LAAZ), ubicado en la calle Cargill del Departamento de Agroindustria Alimentaria.

Preparación de Tratamientos

La investigación se llevó a cabo con cuatro tratamientos y tres repeticiones por tratamiento, para un total de 12 unidades experimentales. Los tratamientos consistieron en diferentes relaciones de agente encapsulante y extracto de cáscara de pitaya. Se utilizó maltodextrina (DE 10 - 15, Shandong Bangye Co Ltd., Shandong, China) en proporciones de 5, 10, 15 y 30 en comparación con una proporción de 6 del extracto de cáscara de pitaya para todos los tratamientos como se muestra en el Cuadro 1, esto según lo recomendado por Ramírez Londoño (2013).

Cuadro 1

Tratamientos evaluados en la investigación.

Tratamiento	Maltodextrina (g)	Extracto (mL)
1	5	6
2	10	6
3	15	6
4	30	6

Nota. g: gramos. ml: mililitros.

Fase I. Extracción y Cuantificación de Polifenoles y Flavonoides de Cáscara de Pitaya

Recolección de Muestra.

La pitaya fue cosechada del lote No.3 de la finca “La Jiguina” ubicada en San Manuel, Cortés. La finca cuenta con una temperatura máxima de 36 °C y una mínima de 24 °C, es decir que cuenta con un clima tropical (AccuWeather 2022). Para la investigación se utilizó la variedad *Hylocereus costaricensis*.

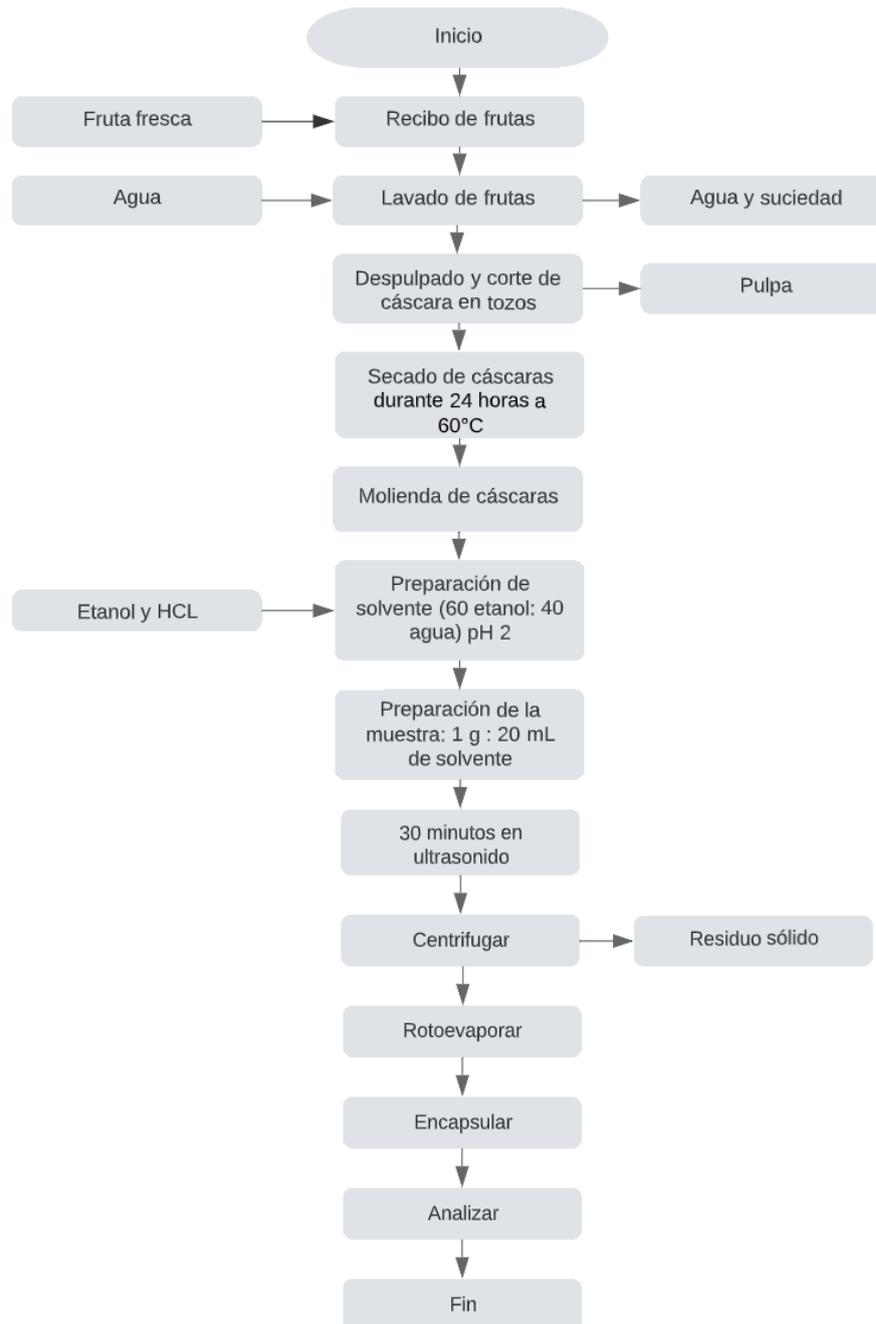
Preparación de la Harina y Extracto Etanólico de Cáscara de Pitaya.

Se seleccionaron las cáscaras de pitaya para asegurar que las mismas no contaran con daños físicos, microbiológicos o químicos. Una vez seleccionadas, se procedió a lavar y desinfectar las mismas con una solución de ácido peracético a 45 ppm y agua. Posteriormente, se realizó la extracción de la pulpa y se aseguró que quedaran completamente limpias para no alterar los resultados. Se cortaron las cáscaras en trozos pequeños y fueron colocadas en bandejas de aluminio previamente lavadas. Seguidamente, se realizó el secado por convección de las muestras durante 24 horas a 60 °C en el horno HS-R-SS-1-E. Transcurrido el tiempo, se procedió a la molienda de las cáscaras secas en un molino de martillo (FOSS CT 193 Cyclotec™) con un filtro de partículas de 1 mm hasta obtener como producto final una harina de partículas muy finas.

Para la preparación del extracto etanólico se utilizó la metodología propuesta por Figueroa (2020), con leves modificaciones como se muestra en la Figura 1. Se preparó el disolvente utilizando una relación de 60% de etanol al 96 y 40% agua destilada, acidificado a un pH de 2 con ácido clorhídrico. Se pesó 1 g de harina de cáscara de pitaya en tubos cónicos de centrifugación con una relación de harina con volumen de disolvente de 1:20, según lo reportado por (Ordoñez et al. 2019). Posteriormente, fueron colocados en un aparato de ultrasonido a 25 kHz a temperatura ambiente durante 30 minutos (Corona-Jiménez et al. 2016). La solución obtenida fue extraída y separada del residuo sólido por centrifugado (VWR modelo Symphony 4417R) durante 10 minutos a 3000 rpm (Maltabar 2020). La extracción por ultrasonido provoca una ruptura mecánica en la pared celular, lo que permite la liberación de componentes bioactivos (Rojasa et al. 2019). El sobrenadante recolectado fue conservado a 4 °C en botellas ámbar de cristal hasta su posterior análisis (Figueroa 2020).

Figura 1

Flujo de proceso para la encapsulación de polifenoles y flavonoides de cáscara de pitaya.



Análisis Químicos

Cuantificación de Polifenoles Totales. El contenido de polifenoles totales del extracto de pitaya se determinó por medio de la adaptación de la metodología propuesta por Rojas et al. (2019) y Ordóñez-Santos et al. (2017), con leves modificaciones. El reactivo principal de este método consistió en una mezcla de ácido fosfomolibdico y fosfotúngstico, la mezcla de ambos ácidos da paso a la producción de iones de molibdato y tungsteno. Este reactivo de color amarillo conocido comúnmente como reactivo de Folin-Ciocalteu al ser reducido por los grupos fenólicos se torna de color azul intenso (Muñoz-Bernal et al. 2017). En tubos de centrifugación (15 mL) se agregaron 50 μ L del extracto acuoso de cáscara de pitaya, 3 mL de agua destilada y 250 μ L del reactivo Folin-Ciocalteu (1 N) (Sigma-Aldrich, Co., MO, EE. UU.). Posteriormente, se agitaron en un Vortex (Fisherbrand, EE. UU.) por 30 segundos y se dejaron reposar durante 8 minutos a temperatura ambiente. Una vez transcurrido el tiempo, se le adicionó 750 μ L de Na_2CO_3 (20% p/v) y 950 μ L de agua destilada. Posteriormente, se dejaron reposar durante 30 minutos a temperatura ambiente. Se procedió a realizar la lectura en el espectrofotómetro UV/VIS (Cary 8454, Agilent Technologies, EE. UU.) a una longitud de onda de 765 nm.

Los resultados obtenidos se compararon con una curva de calibración ($R^2 = 0.9995$) utilizando ácido gálico (Sigma-Aldrich, Co., MO, EE. UU.) disuelto en agua en concentraciones conocidas de 0-1000 ppm (100, 200, 300, 400, 500, 700, 1000 ppm) que representaron la cantidad de polifenoles en la harina de pitaya (Ordóñez-Santos et al. 2017).

Cuantificación de Flavonoides. La determinación de flavonoides en el extracto etanólico se realizó por medio de los métodos propuestos por Zhishen et al. (1999) y Vega et al. (2017), con leves modificaciones. Previo al análisis, se prepararon dos soluciones: solución A (1.8 mL de NaNO_2 al 5% más 24 mL de agua) y solución B (12 mL de NaOH 1M más 14.4 mL de agua). Se colocaron en un tubo de centrifuga 600 μ L de extracto de pitaya. Posteriormente, se le añadieron 2.58 mL de la solución A y se dejó reposar durante 5 minutos. Seguidamente, se le añadieron 180 μ L de AlCl_3 al 10% y se dejó

reposar por un min. Para finalizar, se le añadieron 2.52 mL de la solución B y fueron analizados a una longitud de onda de 415 nm.

Los resultados obtenidos fueron comparados con una curva de calibración ($R^2 = 0.9999$) de Catequina (Sigma-Aldrich, Co., MO, EE. UU.) disuelto en agua en concentraciones conocidas de 0-1000 ppm (50, 200, 400, 600, 800, 1000 ppm) que representaron la cantidad de flavonoides en la harina de pitaya (Ordóñez-Santos et al. 2017).

Fase II. Encapsulación y Análisis fisicoquímico del extracto etanólico de pitaya

Encapsulación del Extracto.

Preparación del Extracto Etanólico. Previo al proceso de encapsulación se concentró al vacío, el extracto de pitaya por medio del roto evaporador a una temperatura de 60 °C, esto para eliminar los restos de los disolventes volátiles presentes aún en el extracto. La encapsulación del extracto de pitaya se realizó con maltodextrina en diferentes proporciones como agente encapsulante. Para la preparación del agente encapsulante se utilizó una relación polímero-disolvente de 1:4, estos fueron mezclados a una temperatura de 50 °C hasta lograr que se homogenizara e hidratara correctamente (Csernoch et al. 2015). Una vez disuelta la maltodextrina, se le agregó el extracto etanólico y se mezcló durante 5 minutos. Luego, las muestras fueron colocadas en tubos cónicos de centrifuga para ser secadas posteriormente. El secado de las muestras de encapsulado se realizó por medio del equipo de liofilización (FreeZone 2.5 Liter Benchtop, Labconco) en modo automático durante 40 horas a una temperatura de -50 °C y a una presión de 0.220 mbar. Una vez transcurrido el tiempo, se molieron las muestras en un mortero hasta lograr un polvo fino y homogéneo. Las muestras fueron conservadas en un desecador hasta su posterior análisis.

Análisis Fisicoquímico

Análisis de Color. El análisis de color de las muestras se realizó por medio del colorímetro ColorFlex Hunter siguiendo el método AN 1018.00. La escala utilizada en el análisis fue L, a y b. Lo cual indican: L "luminosidad", donde 100 es blanco y 0 es negro; "a" es un indicador de cromaticidad y

representa la tonalidad de verde a rojo, donde el mayor valor (+60) representa el rojo y el menor (-60) el color verde; “b” indica que al obtener valores mayores (+60) el color es de tonalidad amarillo y el menor (-60) el color azul.

Capacidad Captadora de Radicales. La capacidad captadora de radicales del encapsulado se midió por medio de la metodología propuesta por (Yap et al. 2020) y (Ricci et al. 2019), con leves modificaciones. El método consiste en la disminución de absorbancia a través del tiempo, esto debido a la eliminación de los radicales libres DPPH de la muestra utilizada. Se preparó una solución metanólica de DPPH con una concentración de 0.004% (w/v). Se mezclaron 2.50 mL de la solución DPPH con 50 μ L de la muestra. Se agitaron y se dejaron reposar durante 30 min. a temperatura ambiente. Transcurrido el tiempo, la absorbancia se midió por medio del espectrofotómetro UV-VIS (Cary 8454, Agilent Technologies, EUA) a 517 nm. La capacidad captadora de radicales (inhibición) de la muestra se determinó utilizando la fórmula propuesta por (Ojito Ramos et al. 2012) (Ecuación 3)

$$\% \text{ Inhibición: } \left(\frac{A_i - A_f}{A_i} \right) * 100 \quad [3]$$

Donde:

A_i: Absorbancia inicial del DPPH (minuto 0)

A_f: Absorbancia final de la muestra con DPPH (30 min)

Actividad Antioxidante. Se evaluó la actividad antioxidante del encapsulado por medio de una curva estándar, para cual se utilizaron diferentes concentraciones: 0.18, 0.35, 0.53 y 0.70 de ácido gálico como referencia. Las cuales fueron analizadas haciendo uso el espectrofotómetro UV/VIS (Cary 8454, Agilent Technologies, EE. UU.) a una longitud de onda de 518 nm.

Solubilidad. El análisis de solubilidad se realizó por medio de la metodología propuesta por (Maltabar 2020; Yap et al. 2020), con leves modificaciones. Se le agregó 1 g de muestra a 24 mL de agua desionizada, esto se repitió para cada una de las repeticiones de los tratamientos. Posteriormente, se agitaron en un Vortex (Fisherbrand, EE. UU.) a 2,500 rpm durante cinco min. Se llevaron a baño maría a una temperatura de 30 °C durante 30 min. Una vez transcurrido el tiempo, se

centrifugaron (VWR modelo Symphony 4417R) durante 15 minutos a 5,000 rpm. Se extrajo el sobrenadante, el cual fue colocado en un plato Petri. Posteriormente, se llevó al horno a 105 °C durante 18 horas. La solubilidad fue calculada por medio de la Ecuación 3, propuesta por Yap et al. (2020).

$$\% \text{ Solubilidad: } \left(\frac{MS}{PM} \right) * 100 \quad [3]$$

Donde:

MS: Material soluble (g)

PM: Peso inicial de la muestra (g)

Actividad de Agua. La actividad de agua de los tratamientos, luego de ser liofilizados, se midió por medio del método AOAC 978.18 haciendo uso del medidor AQUALAB Serie 3. Este método mide la temperatura superficial de las muestras mediante infrarrojo y el punto de rocío sobre un espejo enfriado. Para el correcto funcionamiento del equipo se calibró utilizando el estándar de 0.500 de actividad de agua. Se colocó la muestra en la copa de plástico y se esperó hasta que el equipo indicara que la lectura había finalizado. Se realizaron tres lecturas por tratamiento evaluado.

Capacidad de Carga. Para el cálculo capacidad de carga se obtuvo el valor de polifenoles y flavonoides por gramos de muestra y esto se dividió entre la cantidad de muestra utilizada. La capacidad de carga fue calculada haciendo uso de la Ecuación 4 (Bardales Castellanos y Alemán Martínez 2020).

$$\text{Capacidad de carga: } \frac{MR}{M} \quad [4]$$

Donde:

MR: Material recuperado (mg)

M: Muestra utilizada (g)

Eficiencia de Encapsulación. Se evaluó la eficiencia de encapsulación con el contenido real cuantificado en el encapsulado y el teórico o esperado, para ello se utilizó la Ecuación 5.

$$\% \text{Eficiencia de encapsulación: } \left(\frac{CR}{CT} \right) * 100 \text{ [5]}$$

Donde:

CR: Cantidad real de biocompuestos (mg)

CT: Cantidad teórica de biocompuestos (mg)

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Esta investigación se analizó estadísticamente haciendo uso de un Diseño Completamente al Azar (DCA). Los datos obtenidos fueron analizados por medio del programa estadístico SAS® (Statistical Analysis System), versión 9.4, a través de un análisis de varianza (ANDEVA) y una separación de medias DUNCAN para poder identificar el mejor tratamiento para encapsulación del extracto de cáscara de pitaya.

Resultados y Discusión

Análisis Químicos y Físicos

Análisis Químicos

Polifenoles y Flavonoides.

Los polifenoles representan el grupo de metabolitos secundarios más conocidos en las plantas, caracterizado por un amplio y diverso conjunto de propiedades bioactivas únicas, lo que hace que sean apreciados por sus efectos beneficiosos tanto para las plantas, como para los seres humanos (Rios-Aguirre y Gil-Garzón 2021). Los flavonoides son un grupo de compuestos bioactivos presentes en los alimentos de origen vegetal. Su consumo regular se asocia a la reducción del riesgo de varias enfermedades crónicas, como el cáncer, las Enfermedades Cardiovasculares (ECV) y los trastornos neurodegenerativos. Los flavonoides se clasifican en subgrupos según su estructura química: flavanonas, flavonas, flavonoles, flavan-3-oles, antocianinas e isoflavonas (Kozłowska y Szostak-Wegierek 2014).

Se realizaron los análisis para la cuantificación de polifenoles y flavonoides totales del extracto etanólico de cáscara de pitaya. Se obtuvo un valor de 1,640 mg EAG/100 g para polifenoles totales, lo que es equivalente a 16.40 mg EAG/g (Cuadro 2). Estos datos son similares a los obtenidos por (Kim H et al. 2011), ya que ellos obtuvieron un valor de 14.82 mg EAG/ g en el extracto de cáscara de pitaya. La diferencia entre los valores se puede atribuir al solvente utilizado para la extracción y al hecho que no se trabajó con la misma variedad de pitaya roja en la investigación. Para flavonoides totales se obtuvo un valor de 19.25 mg EC/g (Cuadro 2), esto se puede comparar con lo obtenido por (Kim H et al. 2011), donde encontraron un valor de 18.16 mg EC/g en la cáscara de pitaya roja. La diferencia podría atribuirse a los parámetros mencionados anteriormente, lo que resulta en una menor cantidad de compuestos fenólicos en el extracto acuoso.

Cuadro 2

Contenido de polifenoles (mg EAG/100 g) y flavonoides (mg EC/100 g) en la harina de cáscara de pitaya.

Muestra	Polifenoles \pm D.E.	Flavonoides \pm D.E.
Harina de cáscara de pitaya	1,640.00 \pm 58.61	1,925.82 \pm 108.47
C.V. (%)	3.58	5.63

Nota. Mg: miligramos. EAG: Equivalente de ácido gálico. EC: Equivalente de catequina. G: gramos. C.V.: Coeficiente de variación en porcentaje. D.E.: Desviación Estándar.

Actividad de Agua.

En el análisis de actividad de agua no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos, es decir, que el porcentaje de maltodextrina no tiene un efecto significativo sobre la actividad de agua del encapsulado (Cuadro 3). También, es necesario observar que se obtuvo un coeficiente de variación alto. Esto, debido a que en la molienda los tratamientos pudieron absorber humedad del ambiente. La actividad de agua de un polvo que se encuentra entre 0.2 - 0.4 provee reducciones en procesos como la oxidación y reacciones enzimáticas como el empardeamiento (Caliskan y Dirim 2016) . En esta investigación, se obtuvieron valores que oscilan entre 0.32 y 0.39. Hussain et al. (2018), en su estudio de encapsulación de compuestos bioactivos obtuvieron valores similares de actividad de agua, 0.310 y 0.450, por medio de liofilización con maltodextrina en diferentes proporciones.

Los valores de actividad de agua son considerados parámetros críticos para la supervivencia de los microorganismos y en la estabilidad de las microcápsulas durante el almacenamiento (Rodríguez-Barona et al. 2016). Arrazola et al. (2014), obtuvieron resultados similares en la encapsulación de compuestos bioactivos con maltodextrina, ya que se puede observar que a mayor contenido de maltodextrina en los tratamientos se presenta una menor higroscopicidad en el encapsulado. La maltodextrina es un material encapsulante con baja higroscopicidad, lo que la

convierte en una excelente opción como agente auxiliar para la reducción de higroscopicidad de los encapsulados (Caparino et al. 2012).

Cuadro 3

Actividad de agua de los encapsulados de cáscara de pitaya con maltodextrina.

TRT	Maltodextrina: Extracto	Actividad de agua ± D.E. ^{NS}
1	5:6	0.39 ± 0.07
2	10:6	0.38 ± 0.04
3	15:6	0.38 ± 0.06
4	30:6	0.32 ± 0.05
P		0.5452
C.V. (%)		15.86

Nota. Cada medición de la actividad de agua representa la media de tres repeticiones. TRT: Tratamiento. P: Probabilidad C.V.: Coeficiente de Variación en porcentaje. D.E.: Desviación Estándar. NS: no significativo ($P > 0.05$).

Solubilidad.

Para el análisis de solubilidad no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos. Los resultados obtenidos oscilaron entre el 86.44 y 94.04%. Se puede observar que todos los tratamientos presentaron una alta solubilidad en agua (Cuadro 4). La selección del material de pared es muy importante, no sólo para la solubilidad en sí, sino también para el tamaño de partículas que se otorga a los polvos secos al final (Cortés-Rojas et al. 2015). La solubilidad obtenida en este estudio puede ser comparada con la obtenida por (Hussain et al. 2018), ya que ellos para los tratamientos liofilizados obtuvieron una solubilidad de 84.06 a 92.31%. El mayor porcentaje de solubilidad se obtuvo en el Tratamiento 4, el cual contenía la mayor proporción de maltodextrina, con un 94.04% de solubilidad.

Akhavan Mahdavi et al. (2016) reportaron el porcentaje de solubilidad para el extracto de orujo de acerola, el cual osciló entre el 90.97 y el 96.92%, utilizando maltodextrina y goma de árbol de la manzana de anacardo como materiales de pared micro encapsulantes. Kuck y Noreña (2016), obtuvieron datos similares a los obtenidos en esta investigación, ya que la solubilidad disminuyó a medida que incrementó la concentración de maltodextrina; este comportamiento en la solubilidad estaría asociado al tamaño de partícula, dado que, a menor tamaño, mayor será la superficie

disponible para hidratación. Ellos también reportaron que el tratamiento con mayor solubilidad sería el que tenía el 5% de maltodextrina.

Cuadro 4

Solubilidad de los encapsulados de cáscara de pitaya con maltodextrina.

TRT	Maltodextrina: Extracto	Solubilidad (%) ± D.E. ^{NS}
1	5:6	94.04 ± 2.74
2	10:6	91.26 ± 3.68
3	15:6	88.63 ± 1.82
4	30:6	86.44± 1.87
P		0.0687
C.V. (%)		3.19

Nota. Cada medición de la actividad de agua representa la media de tres repeticiones. TRT: Tratamiento. P: Probabilidad C.V.: Coeficiente de Variación en porcentaje. D.E.: Desviación estándar. NS: no significativo ($P > 0.05$).

Eficiencia de Encapsulación.

Los tratamientos evaluados en la investigación presentaron diferencias significativas. Por medio de la separación de medias se puede observar que el tratamiento con mayor eficiencia de encapsulación para ambos parámetros evaluados fue el número 4, el cual consistió en 30 partes de maltodextrina por seis partes de extracto (Cuadro 5). Esto permite concluir que a mayor contenido de maltodextrina se obtiene una mejor encapsulación de compuestos bioactivos. Asimismo, un mayor contenido de maltodextrina permite una mejor protección al material encapsulado, ya que la maltodextrina es un almidón hidrolizado que se utiliza ampliamente en la encapsulación de compuestos bioactivos para protegerlos de los cambios oxidativos y los efectos de la temperatura (Ramírez et al. 2015).

La eficiencia de encapsulación en el Tratamiento 4 para polifenoles fue de $90.03 \pm 1.54\%$, este valor se puede comparar con el obtenido por (Yadav et al. 2018), en donde obtuvieron un valor de 91.19%. También, se obtuvo un valor de 23.94% para flavonoides, esto se puede comparar con lo obtenido por (Ballesteros et al. 2017), en donde obtuvieron una eficiencia de encapsulación de polifenoles de 26%. Sin embargo, Castro-Muñoz et al. (2015), obtuvieron una eficiencia de 75.86% para flavonoides utilizando maltodextrina con gelatina como material encapsulante. En la actualidad

se busca la adecuada selección de polímeros a utilizar, esto para obtener una mayor eficiencia y rentabilidad en el proceso de encapsulación. Se puede observar que se obtuvo una alta eficiencia, lo que permite concluir que la maltodextrina tiene un alto potencial como material encapsulante.

Cuadro 5

Eficiencia de encapsulación de polifenoles y flavonoides del extracto de cáscara de pitaya con maltodextrina.

TRT	Maltodextrina: Extracto	Eficiencia de Polifenoles Totales (%) ± D.E.	Eficiencia de Flavonoides Totales (%) ± D.E.
1	5:6	10.91 ± 0.25 ^C	6.60 ± 1.42 ^C
2	10:6	11.22 ± 0.31 ^C	6.96 ± 0.98 ^C
3	15:6	37.35 ± 2.09 ^B	14.65 ± 0.19 ^B
4	30:6	90.03 ± 1.54 ^A	23.94 ± 0.10 ^A
P		<.0001	<.0001
C.V. (%)		3.15	6.64

Nota. Cada medición de eficiencia de polifenoles y flavonoides representa la media de tres repeticiones. TRT: Tratamiento. P: Probabilidad. C.V.: Coeficiente de Variación en porcentaje. D.E.: Desviación Estándar. A-C: Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre tratamientos.

Capacidad de carga.

La capacidad de carga se define como el porcentaje de masa de compuesto bioactivo contenido en las partículas en relación con la masa total del sistema (Sponton 2016). Para el análisis de capacidad de carga se obtuvo diferencia significativa entre los tratamientos, a excepción del 1 y 2 (Cuadro 6). Se obtuvieron valores que oscilaron entre 14.77 para polifenoles y 2.30 para flavonoides. Se encontró que el Tratamiento 4 tuvo el valor más alto en, el cual contenía mayor cantidad de maltodextrina. Se puede observar en el Cuadro 6 que a mayor contenido de maltodextrina incrementa la capacidad de carga, tanto para polifenoles como para flavonoides totales. Un comportamiento similar fue reportado por (Murali et al. 2015), en donde los tratamientos con mayor contenido de maltodextrina presentaron una mayor capacidad de carga de bio compuestos. La diferencia entre polifenoles y flavonoides se podría atribuir a que posiblemente estos últimos son menos estables en condiciones ambientales como alta temperatura y humedad relativa, por lo que se recomendaría utilizar una combinación de dos agentes encapsulantes para obtener una doble protección de estas y

tener una mayor protección. Murali et al. (2015,) obtuvieron el mayor contenido de antocianinas utilizando gomo aguar como agente encapsulante, por lo que se podrían probar otros agentes para ver su efecto en el contenido de flavonoides y polifenoles.

Cuadro 6

Capacidad de carga para polifenoles y flavonoides del extracto de cáscara de pitaya con maltodextrina.

TRT	Maltodextrina: Extracto	Capacidad de carga polifenoles (mg/g)	Capacidad de carga flavonoides (mg/g)
1	5:6	1.79 ± 0.04 ^C	0.67 ± 0.01 ^C
2	10:6	9.52 ± 0.05 ^C	0.64 ± 0.02 ^C
3	15:6	6.13 ± 0.34 ^B	1.41 ± 0.09 ^B
4	30:6	14.77 ± 0.25 ^A	2.30 ± 0.14 ^A
P		<.0001	<.0001
% CV		3.14	6.60

Nota. Cada medición de L, a y b representa la media de tres repeticiones. TRT: Tratamiento. mg: miligramos. g: gramos. P: Probabilidad C.V.:

Coefficiente de Variación en porcentaje. D.E.: Desviación estándar. A-C: Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa (P < 0.05).

Capacidad Captadora de Radicales.

La cantidad de DPPH consumido al final de la reacción se correlaciona linealmente con la relación molar del compuesto con respecto al radical libre eliminado (Tsimogiannis y Oreopoulou 2004). Según el porcentaje de inhibición de la absorbancia se considera la capacidad de atrapar radicales libres de cada extracto. Se consideró el aumento de la absorbancia como indicador del poder reductor de los extractos (Ojito Ramos et al. 2012) Cada determinación se realizó por triplicado. Para el análisis de actividad captadora de radicales se obtuvo diferencia significativa entre los tratamientos, es decir, que se obtuvo una probabilidad (P ≤ 0.05).

El valor más alto de capacidad antioxidante (Cuadro 7) se obtuvo en el Tratamiento 4 (con mayor cantidad de maltodextrina), el cual fue de 42.13%. Los resultados obtenidos se pueden comparar con estudios previos. Flores Vázquez y García-Vieyra (2016), reportó un valor de 36.5 - 54.89% de capacidad antioxidante en la cáscara de pitaya, por lo tanto, concuerdan los datos obtenidos. Se puede observar que, a mayor contenido de polifenoles y flavonoides encapsulados por

el material encapsulante, mayor será el porcentaje de capacidad antioxidante. Es decir, que la encapsulación si genera un beneficio en la capacidad captadora de radicales.

Cuadro 7

Capacidad captadora de radicales de los encapsulados de cáscara de pitaya con maltodextrina.

TRT	Maltodextrina: Extracto	Capacidad captadora de radicales (%) ± D.E.
1	5:6	15.27 ± 0.55 ^C
2	10:6	25.95 ± 1.36 ^B
3	15:6	26.29 ± 1.69 ^B
4	30:6	42.13 ± 2.21 ^A
P		<.0001
% CV		6.52

Nota. Cada medición representa la media de tres repeticiones. TRT: Tratamiento. P: Probabilidad C.V.: Coeficiente de Variación en porcentaje. D.E.: Desviación Estándar. A-C: Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$) entre tratamientos.

Actividad Antioxidante

Los antioxidantes han ganado popularidad en los últimos años por ser esenciales en el cuerpo humano para prevenir los procesos de oxidación, estos se pueden encontrar en frutas y plantas. La actividad antioxidante total de un alimento se define como la capacidad que tiene la sustancia de reducir la oxidación hasta pequeñas cantidades. Esto permite identificar y valorar la calidad de un alimento, la cantidad de antioxidantes en un sistema, o la biodisponibilidad de compuestos antioxidantes en el cuerpo humano (Benítez-Estrada et al. 2020).

Para el análisis de actividad antioxidante se encontró diferencia significativa entre los tratamientos (Cuadro 8). Por medio de la separación de medias se obtuvo que el tratamiento 4 tiene la mayor actividad antioxidante, obteniendo un valor de 3.74 ± 0.23 . Este valor se puede comparar con lo obtenido por Zhuang et al. (2012). quienes obtuvieron un valor de 3.83 mmol EAG en la cáscara de pitaya roja.

Cuadro 8

Actividad antioxidante de los encapsulado de cascara de pitaya con maltodextrina.

TRT	Maltodextrina (g)	Actividad antioxidante ± D.E.
1	5	1.88 ± 0.11 ^C
2	10	2.60 ± 0.11 ^B
3	15	2.82 ± 0.06 ^B
4	30	3.74 ± 0.23 ^A
P		<.0001
% CV		5.50

Nota. Cada medición representa la media de tres repeticiones. mmol EAG/g: milimol expresados en ácido gálico. TRT: Tratamiento. g: gramos. P: Probabilidad C.V.: Coeficiente de Variación en porcentaje. D.E.: Desviación Estándar. A-C: Letras diferentes indican diferencia significativa (P < 0.05).

Análisis Físicos

Análisis de Color.

El color se puede definir como la percepción en el ojo humano de la radiación electromagnética con una determinada longitud de onda (380 y 750 nm.) y cómo la interpreta nuestro cerebro para identificar los diferentes colores. Los pigmentos son capaces de absorber y emitir esta energía como color (Álvarez Gil Leyva et al. 2019).

Para el análisis de color se obtuvieron los valores de L, a y b (Cuadro 9). Donde, un mayor valor en "L" nos indica que existe una alta luminosidad. Un mayor valor de "a" se acerca más a las tonalidades rojas y un menor valor se acerca más a las tonalidades verdes. Por otro lado, un mayor valor de "b" indica que el producto se acerca más a tonalidades amarillas y un menor valor a tonalidades azules.

En el Cuadro 9 se puede observar que para los tratamientos evaluados se obtuvo una diferencia significativa en los parámetros de L, a y b, ya que estos cuentan con una probabilidad (P ≤ 0.05). En el tratamiento con una proporción de 30 para maltodextrina se puede observar el valor más alto de luminosidad. Esto concuerda con los reportado por Caparino et al. (2012), donde encontraron un valor más alto de luminosidad en el tratamiento con 30% en comparación con el de 15% de maltodextrina.

Por otro lado, el valor “a” más alto se obtuvo en el tratamiento menor contenido de maltodextrina, esto debido a que el extracto fue diluido en una menor cantidad de solvente y en menor contenido de maltodextrina. Esto no quiere decir que el tratamiento cuenta con una mayor cantidad de compuestos bioactivos. Estos resultados se pueden comparar con los obtenidos por (Arrazola et al. 2014), en donde encontró el valor más alto de “a” en el tratamiento con el menor contenido de maltodextrina. Con el valor de “a” se puede identificar que el color del encapsulado tiene tonalidades rojas.

El tratamiento que obtuvo el valor “b” más alto fue el que contenía menor cantidad de maltodextrina, esto se le atribuye al color del extracto de cáscara de pitaya. La coloración de la pitaya varía desde rojo intenso, morado y amarillo claro. También, los flavonoides constituyen varios colores como el amarillo, rojo y azul (Figueroa 2020).

Cuadro 9

Medias de color en la escala L, a y b para los encapsulados de cáscara de pitaya con maltodextrina.

TRT	Maltodextrina: Extracto	L ± D.E.	a ± D.E.	b ± D.E.
1	5:6	77.84 ± 3.02 ^C	12.44 ± 0.45 ^A	18.62 ± 0.64 ^A
2	10:6	80.12 ± 0.17 ^{BC}	9.52 ± 0.15 ^B	17.40 ± 0.37 ^B
3	15:6	82.25 ± 0.47 ^B	7.95 ± 0.33 ^C	17.62 ± 0.48 ^{AB}
4	30:6	88.21 ± 0.81 ^A	5.34 ± 0.22 ^D	10.15 ± 0.38 ^C
P		0.0023	<.0001	<.0001
% CV		1.88	3.66	3.41

Nota. Cada medición de L, a y b representa la media de tres repeticiones. TRT: Tratamiento. P: Probabilidad C.V.: Coeficiente de Variación en porcentaje. D.E.: Desviación Estándar. A-D: Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa (P < 0.05) entre tratamientos.

Conclusiones

El contenido de maltodextrina no influye en la actividad de agua y solubilidad de los tratamientos evaluados. Además, los encapsulados con menor contenido de maltodextrina presentaron un color más intenso.

A mayor contenido de maltodextrina en los tratamientos, mayor capacidad de carga y eficiencia de encapsulación.

El uso de un mayor contenido de maltodextrina incrementa la actividad captadora de radicales y capacidad antioxidante. Se determinó que la cáscara de pitaya se puede considerar un antioxidante de origen vegetal.

Recomendaciones

Evaluar el uso de secado por aspersión para reducir el tiempo de secado y los costos de la investigación.

Combinar la maltodextrina con goma arábica, goma guar y gelatina para tener una mayor eficiencia de encapsulación.

Realizar un perfil de polifenoles y flavonoides en el Laboratorio de Análisis Alimentos para determinar el aporte del extracto de cáscara de pitaya al consumidor.

Realizar esta investigación utilizando diferentes cáscaras de frutas y verduras para darles un valor agregado.

Agregar el material encapsulado en diferentes matrices alimenticias, esto para poder conocer que alimentos no se ven afectados por la adición del encapsulado.

Referencias

- AccuWeather. 2022. Tiempo actual en San Manuel, Cortés, Honduras | AccuWeather. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 5 de jun. de 2022; consultado el 5 de jun. de 2022]. <https://www.accuweather.com/es/hn/san-manuel/187670/current-weather/187670>.
- Akhavan Mahdavi S, Jafari SM, Assadpoor E, Dehnad D. 2016. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. *Int J Biol Macromol.* 85:379–385. eng. doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.01.011.
- Álvarez Gil Leyva JE, Hernández Baumer L, Pardo Valdés V, Ramírez García H, Arévalo López P. 2019. Colores con luz negra. [sin lugar]: [sin editorial]; [consultado el 24 de jun. de 2022]. spa. <https://repositorio.lasalle.mx/handle/lasalle/2005>.
- Arrazola G, Herazo I, Alvis A. 2014. Microencapsulación de Antocianinas de Berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante Secado por Aspersión y Evaluación de la Estabilidad de su Color y Capacidad Antioxidante: Anthocyanins Microencapsulation of Eggplant (*Solanum melongena* L.) and Evaluation of Color Stability and Antioxidant Capacity. *Información tecnológica*; [consultado el 15 de jul. de 2022]. 25(3):31–42. doi:10.4067/S0718-07642014000300006.
- Ballesteros LF, Ramirez MJ, Orrego CE, Teixeira JA, Mussatto SI. 2017. Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. *Food Chem.* 237:623–631. eng. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814617309536>. doi:10.1016/j.foodchem.2017.05.142.
- Bardales Castellanos A, Alemán Martínez J. 2020. Evaluación de la encapsulación de fitoesteroles de palma africana (*Elaeis guineensis*) utilizando diferentes concentraciones de gelatina, maltodextrina y relaciones de acetona: agua [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado el 21 de jul. de 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/67a896d2-134a-4692-b565-a7e874550ce1/content>.
- Benítez-Estrada A, Villanueva-Sánchez J, González-Rosendo G, Alcántar-Rodríguez VE, Puga-Díaz R, Quintero-Gutiérrez AG. 2020. Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). *TIP*; [consultado el 25 de jun. de 2022]. 23. doi:10.22201/fesz.23958723e.2020.0.244.
- Caliskan G, Dirim SN. 2016. The effect of different drying processes and the amounts of maltodextrin addition on the powder properties of sumac extract powders. *Powder Technology*; [consultado el 26 de jun. de 2022]. 287:308–314. doi:10.1016/j.powtec.2015.10.019.
- Caparino OA, Tang J, Nindo CI, Sablani SS, Powers JR, Fellman JK. 2012. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine ‘Carabao’ var.) powder. *Journal of Food Engineering.* 111(1):135–148. doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010.
- Castromonte M, Wacyk J, Valenzuela C. 2020. Encapsulación de extractos antioxidantes desde sub-productos agroindustriales: una revisión. *Rev. chil. nutr.* 47(5):836–847. doi:10.4067/s0717-75182020000500836.
- Castro-Muñoz R, Barragán-Huerta BE, Yáñez-Fernández J. 2015. Use of gelatin-maltodextrin composite as an encapsulation support for clarified juice from purple cactus pear (*Opuntia stricta*). *LWT - Food Science and Technology.* 62(1):242–248. doi:10.1016/j.lwt.2014.09.042.

- Coronado M, Vega S, Vásquez M. 2015. Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Chilena de Nutrición*; [consultado Febrero 2015]. 42(2). <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rchnut/v42n2/art14.pdf>.
- Corona-Jiménez E, Martínez-Navarrete N, Ruiz-Espinosa H, Carranza-Concha J. 2016. Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de semillas de chia (*Salvia hispanica* L.) y su actividad antioxidante. *Scielo*. 50. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000400403.
- Cortés-Rojas DF, Souza CRF, Oliveira WP. 2015. Optimization of spray drying conditions for production of *Bidens pilosa* L. dried extract. *Chemical Engineering Research and Design*. 93:366–376. doi:10.1016/j.cherd.2014.06.010.
- Csernoch CE, Gallo AD, Mazzobre MF. 2015. Optimización de Microcápsulas de Antocianinas y Maltodextrina por Liofilizado. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional; [actualizado el 29 de jun. de 2022; consultado el 29 de jun. de 2022]. <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/rtyc/article/view/140/132>.
- Dahunsi A, Titilayo A, Kumaraswamy J, Isiaka S, Kolawole B. 2018. Production of exopolysaccharide by strains of *Lactobacillus plantarum* YO175 and OF101 isolated from traditional fermented cereal beverage. *PeerJ*. 6:e5326. eng. doi:10.7717/peerj.5326.
- Duarte J, Pérez-Vizcaíno F. 2015. Protección cardiovascular con flavonoides: enigma farmacocinético. *Ars Pharm*. 56(4):193–200. doi:10.4321/S2340-98942015000400002.
- Figuerola J. 2020. Microencapsulación de antocianinas con actividad antioxidante extraídas a partir de la cáscara de pitahaya roja (*Hylocereus undatus*). [Proyecto de Trabajo de Titulación]. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. 52 p; [consultado el 13 de nov. de 2021]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30832/1/BQ%20218.pdf>.
- Flores Vázquez J, García-Vieyra MI. 2016. Perfil fitoquímico y actividad antioxidante de extractos de pitahaya *Hylocereus undatus*. *Verano de la Investigación Científica*; [consultado el 25 de jun. de 2022]. 2(1):29–33. https://www.researchgate.net/publication/329222211_PERFIL_FITOQUIMICO_Y_ACTIVIDAD_ANTIOXIDANTE_DE_EXTRACTOS_DE_PITAHAYA_HYLOCEREUS_UNDATUS.
- Gabas AL, Telis-Romero J, Giraldo-Gómez GI, Telis VRN. 2009. Propiedades termodinámicas de sorción de agua de la pulpa de lulo en polvo con encapsulantes. *Ciênc. Tecnol. Aliment*. 29(4):911–918. doi:10.1590/S0101-20612009000400032.
- Grand View Research. 2015. Flavonoids Market Size, Share | Global Industry Report, 2018-2025. [sin lugar]: [sin editorial]; [actualizado el 22 de jun. de 2022; consultado el 22 de jun. de 2022]. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/flavonoids-market>.
- Hussain SA, Hameed A, Nazir Y, Naz T, Wu Y, Suleria HAR, Song Y. 2018. Microencapsulation and the Characterization of Polyherbal Formulation (PHF) Rich in Natural Polyphenolic Compounds. *Nutrients*. 10(7). eng. doi:10.3390/nu10070843.
- i Totosaus PP. 2018. El Desperdicio Alimentario y la Poscosecha.: Curso Poscosecha de la Universidad Politécnica de Valencia y el Aula de Horticultura. Valencia, España: Universitat Politècnica de Valencia; [actualizado el 19 de jun. de 2022; consultado el 19 de jun. de 2022]. <https://issuu.com/horticulturaposcosecha/docs/desperdicio-alimentario-y-la-poscos>.

- Kim H, Choi H-K, Moon JY, Kim YS, Mosaddik A, Cho SK. 2011. Comparative antioxidant and antiproliferative activities of red and white pitayas and their correlation with flavonoid and polyphenol content. *J Food Sci.* 76(1):C38-45. eng. doi:10.1111/j.1750-3841.2010.01908.x.
- Kozłowska A, Szostak-Wegierek D. 2014. Flavonoids - food sources and health benefits. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*; [consultado el 26 de jun. de 2022]. 65(2):79-85. <https://bibliotekanauki.pl/articles/872802>.
- Kuck LS, Noreña CPZ. 2016. Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. Bordo) skin phenolic extract using gum Arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. *Food Chem.* 194:569-576. eng. doi:10.1016/j.foodchem.2015.08.066.
- Le NL. 2022. Functional compounds in dragon fruit peels and their potential health benefits: a review. *International Journal of Food Science & Technology.* 57(5):2571-2580. doi:10.1111/ijfs.15111.
- Maltabar Y. 2020. Extracción y Cuantificación de Antocianinas por Método de pH Diferencial [Trabajo de fin de carrera]. Quito: Universidad San Francisco de Quito USFQ. 20 p; [consultado el 19 de nov. de 2021]. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/9223/1/131087.pdf>.
- Manihuruk FM, Suryati T, Arief II. 2017. Effectiveness of the Red Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) Peel Extract as the Colorant, Antioxidant, and Antimicrobial on Beef Sausage. *Media Peternakan.* 40(1):47-54. doi:10.5398/medpet.2017.40.1.47.
- Muñoz-Bernal ÓA, Torres-Aguirre GA, Núñez-Gastélum JA, La Rosa LA de, Rodrigo-García J, Ayala-Zavala JF, Álvarez-Parrilla E. 2017. Nuevo acercamiento a la interacción del reactivo de Folin-Ciocalteu con azúcares durante la cuantificación de polifenoles totales. *TIP.* 20(2):23-28. doi:10.1016/j.recqb.2017.04.003.
- Murali S, Kar A, Mohapatra D, Kalia P. 2015. Encapsulation of black carrot juice using spray and freeze drying. *Food Sci Technol Int.* 21(8):604-612. eng. doi:10.1177/1082013214557843.
- Ojito Ramos K, Herrera Sánchez Y, Vega Pérez N, Portal Villafaña O. 2012. Actividad antioxidante in vitro y toxicidad de extractos hidroalcohólicos de hojas de *Citrus* spp. (Rutaceae). *Cubana Plant Med*; [consultado el 19 de jun. de 2012]. 17(4). http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1028-47962012000400008&script=sci_arttext&tlng=pt.
- [OPS] Organización Panamericana de la Salud. 2022. Enfermedades no transmisibles. [sin editorial]; [consultado el 22 de jun. de 2022]. <https://www.paho.org/es/temas/enfermedades-no-transmisibles>.
- Ordoñez E, Leon-Arevalo A, Rivera-Rojas H, Vargas E. 2019. Quantification of total polyphenols and antioxidant capacity in skins and seeds from cacao (*Theobroma cacao* L.), tuna (*Opuntia ficus indica* Mill), grape (*Vitis Vinífera*) and uvilla (*Pourouma cecropiifolia*). *Sci.agropecu.* 10(2):175-183. doi:10.17268/sci.agropecu.2019.02.02.
- Ordóñez-Santos LE, Martínez-Girón J, Arias-Jaramillo ME. 2017. Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in Cape gooseberry juice. *Food Chem.* 233:96-100. eng. doi:10.1016/j.foodchem.2017.04.114.
- Ortiz ME. 2016. Consumo de antioxidantes naturales en mujeres en periodo de climaterio [Investigación]. Argentina: Universidad Abierta Interamericana. 91 p; [consultado el 17 de nov. de 2021]. <http://imgbiblio.vaneduc.edu.ar/fulltext/files/TC125124.pdf>.

- Orús A. 2022. Fruta fresca: volumen de producción mundial 2000-2020. Mundial: Statista; [actualizado 4/2022; consultado el 19 de jun. de 2022]. <https://es.statista.com/estadisticas/635091/produccion-de-fruta-fresca-a-nivel-mundial-de-1990-a/>.
- Pacheco Romero J. 2015. Estrés oxidativo en el climaterio y menopausia y cáncer ginecológico. *Rev peru ginecol obstet.* 56(2):108–119. doi:10.31403/rpgo.v56i239.
- Quiñones M, Miguel M, Aleixandre A. 2012. Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*; [consultado el 20 de jun. de 2022]. 27(1):76–89. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112012000100009.
- Ramírez MJ, Giraldo GI, Orrego CE. 2015. Modeling and stability of polyphenol in spray-dried and freeze-dried fruit encapsulates. *Powder Technology.* 277:89–96. doi:10.1016/j.powtec.2015.02.060.
- Ramírez Londoño MJ. 2013. Evaluación de variables de un proceso de micro-encapsulación para la estabilización de polifenoles [Tesis]. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. spa; [consultado el 14 de jul. de 2022]. <http://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52128>.
- Ricci A, Teslic N, Petropolus V-I, Parpinello GP, Versari A. 2019. Fast Analysis of Total Polyphenol Content and Antioxidant Activity in Wines and Oenological Tannins Using a Flow Injection System with Tandem Diode Array and Electrochemical Detections. *Food Anal. Methods.* 12(2):347–354. doi:10.1007/s12161-018-1366-z.
- Rios-Aguirre S, Gil-Garzón MA. 2021. Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *Tecnol.* 24(51):e1836. doi:10.22430/22565337.1836.
- Rodríguez-Barona S, Giraldo GI, Montes LM. 2016. Encapsulación de Alimentos Probióticos mediante Liofilización en Presencia de Prebióticos. *Inf. tecnol.* 27(6):135–144. doi:10.4067/S0718-07642016000600014.
- Rojasa T, Fuentes Campos M, Contreras-López E, Gómez S, Muñoz-Jáureguid AM. 2019. Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de la cáscara de sanky (*Corryocactus brevistylus*). *Sociedad Química Perú.* 85(2). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2019000200012&script=sci_arttext&tlng=pt.
- Sponton OE. 2016. Desarrollo de nanopartículas biopoliméricas para la encapsulación de ácidos grasos poliinsaturados. Argentina: Universidad del Litoral. spa; [consultado el 6 de jul. de 2022]. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/handle/11185/1006>.
- Tsimogiannis DI, Oreopoulou V. 2004. Free radical scavenging and antioxidant activity of 5,7,3',4'-hydroxy-substituted flavonoids. *Innovative Food Science & Emerging Technologies.* 5(4):523–528. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856404000566>. doi:10.1016/j.ifset.2004.05.006.
- Vega A, León JA de, Reyes SM. 2017. Determinación del Contenido de Polifenoles Totales, Flavonoides y Actividad Antioxidante de 34 Cafés Comerciales de Panamá. *Inf. tecnol.* 28(4):29–38. doi:10.4067/S0718-07642017000400005.

- Yadav K, Bajaj RK, Mandal S, Saha P, Mann B. 2018. Evaluation of total phenol content and antioxidant properties of encapsulated grape seed extract in yoghurt. *Int J Dairy Technol.* 71(1):96–104. doi:10.1111/1471-0307.12464.
- Yap JY, Hii CL, Ong SP, Lim KH, Abas F, Pin KY. 2020. Effects of drying on total polyphenols content and antioxidant properties of *Carica papaya* leaves. *J Sci Food Agric.* 100(7):2932–2937. eng. doi:10.1002/jsfa.10320.
- Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. 1999. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem.* 64(4):555–559. doi:10.1016/S0308-8146(98)00102-2.
- Zhuang Y, Zhang Y, Sun L. 2012. Characteristics of fibre-rich powder and antioxidant activity of pitaya (*Hylocereus undatus*) peels. *Int J of Food Sci Tech.* 47(6):1279–1285. en. doi:10.1111/j.1365-2621.2012.02971.x.