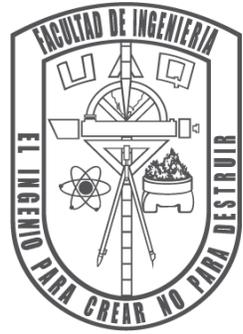




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Microencapsulación de betalaínas extraídas a partir de la pitahaya *Hylocereus spp* y su evaluación como colorante natural

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Ingeniera Agroindustrial

Presenta:

Erika Fernanda Aguado Gonzalez

Dirigido por:

M. en C. Alma Rosa Martínez Ramos

Concá, Arroyo Seco, Qro.
Noviembre, 2023



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



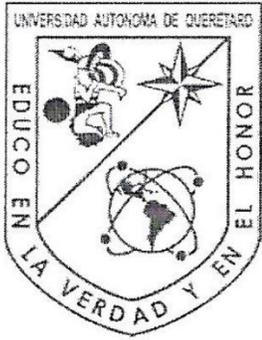
Microencapsulación de betalaínas extraídas a partir de
la pitahaya *Hylocereus* spp y su evaluación como
colorante natural.

por

Erika Fernanda Aguado Gonzalez

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](#).

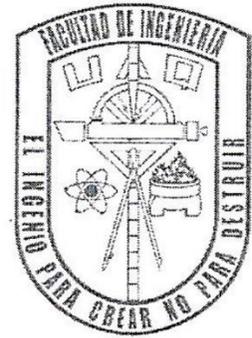
Clave RI: IGLIN-274865



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Microencapsulación de betalaínas extraídas a partir de la pitahaya *Hylocereus spp* y su evaluación como colorante natural

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Ingeniera Agroindustrial

Presenta:

Erika Fernanda Aguado Gonzalez

Dirigido por:

M. en C. Alma Rosa Martínez Ramos

M. en C. Alma Rosa Martínez Ramos
Director

Dra. Elisa Dufoo Hurtado
Sinodal

Dra. Marcela Quiróz Sodi
Sinodal

M. en C Adán Mercado Luna
Sinodal

Concá, Arroyo Seco, Qro.
Noviembre, 2023

RESUMEN

El color en los alimentos es la primera impresión y una de las propiedades más importantes. El color condiciona la apreciación del consumidor, determina la calidad e influye en la decisión de compra del alimento. En los últimos años, el impacto de la alimentación en la salud muestra un alza en la demanda por el uso de ingredientes más naturales como los encontrados en frutas y vegetales. La pitahaya *Hylocereus spp* es una cactácea y una fuente natural de compuestos bioactivos como las betalaínas (betacianinas y betaxantinas), que son compuestos nitrogenados hidrosolubles, mismos que han despertado el interés como fuente alternativa para la obtención de este compuesto debido a la capacidad colorante que otorga. El objetivo de este trabajo fue extraer las betalaínas de la pitahaya *Hylocereus spp* y microencapsularlas para su posterior evaluación como colorante en un alimento. El extracto de betalaínas de la pitahaya se obtuvo por medio acuoso a una relación 1:2, mediante la técnica de secado por aspersion a diferentes temperaturas de entrada de aire (130 °C y 140 °C) y liofilización, se microencapsuló con maltodextrina como material de pared. Se evaluaron las propiedades de las microcápsulas en cuanto a su contenido de humedad, contenido de betalaínas y color. Así mismo, las microcápsulas fueron adicionadas a sidra ámbar, adquirida de la empresa Bodegas Copa de Oro S.A de C.V y se efectuó una evaluación sensorial con un panel no entrenado de 58 consumidores. El rendimiento de encapsulación para secado por aspersion (130 °C y 140 °C) y liofilización de $17.99 \pm 0.246 \%$, $20.37 \pm 0.562 \%$ y $37.29 \pm 0.996 \%$ respectivamente. El color de las microcápsulas se describe como rosa-púrpura, por otra parte, el mayor contenido de betalaínas se indicó en las microcápsulas por aspersion a 130 °C (Asp 130). Finalmente, la evaluación sensorial mostró que la sidra con las microcápsulas del tratamiento Asp 130 tiene un alto porcentaje de aceptabilidad incluso mayor que la sidra rosada comercial, por lo que podría ser una alternativa como colorante natural en alimentos.

PALABRAS CLAVE: *Hylocereus spp*, betalaínas, colorante natural, extracción, microencapsulación, secado por aspersion, liofilización, maltodextrina.

ABSTRACT

Color in food is the first impression and one of the most important properties. Color conditions consumer perception determines quality and influences the food purchase decision. In recent years, the impact of diet on health shows an increase in demand for the use of more natural ingredients such as those found in fruits and vegetables. The dragon fruit *Hylocereus spp* is a cactus and a natural source of bioactive compounds such as betalains (betacyanins and betaxanthins), which are water-soluble nitrogenous compounds, which have aroused interest as an alternative source for obtaining this compound due to the coloring capacity that grants. The objective of this work was to extract betalains from the dragon fruit *Hylocereus spp* and microencapsulate them for subsequent evaluation as a colorant in a food. The betalain extract of pitahaya was obtained by aqueous medium at a 1:2 ratio and using the spray drying technique at different air inlet temperatures (130 °C and 140 °C) and freeze drying, it was microencapsulated with maltodextrin as wall material. The microcapsules' properties were evaluated: humidity, betalain content and color. In addition, the microcapsules were added to amber cider, acquired from the company Bodegas Copa de Oro S.A de C.V and a sensory evaluation was carried out with an untrained panel of 58 consumers. The encapsulation yield obtained for spray drying (130 °C and 140 °C) and freeze drying of $17.99 \pm 0.246\%$, $20.37 \pm 0.562\%$ and $37.29 \pm 0.996\%$ respectively. The color of the microcapsules is described as a pink-purple, on the other hand, the highest content of betalains was indicated in the microcapsules by spraying at 130 °C. Finally, the sensory evaluation showed that the cider with the Asp 130 treatment microcapsules has a high percentage of acceptability, even higher than commercial pink cider, so it could be an alternative as a natural coloring in food.

KEY WORDS: *Hylocereus spp*, betalains, natural dye, extraction, microencapsulation, spray drying, freeze drying, maltodextrin.

DEDICATORIA

A mi papá Aquileo, por confiar y apoyarme cuando inicie mi etapa universitaria, quién luchó en muchos aspectos por verme crecer. Gracias por todo tu amor, apoyo y protección. Sé que te encuentras muy orgulloso de mi, desde donde estes.

A mi hermosa mamá, mi incondicional y amiga, para ti que siempre has querido lo mejor para mí, quien siempre ha estado para darme un abrazo cálido cuando más lo necesito, mi inspiración y ejemplo de verdadera lucha y trabajo constante ¡Que nunca me vallas a faltar mamá!

A mis cómplices de vida mis amadas hermanas, Jessy, Yaneli y Marlen; quienes incondicionalmente llenaron de amor mi etapa universitaria, que con su apoyo y amor me han hecho creer que siempre debo de confiar en mis sueños, nunca creí que pudiera ser una inspiración para ustedes, pero hemos crecido juntas aprendiendo. Gracias por estar en los momentos perfectos para darme un abrazo o reír juntas.

A mi tío y amigo Alfonso, quién me ha brindado todo su apoyo, confianza, guía y la inspiración de siempre perseguir mis sueños, porque NADA es imposible cuando se sueña y trabaja por ello.

Y sobre todo a la Fernanda que se atrevió a soñar, valiente, perseverante con metas claras y perdiendo sus miedos al aceptar este reto.

¡LO LOGRAMOS!

AGRADECIMIENTOS

A Dios, porque me ha permitido perseguir mis sueños y culminar uno de ellos.

Por la oportunidad de coincidir con personas correctas en el momento correcto.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, campus Concá por convertirse en mi segundo hogar, un espacio donde aprendí a soñar y la cual me abrió sus puertas para formarme profesionalmente.

- Mi más sincero agradecimiento a mi directora de tesis la M en C. Alma Rosa Martínez Ramos quien me dio el ánimo y confianza para realizar este trabajo, además de tener paciencia para orientarme cuando fue necesario.
- A la Dra. Ely, gracias por las observaciones para mejorar mi trabajo, por su tiempo, por acompañarme, guiarme y contagiarme de su motivación durante mi estancia en los laboratorios de la Facultad de Química.
- A la Dra. Marcela por brindarme apoyo al acceso en los laboratorios del campus Juriquilla y por el valioso tiempo dedicado a la revisión, además de sugerencias para mejorar.
- Al Mtro. Adán, gracias por el apoyo en la obtención de la materia prima, base principal para la realización de esta investigación, así como de su tiempo dedicado y sugerencias para mejorar.
- Al productor de pitahaya en la región, el señor Efraín Ramírez, quien me brindo su confianza y apoyo donándome el fruto para realizar mi investigación.

A mis padres Clara y Aquileo y a mis hermanas Jessica, Yaneli y Marlen por creer en mis sueños, por el inmenso cariño y apoyo incondicional siempre.

A mi familia, compañeros de licenciatura y a todas aquellas personas que siempre han estado a mi lado brindándome su apoyo y ánimos durante este proceso tan importante en mi vida.

ÍNDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Colorantes.....	3
2.2 Generalidades de la pitahaya.....	6
2.2.1 Descripción morfológica de la planta.....	8
2.2.2 Valor medicinal y nutritivo de la fruta.....	9
2.3 Betalaínas.....	10
2.4 Encapsulación de compuestos bioactivos.....	13
2.4.1 Materiales encapsulantes.....	17
2.4.2 Microencapsulación de betalaínas con maltodextrina como material de pared.....	18
3. OBJETIVOS	21
3.1 Objetivo general.....	21
3.2 Objetivos particulares.....	21
3.3 Hipótesis.....	21
4. METODOLOGÍA	22
4.1 Descripción del diseño de tratamientos.....	22
4.2 Preparación de la materia prima.....	22
4.3 Extracción de betalaínas.....	22
4.4 Cuantificación de betalaínas en el extracto.....	23
4.5 Microencapsulación de betalaínas.....	23
4.5.1 Secado por aspersion.....	24
4.5.2 Liofilización.....	24
4.5.3 Rendimiento.....	24

4.6	Determinación de la humedad de las microcápsulas	24
4.7	Cuantificación de betalaínas en las microcápsulas	24
4.8	Análisis del color de las microcápsulas	25
4.9	Evaluación sensorial.....	25
4.10	Análisis estadístico	26
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
5.1	Rendimiento en la microencapsulación	27
5.2	Contenido de humedad	28
5.3	Contenido de betalaínas.....	29
5.4	Parámetros de color	31
5.5	Evaluación sensorial de colorante en sidra	34
6.	CONCLUSIONES	39
7.	BIBLIOGRAFÍA	40
8.	ANEXOS	45

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. CLASIFICACIÓN DE LOS COLORANTES.....	4
FIGURA 2. PITAHAYA: FRUTO CON PULPA Y CÁSCARA COLOR PÚRPURA.....	7
FIGURA 3. PLANTA DE LA PITAHAYA.....	8
FIGURA 4. ESPECIES QUE CONTIENEN BETALAÍNAS	10
FIGURA 5. ESTRUCTURA DEL ÁCIDO BETALÁMICO Y GRUPOS ESTRUCTURALES DE LAS BETALAÍNAS.....	11
FIGURA 6. ESTRUCTURA GENERAL DE UNA MICROCÁPSULA.....	14
FIGURA 7. MÉTODOS DE ENCAPSULAMIENTO	15
FIGURA 8. DIAGRAMA DE FASES DEL AGUA: A) CONGELACIÓN, B) REDUCCIÓN DE LA PRESIÓN, C) SUBLIMACIÓN, D) EVAPORACIÓN. LA RUTA A-B-C MUESTRA EL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN FUENTE: (BADUI, 2006).....	17
FIGURA 9. ESTRUCTURA QUÍMICA DE LA MALTODEXTRINA FUENTE: (ALFARO AYVAR, 2019).	19
FIGURA 10. ESPACIO DEL COLOR CIE L*A*B.....	31
FIGURA 11. BEBIDAS PARA LA EVALUACIÓN SENSORIAL	34
FIGURA 12. ACEPTABILIDAD DEL AROMA.....	35
FIGURA 13. ACEPTABILIDAD DEL SABOR	36
FIGURA 14. ACEPTABILIDAD DEL COLOR.....	36
FIGURA 15. ACEPTABILIDAD GENERAL DEL PRODUCTO	37
FIGURA 16. PREFERENCIA DE PRODUCTO.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. PIGMENTOS NATURALES; FUENTE Y AGENTE ACTIVO	5
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS TAXONÓMICAS DE LA PITAHAYA.....	6
TABLA 3. CONTENIDO DE NUTRIENTES DE 100 G DE PORCIÓN DE PITAHAYA	9
TABLA 4. FACTORES QUE AFECTAN LA ESTABILIDAD DE LAS BETALAÍNAS	12
TABLA 5. TIPOS DE MATERIALES ENCAPSULANTES Y CARACTERÍSTICAS.....	18
TABLA 6. RENDIMIENTO DE LAS MICROCÁPSULAS	27
TABLA 7. CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS MICROCÁPSULAS.....	28
TABLA 8. CONTENIDO DE BETALAÍNAS DE LAS MICROCÁPSULAS.....	29
TABLA 9. COLORIMETRÍA DE LAS MICROCÁPSULAS.....	32

1. INTRODUCCIÓN

El color de los alimentos es una propiedad de las más importantes, su color define sensorialmente la calidad e influye en la aceptación o rechazo por parte del consumidor (Pichardo-Pérez, 2019).

Actualmente recurrimos a la adición de colorantes como aditivos por diversas causas como recobrar el color que se pierde en el procesamiento de un alimento, mejorar el color remanente después del procesamiento, dar un color diferente al inicial y/o para minimizar diferencias de color entre los lotes de una producción (Belmonte et al., 2016; Yépez Padilla, 2019)

Tradicionalmente, la forma predominante de producción de aditivos alimentarios ha sido la síntesis química, sin embargo, varias sustancias de este tipo se han asociado con la promoción o causa de toxicidad crónica en el organismo de los consumidores. Además, los temas de salud y bienestar están en tendencia, por lo tanto, la búsqueda de un estilo más saludable que incluya buenos hábitos alimenticios es lo que impulsa a los consumidores a buscar lo natural. Los colorantes naturales no solo brindan una coloración sino que tienden a tener un alto valor nutricional al ser extraídos de frutas y vegetales (Belmonte et al., 2016).

En este sentido, la pitahaya (*Hylocereus*) es un fruto con alta capacidad antioxidante y presenta compuestos bioactivos como las betalaínas, que reducen trastornos relacionados con el estrés, poseen efectos antiinflamatorios y son una fuente de colorantes natural (Verona-Ruiz et al., 2020). Las betalaínas son pigmentos nitrogenados solubles en agua derivados del ácido betalámico y comprenden dos grupos estructurales: betacianinas y betaxantinas. Las betacianinas contienen un residuo de ciclo-dihidroxifenilalanina y exhiben una coloración rojo-violeta, por otra parte, las betaxantinas contienen diferentes cadenas laterales de aminoácidos o aminos y exhiben una coloración amarillo-naranja (Flores-Mancha et al., 2019). Actualmente, la extracción de betalaínas se realiza a partir de betabel/remolacha (*Beta Vulgaris*) denominándose rojo remolacha (E 162) y se utiliza como colorante en la industria alimentaria. Es un colorante natural autorizado como aditivo alimentario en la Unión Europea (UE) y ha sido evaluado previamente por el Comité Científico de la Alimentación (SCF) en 1975 y el Comité Mixto FAO / OMS de Expertos

en Aditivos Alimentarios (JECFA) en 1974, 1978, 1982 y 1987 (EFSA, 2015). A pesar de esto, el betabel tiene algunos inconvenientes importantes, tales como el arrastre de microorganismos del suelo que conducen a la contaminación y un sabor terroso adverso. Esto ha despertado el interés en fuentes alternativas para la obtención de este compuesto como la pitahaya (Sadowska-Bartosz & Bartosz, 2021). En adición, el uso del rojo remolacha tiene menor aceptabilidad que los colorantes sintéticos, debido a que pierde su estabilidad por diversos factores como altas temperaturas, el pH, la exposición a la luz, la actividad de agua, etc., en comparación con sus contrapartes sintéticas. Para proporcionar mejores características para la obtención de un colorante natural, se utilizan técnicas de encapsulación que permiten aumentar la estabilidad y biodisponibilidad de estos compuestos. Mediante este proceso, las sustancias bioactivas se recubren con una película delgada de un material protector que reduce su pérdida, aumenta la estabilidad, mejora su bioaccesibilidad y biodisponibilidad e incrementan la vida útil. Los métodos de encapsulación más utilizados incluyen el secado por aspersión o liofilización. Para ambas técnicas, las condiciones de operación y el material de pared que se usa tienen un efecto en los resultados obtenidos. Adicionalmente, la maltodextrina como material de pared es una de las opciones que proporcionan mejores resultados (Flores-Mancha et al., 2020).

Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue extraer las betalaínas de la pulpa de la pitahaya *Hylocereus spp* y microencapsularlas con maltodextrina como material de pared, para su posterior evaluación como colorante en un alimento.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Desde épocas ancestrales, el color ha sido uno de los atributos que las personas consideran para adquirir un producto. En la industria alimentaria, el color se considera un factor de aceptación o rechazo y un criterio para elegir un alimento. Es por esto que se ha introducido con mayor auge el uso de colorantes, los cuales son aditivos alimentarios.

La OMS, (2018) denomina aditivos alimentarios a toda sustancia que se añade a los alimentos para mantener o mejorar su inocuidad, su frescura, su sabor o su aspecto, algunos de ellos se llevan empleando desde hace siglos para conservar alimentos. El uso de aditivos alimentarios está justificado únicamente si ello ofrece alguna ventaja, no presenta riesgos apreciables para la salud de los consumidores y cumple una o más de las funciones tecnológicas establecidas por el Codex (Codex Alimentarius, 2019).

2.1 Colorantes

Uno de los aspectos esenciales que persigue la aplicación adecuada de colorantes en los alimentos es el cumplimiento de las regulaciones establecidas por la Administración de Medicamentos y Alimentos (FDA), el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA); que son organizaciones encargadas de adoptar las medidas adecuadas para garantizar la seguridad alimentaria (Arias-Rodríguez & Auz-Galán, 2022).

Los colorantes son clasificados de acuerdo con su origen, en este sentido de origen vegetal, animal, mineral o sintético. Estos colorean al alimento con distintos fines desde poder recuperar, corregir, intensificar u otorgar color (**Figura 1**). La coloración que se percibe por el ojo humano es resultado de la absorción y reflejo de la luz de forma distinta (Pichardo-Pérez, 2019).

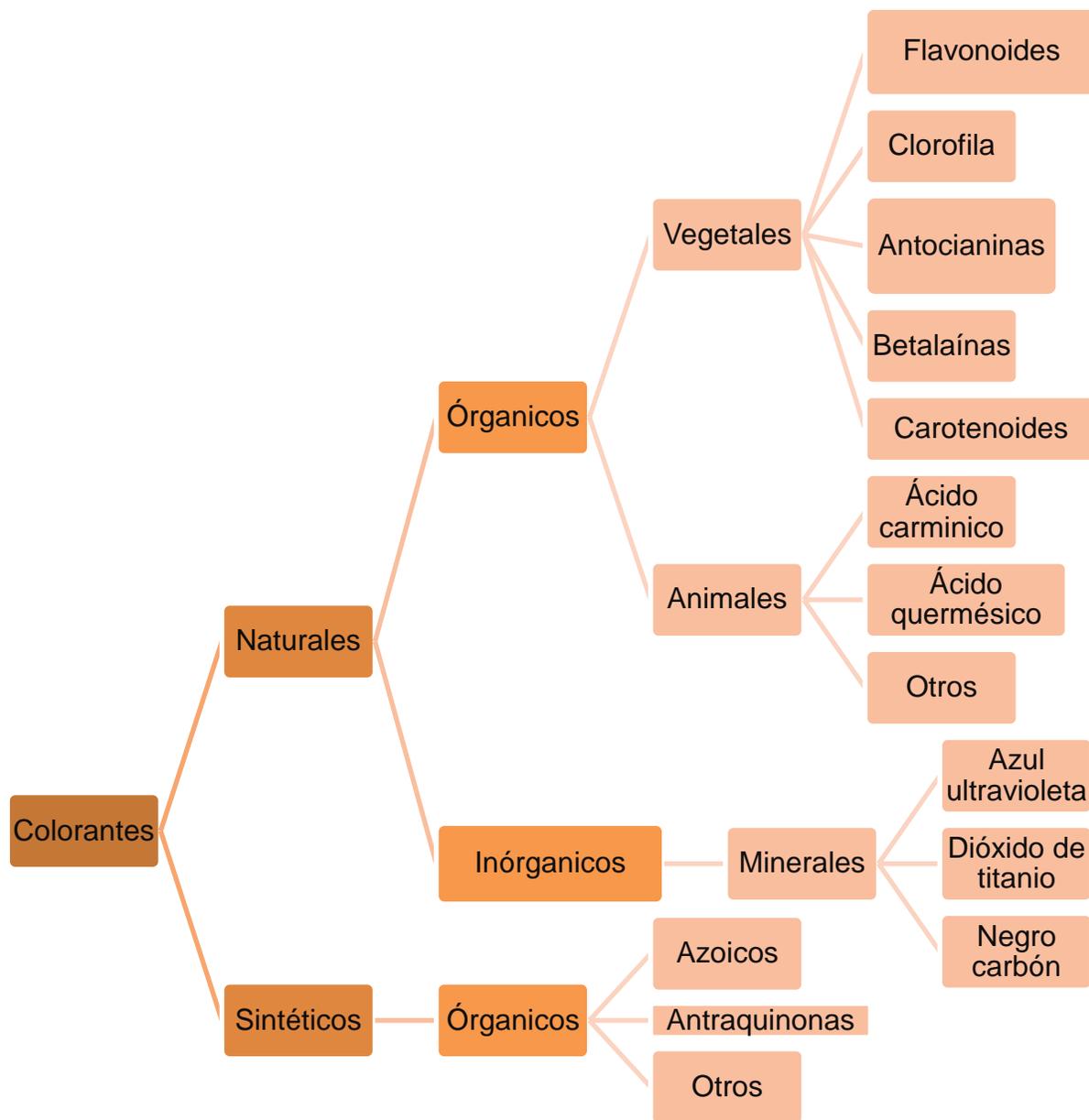


Figura 1. Clasificación de los colorantes

Fuente: (Arias-Rodríguez & Auz-Galán, 2022).

Los colorantes sintéticos son aquellos obtenidos por medio de síntesis química industrial (Arias-Rodríguez & Auz-Galán, 2022). Estos son hidrosolubles, comúnmente son presentados en forma de polvo y tienen normas específicas de pureza. Además que su composición es más sencilla que la de los colorantes naturales (Andrango-Quisaguano & Anguisaca-Anguisaca, 2016). Los colorantes sintéticos se clasifican en antraquinonas y azoicos, así mismo de este último los más

comunes son amarillo: No. 5 y No. 6, rojo No .2, No .4 y No. 40 (Pichardo-Pérez, 2019).

Dentro de las ventajas de los colorantes sintéticos es que son más fáciles de utilizar en comparación con los naturales y en general, más resistentes a tratamientos térmicos, pH extremos, exposición a la luz, etc. Las desventajas suelen ser daños al organismo a largo, mediano o corto plazo, riesgo en el medio ambiente que pueden provocar alergias, además de que carecen de nutrientes (Arias-Rodríguez & Auz-Galán, 2022).

Por otra parte, los colorantes naturales, son obtenidos a partir de fuentes presentes en la naturaleza como plantas, insectos, animales, algas, microorganismos o de fuentes minerales. Estos exhiben una amplia variedad de composiciones químicas debido al origen en diversas fuentes. Sin embargo, éstos poseen baja estabilidad a distintos factores como luz, calor, pH, y por tanto tienden a degradarse, además de que pueden impartir olores o sabores indeseables (Pichardo-Pérez, 2019). En la **Tabla 1** se muestran las principales fuentes y agente activo de algunos pigmentos naturales.

Tabla 1. Pigmentos naturales; fuente y agente activo

FUENTE	AGENTE ACTIVO
Achiote, <i>Bixa Orellana</i>	Bixia (carotenoide)
Cochinilla, <i>Dactylopius Coccus</i>	Ac. carmínico
Cúcuta. <i>Cúrcuma Longa</i>	Curcumina
Mortiño <i>Vaccinium Myrtillus L.</i>	Antocianinas
Remolacha, <i>Beta Vulgaris</i>	Betacianina
Plantas verdes	Clorofila
Antocianina	Polímeros de antocianinas
Zanahoria, <i>Daucus Carota</i>	β -caroteno (carotenoide)

Fuente: (Andrango-Quisaguano & Anguisaca-Anguisaca, 2016).

Con la revolución industrial se perdió el uso de los colorantes naturales, pero la tendencia actual es su recuperación gracias a las propiedades y alto valor nutricional que aportan. Actualmente, el impacto en los hábitos alimenticios ha incrementado cambios en la industria alimentaria, particularmente en el interés de sustituir el uso de colorantes sintéticos por pigmentos naturales. Las betacianinas que se utilizan por el color rojo que imparten, son un ejemplo de estos ingredientes demandados y comercializados. El betabel representa la principal fuente comercial de betacianinas (Flores-Mancha et al., 2019), y está aprobado por el Comité Mixto FAO / OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA), con el nombre E-162, rojo remolacha, por su color rojo característico (Fernández Feás et al., 2020). A pesar de su contenido de betacianinas, el betabel presenta algunos inconvenientes como el arrastre de microorganismos del suelo que conducen a la contaminación y un sabor terroso adverso. Es por esto que se ha despertado el interés en fuentes alternativas para la obtención de este compuesto, y una de ellas es la pitahaya (*Hylocereus*), también conocida como fruto del dragón (Sadowska-Bartosz & Bartosz, 2021).

2.2 Generalidades de la pitahaya

La pitahaya también conocida como “fruta del dragón”, es el fruto de diferentes especies del género *Hylocereus*, del cual una de las especies más comercializada es la *Hylocereus polyrhizus* (**Tabla 2**), cuya piel y pulpa son de color púrpura (Angonese et al., 2021). El fruto es considerablemente usado por sus excelentes características organolépticas y el valor comercial. Además de ser considerado como un alimento funcional debido a sus características fisicoquímicas, nutricionales y sus compuestos bioactivos (Verona-Ruiz et al., 2020) (**Figura 2**).

Tabla 2. Características taxonómicas de la pitahaya

NOMBRE CIENTÍFICO	<i>Hylocereus spp</i>
Reino	Plantae
División	Magnoliophita
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllale

Familia	Cactaceae - cactácea
Género	Hylocereus
Especie	<i>H. monacanthus</i> / <i>H. polyrhizus</i>
Nombre común	Pitahaya roja

Fuente: (Verona-Ruiz et al., 2020).



Figura 2. Pitahaya: fruto con pulpa y cáscara color púrpura

La pitahaya se encuentra de manera silvestre en México, Colombia y Centro América, y existen de 1500 a 1800 especies distribuidas por todo el continente Americano (Ruiz-Loyola, 2021). Aunque la pitahaya es nativa de América, actualmente se cultiva comercialmente en varias partes del mundo debido a su interés comercial, alta tolerancia a la sequía, fácil adaptación a la intensidad de luz y temperaturas (Luu et al., 2021). En México la producción de la pitahaya se concentra en los estados de Quintana Roo, Yucatán, Tabasco, Veracruz, Guerrero, Querétaro, Estado de México, Puebla, Oaxaca, Michoacán, Jalisco, San Luis Potosí, Colima y Sinaloa (Montesinos Cruz et al., 2015). En especial en el estado de Querétaro existen productores en el municipio de Jalpan de Serra.

2.2.1 Descripción morfológica de la planta

La pitahaya es un fruto de diferentes tamaños y formas, y posee una cáscara carnosa y verde que varía su peso según sea la variedad. Así mismo cuenta con una flor en forma de trompeta en coloración blanca o rosado y un tamaño aproximado de entre 15 a 30 cm de largo (Muñoz-Suquilanda, 2018).

El tipo de raíces son; primarias y secundarias, las cuales están implantadas en el suelo alimentando a la planta, mientras que las otras nacen en la parte aérea con el único fin de brindar sostén. Es por ello que esta planta está adherida a tutores que le brindan un soporte durante su crecimiento (Berrospi & Sanchez, 2018).

Esta planta es perenne, epífita, carnosa y de tallos verdes articulados. El fruto posee un sin número de semillas pequeñas color negro y con alto poder germinativo (Ruiz-Loyola, 2021) (**Figura 3**).



Figura 3. Planta de la pitahaya

La fruta del dragón es una planta semiepífita que prefiere un clima tropical o subtropical seco con una temperatura promedio de 21-29 °C, pero puede soportar temperaturas de 38-40 °C y temperaturas de congelación por períodos cortos. Este cultivo requiere luz solar y precipitaciones de 600-1300 mm, con estaciones secas y húmedas alternas.

La planta florece solo por la noche, lo que puede afectar el proceso de polinización. La polinización cruzada manual es necesaria para asegurar el cuajado y desarrollo de frutos debido a la falta de diversidad genética y la ausencia de agentes polinizadores en ciertas áreas de producción (Hossain et al., 2021).

2.2.2 Valor medicinal y nutritivo de la fruta.

La pitahaya es considerada una fruta celestial en la tierra con altos valores nutritivos y medicinales. Se considera que comer esta fruta es beneficioso para el metabolismo de los carbohidratos, fortaleciendo huesos, dientes, tejidos cardíacos y al sistema inmunológico, además de una curación más rápida de hematomas y heridas, infecciones del tracto respiratorio e incluso como laxante suave debido al contenido sustancial de fibra (Sonawane, 2017). En la **Tabla 3** se encuentra el contenido de nutrientes en 100 g de porción de pitahaya.

Tabla 3. Contenido de nutrientes de 100 g de porción de pitahaya

COMPONENTE	CANTIDAD	COMPONENTE	CANTIDAD
AGUA	87 g	Vitamina B1	0.04 mg
PROTEÍNA	1.1 g	Vitamina B2	0.05 mg
GRASA	0.4 g	Vitamina B3	0.16 mg
CARBOHIDRATOS	11.0 g	Calcio	8.5 mg
FIBRA	3.0 g	Vitamina C	20.5 mg
HIERRO	1.9 mg	Fosforo	22.5 mg

Fuente: (Thokchom et al., 2019).

El extracto de aceite de estas semillas se encontró rico en ácidos grasos esenciales, incluyendo ácido linoleico y ácido linolénico. El consumo de estos ácidos grasos en la dieta es necesario, ya que en el metabolismo humano no pueden sintetizarse. En adición, la fruta del dragón también se considera rica en pectinas, reportándose alrededor del 14.96 al 20.14 % en las cáscaras secas (Sonawane, 2017).

2.3 Betalaínas

En el fruto de pitahaya, las betalaínas se encuentran en concentraciones oscilando entre 13.81 y 2,252 mg/100 g (Calva-Estrada et al., 2022). Curiosamente, las antocianinas y betalaínas que aparentemente tienen funciones similares, nunca se han encontrado juntas en la misma planta, por lo que aparentemente son mutuamente excluyentes (Flores-Mancha et al., 2019). La fruta del dragón se considera una fuente rica de betalaínas. Así mismo, se reconoce que los agentes colorantes alimentarios son necesarios para compensar las pérdidas de color durante el procesamiento y la fruta del dragón podría ayudar en esta problemática (Sonawane, 2017).

Las betalaínas, además de encontrarse en el fruto de pitahaya, se encuentra en otras especies como betabel (*Beta vulgaris rubra*), pitahaya (*Hylocereus spp*), espinaca (*Basella alba*), amaranto (*Amaranthus spp*), tuna (*opuntia spp*) y acelga (*Beta vulgaris cicla*) (Flores-Mancha, 2020). En la **Figura 4** se observan algunas de ellas.



Figura 4. Especies que contienen betalaínas

Fuente: (Flores-Mancha, 2020).

De acuerdo con Flores-Mancha, 2020 las betalaínas son pigmentos nitrogenados solubles en agua, derivados del ácido betalámico y compuestas de dos grupos estructurales (**Figura 5**) betacianinas y betaxantinas. Las betacianinas por su parte contienen un residuo de ciclodopa-5-O-glucosido (CDG) y exhiben una coloración rojo-violeta, incluyen betanina, isobetanina y neobetanina. Mientras que las betaxantinas contienen diferentes cadenas laterales de aminoácidos o aminas y exhiben una coloración amarillo-naranja e incluyen indicaxantina y vulgaxantina I y II.

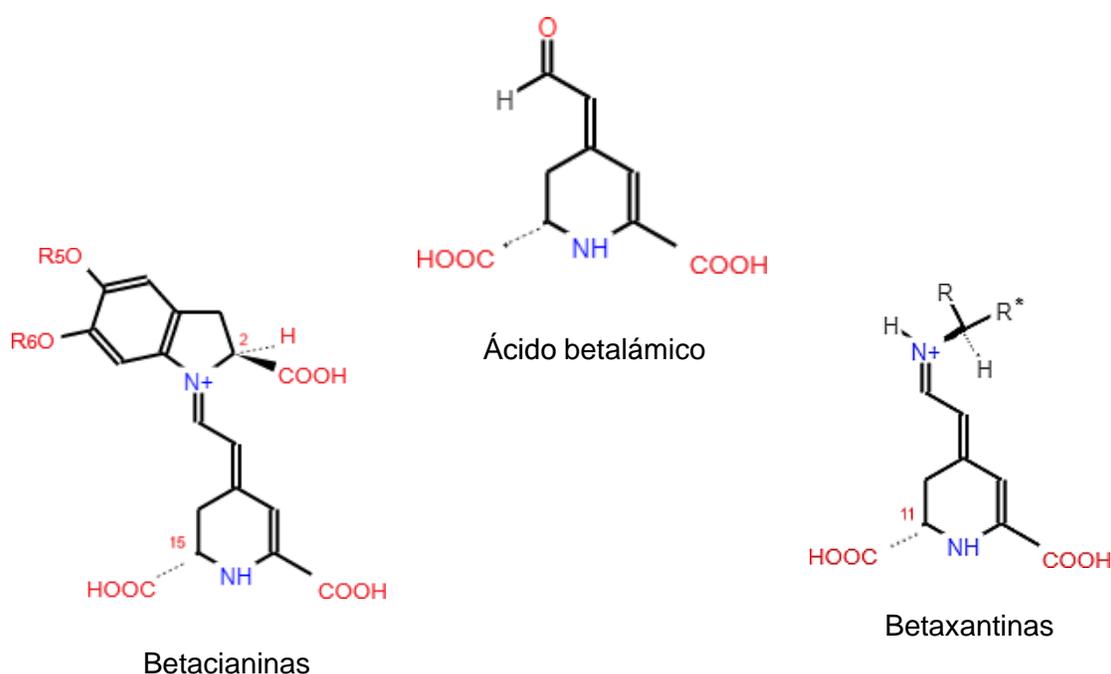


Figura 5. Estructura del ácido betalámico y grupos estructurales de las betalaínas
Fuente: (Flores-Mancha, 2020).

Las betacianinas pigmentos rojo-violeta, son considerados glucósidos además su principal componente es la betanina. Su naturaleza es altamente iónica por contener tres grupos carboxilos y un grupo fenólico, características que hacen a las betacianinas difícilmente separables de las betaxantinas. Este compuesto absorbe una longitud de onda máxima entre los 534 y 555 nm, además de ser más estables que las betaxantinas y representar un 75 al 95 % de las betalaínas. Por su

parte las betaxantinas alcanzan una absorción de 480 nm. Además la presencia natural de las betaxantinas es a través de la indicaxantina que se encuentra en el fruto del cactus *Opuntia ficus-indica*, confirmando con ello la relación estructural entre las dos clases de pigmentos (Alvarez & Veliz, 2015).

La estabilidad de las betalaínas puede verse afectada por diversos factores. En la **Tabla 4** se enlistan los principales factores que mejoran y disminuyen la estabilidad de las betalaínas.

Tabla 4. Factores que afectan la estabilidad de las betalaínas

FACTORES QUE MEJORAN LA ESTABILIDAD	FACTORES QUE DISMINUYEN LA ESTABILIDAD
Baja temperatura	Alta temperatura
3 < pH < 7	pH < 3 o pH > 7
Oscuridad	UV y luz
Ausencia de oxígeno	Oxígeno
Actividad de agua baja	Actividad de agua alta
Presencia de matriz	Ausencia de matriz
Alta concentración de pigmento	Baja concentración de pigmento
Alto grado de glicosilación	Bajo grado de glicosilación
Antioxidantes	H ₂ O ₂ , otros antioxidantes
Quelantes de metales	Cationes metálicos
	Enzimas degradantes

Fuente: (Sadowska-Bartosz & Bartosz, 2021).

Las betalaínas y su estabilidad se ve influenciada por diversos factores, pero la temperatura es el factor más importante. Debido a los cambios de la temperatura, las betalaínas tienden a degradarse a través de procesos como la isomerización, desglicosilación, hidrólisis, deshidrogenación y descarboxilación (López-Solórzano, 2021).

En este sentido, una reacción notable que conduce a una reducción del color

rojo propio hasta llegar a un color marrón claro es el pardeamiento. Así mismo, la temperatura baja es factor que permite una mayor estabilidad, indicándose como valor óptimo a 4 °C (Flores-Mancha et al., 2019).

En segundo lugar, el factor pH muestra la estabilidad de las betalaínas en un rango de 3 a 6, respectivo en la escala. Por consiguiente, este compuesto fuera del rango respectivo presenta una degradación rápida acompañada de una pérdida de color. Así mismo de acuerdo a su clasificación las betacianinas están consideradas con una mayor estabilidad a pH ácido, en tanto que las betaxantinas son más resistentes en medios neutros (Flores-Mancha, 2020).

Seguidamente, la exposición a la luz es factor que afecta la degradación de color causado por la absorción de ondas UV. La exposición a la luz puede tener un efecto de al menos un 15.6 % de degradación del color en las betalaínas. Adicionalmente, la degradación del color por exposición a la luz es resultado de las diferentes longitudes de onda, pudiendo causar un efecto aditivo de color en el compuesto (Flores-Mancha et al., 2019).

A su vez, las betalaínas tienden a generar una reacción de degradación de color al ser almacenadas en presencia de oxígeno. La presencia de oxígeno puede generar hasta un 14.6% de degradación del color (Flores-Mancha et al., 2019).

Finalmente, una baja actividad de agua (A_w) conduce a mejorar la estabilidad de las betalaínas. Por tanto, lo óptimo es una (A_w) <0.63 . Además la aplicación de técnicas como el secado por aspersión o la liofilización con el objetivo de reducir el contenido de agua aumentan la estabilidad del compuesto (Flores-Mancha et al., 2019).

2.4 Encapsulación de compuestos bioactivos

La protección de los compuestos fitoquímicos (colorantes, saborizantes, antioxidantes, bactericidas, vitaminas, aceites esenciales, etc.) contenidos en los alimentos es posible a través de una encapsulación. Su aplicación ha evidenciado que puede aumentar la estabilidad de compuestos como las betalaínas. Mediante un recubrimiento a la sustancia bioactiva de interés con una delgada capa de un material protector denominado agente encapsulante, se reduce la pérdida, aumenta la estabilidad e incrementa la vida útil (Flores-Mancha et al., 2019) (**Figura 6**).

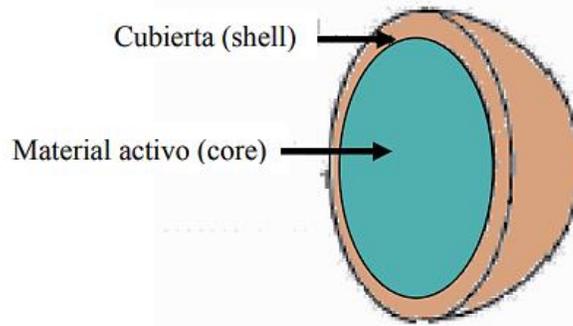


Figura 6. Estructura general de una microcápsula

Fuente: (Lozano-Berna, 2009).

Vergara-Hinostroza, (2013) indica la importancia de definir cuál será la aplicación de las micropartículas, la composición de los ingredientes, el mecanismo de liberación, tamaño de partícula, entre otros., con ello se podrá determinar que método de encapsulación y agente encapsulante es el más apropiado. Las principales ventajas de la encapsulación mencionadas por Parra-Huertas, (2010) son:

- a) Proteger el material activo de la degradación producida por el medio ambiente (calor, aire, luz, humedad, etc).
- b) El compuesto encapsulado se libera gradualmente del compuesto que lo ha englobado o atrapado en un punto determinado.
- c) Las características físicas del material original pueden ser modificadas y hacer más fácil su manejo (un material líquido convertido a polvo), la higroscopia puede ser reducida, la densidad se modifica y el material contenido puede ser distribuido más uniformemente en una muestra.
- d) El sabor y olor del material puede ser enmascarado.
- e) Puede ser empleado para separar componentes, con el fin de que estos no reaccionen.
- f) Estabilización de principios activos inestables.
- g) Transformación de líquidos en sólidos.

La encapsulación es una técnica que es dividida en dos tipos de métodos; químicos y mecánicos (**Figura 7**). Los procesos químicos se dividen en las técnicas de coacervación compleja, cristalización, polimerización interfacial, gelificación iónica, incompatibilidad polimérica, atrapamiento por liposomas e inclusión molecular. Mientras que en los procesos mecánicos están las técnicas de secado por aspersión, liofilización y extrusión (Parra-Huertas, 2010).

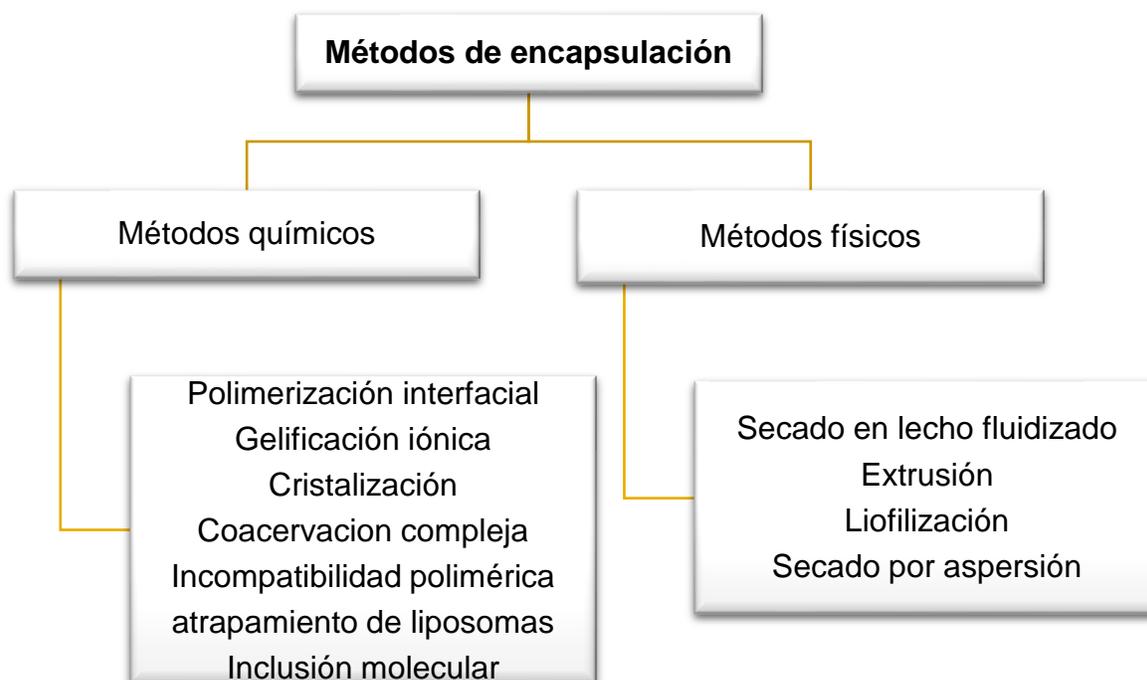


Figura 7. Métodos de encapsulamiento

Fuente: (Flores-Mancha, 2020).

La técnica de secado por aspersión es una operación que permite transformar el producto líquido en un material sólido, atomizándolo en una corriente de gas caliente obteniendo un producto en polvo o pequeñas esferas. Durante el secado por aspersión el producto inicial que alimenta al aspersor puede ser desde una solución, emulsión o suspensión y se expone por un periodo muy corto de tiempo al aire

caliente. Adicionalmente el tamaño de partícula es el resultado de la composición y concentración del producto inicial como de las condiciones del proceso pudiendo obtener un polvo muy fino (10-50 μm) o hasta un producto de partículas de tamaño grande (2-3 mm). La obtención de un producto en polvo de calidad depende de diversas características de la solución alimentada (viscosidad, velocidad de flujo, etc.), el aire de secado (temperatura, presión y flujo), contacto entre el aire caliente y las gotas en la cámara de secado, además se ve influenciado del tipo de atomizador empleado (Esquivel-González et al., 2015).

Por otro lado, durante la liofilización se exige el doble de energía comparado con el secado convencional. No obstante, este proceso permite en menor grado el daño y preservando las propiedades del compuesto bioactivo debido a los cambios de estado del agua exhibida en el material. Así mismo, la obtención de productos de mayor calidad en comparación con la aplicación del secado por aspersion es posible. Pero el uso de la liofilización es un proceso que exige costos elevados tanto de operación, mantenimiento y un consumo alto de energía, además de ser un proceso lento de varios días (Fuentes-Prado et al., 2018).

Durante la liofilización el agua es eliminada mediante sublimación, el proceso es representado en la **Figura 8** con la ruta “a-b-c-d” (Badui, 2006).

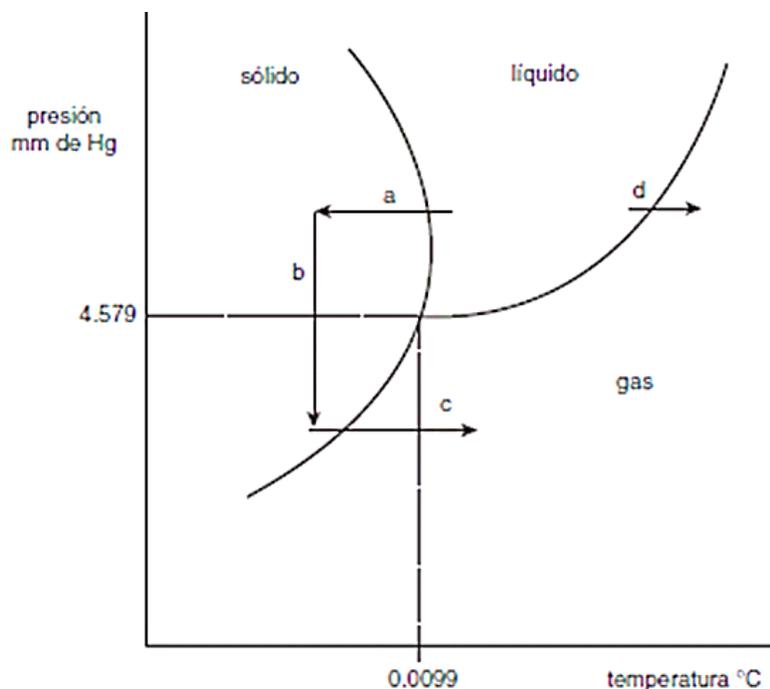


Figura 8. Diagrama de fases del agua: a) Congelación, b) Reducción de la presión, c) Sublimación, d) Evaporación. La ruta a-b-c muestra el proceso de liofilización Fuente: (Badui, 2006).

2.4.1 Materiales encapsulantes

Mejorar la estabilidad de producto, así como el grado de protección y eficiencia es resultado en la elección del material encapsulante. Por ello es un parámetro muy importante durante el proceso de encapsulación (Esquivel-González et al., 2015).

Un material encapsulante es la formación de una capa delgada que recubre a un componente. El origen de naturaleza de este material puede ser orgánica, inorgánica o una combinación de ambas. Se reconoce a la gelatina como el primer material encapsulante empleado, pero actualmente existe una gran variedad de compuestos (**Tabla 5**) con características ideales para un recubrimiento en el proceso de microencapsulación (Rios-Aguirre & Gil-Garzón, 2021).

Tabla 5. Tipos de materiales encapsulantes y características

TIPO DE MATERIAL ENCAPSULANTE	COBERTURA ESPECIFICA
CARBOHIDRATOS	Almidón y derivados, maltodextrina, jarabe de maíz, sacarosa, dextrano, ciclodextrinas.
GOMAS	Arábiga, mezquite, Guar, alginato de sodio, carragenina, alginato de sodio.
PROTEÍNAS	Gelatina, proteína de soja, caseinatos, suero de leche, zeína, gluten, caseína.
LIPIDOS	Ceras, parafinas, grasas, ácido esteárico, triestearina, mono y diglicéridos.
CELULOSAS	Carboximetilcelulosa, metilcelulosa, etilcelulosa, nitrocelulosa, acetilcelulosa

Fuente: (Rios-Aguirre & Gil-Garzón, 2021)

2.4.2 Microencapsulación de betalaínas con maltodextrina como material de pared

El uso de la maltodextrina como agente encapsulante permite reducir los problemas de adherencia y aglomeración durante el almacenamiento contribuyendo a mejorar la estabilidad del producto. En este sentido los principales usos son en la producción de materiales con alta dificultad para ser deshidratados, como pulpas de mango o dátiles, saborizantes y edulcorantes (Alvarez & Veliz, 2015) (**Figura 9**).

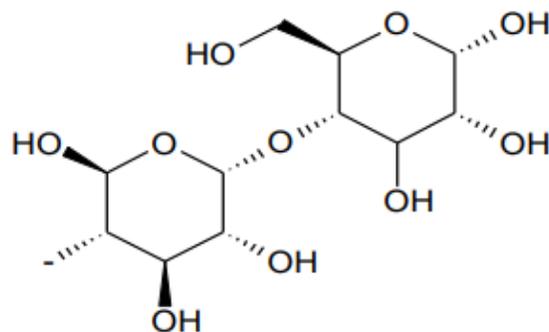


Figura 9. Estructura química de la maltodextrina
Fuente: (Alfaro Ayvar, 2019).

Por tal razón, la maltodextrina se presenta como una buena opción a utilizar como material de pared en la encapsulación de betalaínas.

La microencapsulación es una técnica ampliamente utilizada en diferentes áreas. La aplicación en alimentos ha incrementado gracias a la protección de los materiales encapsulados, permitiendo mantener su estabilidad (Parra-Huertas, 2010). Existen reportes que se han enfocado en la evaluación de extractos principalmente de betabel (*Beta Vulgaris*), así como la microencapsulación de las betalaínas. Alvarez & Veliz, (2015) evaluaron el efecto de la microencapsulación con secado por aspersión a distintas temperaturas de entrada de aire y de concentración de maltodextrina, (130 °C, 140 °C y 150 °C) y (10 %, 15 % y 20 %) respectivamente en el extracto de betalaínas del betabel. En condiciones de entre 130 °C y 140 °C con 10 % de maltodextrina, se encontró el mayor contenido de betalaínas, lo que indica una alternativa viable de colorante natural. En otro estudio, Saéñz et al. (2009) maceraron 1 kg de pulpa de tuna (*Opuntia ficus-indica*) con etanol y agua (1:1) durante 14 h. Para la formulación de la microencapsulación mediante secado por aspersión se utilizó como material de pared maltodextrina e inulina, por lo cual las formulaciones fueron 4, es decir, 30 g de la pulpa o 15 g de extracto etanólico combinado con maltodextrina (6-30 %) o inulina (3-15 %). Los resultados muestran que las microcápsulas representan un interesante aditivo alimentario para su incorporación en alimentos funcionales, tanto por la presencia de antioxidantes como por ser colorante rojo.

Por su parte, Cruz-Morales & Villa-Gómez (2021) extrajeron las betalaínas de la tuna con etanol y las microencapsularon mediante secado por aspersión y liofilización con almidón de oca y maltodextrina en proporciones de 100:0, 70:30 y 50:50 respectivamente. El sistema con almidón y maltodextrina 70:30 mostró valores altos de retención con respecto al contenido de polifenoles, capacidad antioxidante y contenido de betacianinas. La estabilidad de los compuestos betalaínicos y fenólicos encapsulados fue evaluada durante su almacenamiento en un periodo de 105 días. Así mismo todas las microcápsulas mostraron altas retenciones de betacianinas, betaxantinas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

No existen estudios sobre la encapsulación de betalaínas provenientes de la pitahaya roja; sin embargo, Diaz et al. (2017) extrajeron y microencapsularon compuestos de la pitahaya amarilla mediante secado por aspersión, evaluando el efecto que tiene dicha técnica sobre su preservación. Por ello a una temperatura de 150 ° C con el 40 % de maltodextrina como agente encapsulante se presentó el mayor efecto alcanzando a prolongar la estabilidad hasta 72 horas para polifenoles totales y 240 horas para la capacidad antioxidante.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Microencapsular las betalaínas extraídas a partir de la pitahaya (*Hylocereus spp*) y evaluarlas como colorante natural en un alimento.

3.2 Objetivos particulares

- a) Extraer las betalaínas de la pulpa de la pitahaya roja
- b) Microencapsular las betalaínas en maltodextrina mediante las técnicas de secado por aspersión y liofilización
- c) Evaluar las propiedades sensoriales de las microcápsulas adicionadas a una sidra comercial.

3.3 Hipótesis

La microencapsulación de betalaínas extraídas de la pitahaya *Hylocereus spp*, es una alternativa de colorante natural para alimentos.

4. METODOLOGÍA

Esta investigación se llevó a cabo en la Facultad de Ingeniería, campus Concá y en colaboración con el Departamento de Investigación y Posgrado de Alimentos de la Facultad de Química y la Facultad de Ciencias Naturales, campus Juriquilla de la Universidad Autónoma de Querétaro. El proyecto fue aprobado por el Comité de Ética de la Facultad de Ingeniería con la clave **CEAIFI-092-2022-TL**.

Para llevar a cabo la siguiente investigación se utilizó la pulpa del fruto de pitahaya roja, *Hylocereus polyrhizus* el cual fue adquirido de un productor regional ubicado en Paculilla, Jalpan de Serra. Además, se utilizó maltodextrina grado alimenticio, la cual se empleó como material de pared en la encapsulación del extracto de pitahaya. Finalmente, el colorante se evaluó en sidra de la empresa Bodegas Copa de Oro S.A de C.V en una prueba sensorial.

4.1 Descripción del diseño de tratamientos

Los tratamientos consistieron en la extracción de betalaínas de la pulpa de pitahaya y su microencapsulación mediante la técnica de secado por aspersion y liofilización. Se utilizo liofilización (Liof) y secado por aspersion a dos temperaturas de entrada: 130 °C (Asp 130) y 140 °C (Asp 140).

4.2 Preparación de la materia prima

Se seleccionó la fruta que no presentara daños físicos, se lavó y desinfectó con agua potable y jabón, retirando toda la suciedad presente. Posteriormente se retiró la cáscara del fruto, mediante un corte poco profundo a lo largo de esta.

4.3 Extracción de betalaínas

De acuerdo con Alvarez & Veliz, (2015) con la finalidad de obtener todos los pigmentos hidrosolubles de la pitahaya, se molió la materia prima con agua potable a una relación de 1:2 (pulpa: agua) con el uso de un procesador de alimentos durante 10 minutos. Posteriormente se centrifugó la muestra a 3000 rpm por 5 min y a una temperatura de 20 °C para eliminar partículas de las semillas y/o mucilago del fruto. Finalmente se hizo un filtrado utilizando la bomba de vacío con un filtro de café de 44 µm y posteriormente un filtro Whatman número 4 con el propósito de eliminar las partículas gruesas que aún estaban presentes en el extracto. En Anexo I se presenta un diagrama de forma general para la obtención del polvo microencapsulado.

4.4 Cuantificación de betalaínas en el extracto

Se efectuó de acuerdo al método propuesto por Balvín Esteban, (2021) utilizando el método Stintzing 2005, preparándose una disolución buffer McIlvaine's con pH 6.5. Su composición fue de una solución A de ácido cítrico al 0.1 M (para lo cual se pesaron 0.9605 g de ácido cítrico y se llevó a aforo en una fiola de 50 ml con agua destilada) y una solución B de fosfato mono sódico 0.2 M (para lo cual se pesó 2.838 g de Na_2HPO_4 y se llevó a aforo en una fiola de 100 ml con agua destilada). Para 100 ml de solución se mezclaron 29 ml de la solución A y 71 ml de la solución B.

El extracto de pitahaya se filtró en una membrana de nylon de 0.45 μm y se obtuvo una alícuota de 1 ml que fue aforada a 10 ml con buffer McIlvaine's a pH de 6.5. Posteriormente se cuantificaron betalaínas en su grupo estructural betacianinas a 538 nm en un espectrofotómetro UV-vis de acuerdo al método descrito por (López-Solórzano, 2021). El contenido de betalaínas se obtuvo mediante la siguiente fórmula expresada en mg/l.

$$\text{BC (mg/L)} = A * \text{DF} * \text{MW} * \frac{1000}{E * L}$$

Donde:

BC: contenido del pigmento

A: absorbancia a 538 nm para la determinación de betacianinas

DF: factor de dilución (10)

MV: peso molecular 550 g/mol para betacianinas y 308 g/mol para betaxantinas.

E: coeficiente de extinción molar $60000 \frac{\text{L}}{\text{mol} * \text{cm}}$ en H_2O para betacianinas y $48000 \frac{\text{L}}{\text{mol} * \text{cm}}$ en H_2O para betaxantinas.

L: longitud de la celda en cm (1 cm)

4.5 Microencapsulación de betalaínas

De acuerdo con Ravichandran et al. (2014) se adicionaron 20 g de maltodextrina (material de pared) por cada 100 ml del extracto de pitahaya. A temperatura ambiente y con la ayuda de una herramienta de dispersión se homogenizó la mezcla durante 10 minutos.

4.5.1 Secado por aspersión

Las muestras resultantes se alimentaron a un secador, Mini Spray Dryer B-290 (Büchi, Switzerland). Se utilizaron dos condiciones para el proceso, a una temperatura de 130 °C y de 140 °C, con temperatura de aire de salida de 80 °C y 90 °C, respectivamente. Las microcápsulas fueron recuperadas del vaso colector del equipo, se colocaron en bolsas herméticas de plástico y en refrigeración a 4 °C.

4.5.2 Liofilización

Las muestras se congelaron durante 48 horas a -20 °C, luego estas se secaron mediante liofilización durante 4 días a -85 °C con 0.035 mbar de presión (Flores-Mancha et al., 2020). De igual forma, las microcápsulas fueron recuperadas del vaso recolector del equipo, se colocaron en bolsas herméticas de plástico y en refrigeración a 4 °C.

4.5.3 Rendimiento

Se procedió a la toma de peso del vaso recolector de los tratamientos al polvo atomizado y/o liofilizado. El rendimiento se calculó mediante la siguiente fórmula (Lozano-Berna, 2009):

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Polvo vaso recolector (g)}}{\text{Material de pared (g)}} * 100$$

4.6 Determinación de la humedad de las microcápsulas

El contenido de humedad se determinó utilizando un analizador de humedad FLB-MA a 105 °C. Para ello, el crisol de aluminio utilizado fue llevado a peso constante y posteriormente se le colocó 1 g de cápsulas para la medición. El analizador de humedad funciona de acuerdo con lo establecido en el principio termogravimétrico, es decir, se registra el peso inicial de la muestra. A continuación, un radiador halógeno la seca, mientras una balanza integrada registra de forma continua el peso de la muestra. La pérdida total de peso se interpreta como el contenido de humedad (Mettler Toledo, n.d.).

4.7 Cuantificación de betalaínas en las microcápsulas

Como lo descrito en el punto 4.4 se preparó la disolución Buffer McIlvaine, se tomó 1 g de microcápsula; aspersión/ liofilización y se aforo a 10 ml con Buffer en una fiola. Seguidamente se cuantificaron betalaínas en su grupo estructural betacianinas a 538 nm en un espectrofotómetro UV-vis de acuerdo al método

descrito por Calva-Quintana, (2021). El contenido de betalaínas se obtuvo mediante la siguiente fórmula expresada en mg/g.

$$BC \text{ (mg/g)} = (A * DF * MW * \frac{VD}{E * L * Wd})$$

Donde:

BC: contenido del pigmento

A: absorbancia a 538 nm para la determinación de betacianinas

DF: factor de dilución (10)

MW: peso molecular 550 g/mol para betacianinas y 308 g/mol para betaxantinas.

VD: volumen de la solución en ml

E: coeficiente de extinción molar 60000 $\frac{L}{\text{mol} * \text{cm}}$ en H₂O para betacianinas y 48000 $\frac{L}{\text{mol} * \text{cm}}$ en H₂O para betaxantinas.

L: longitud de la celda en cm (1 cm)

Wd: peso del producto deshidratado (g)

4.8 Análisis del color de las microcápsulas

La medición del color se llevó a cabo utilizando un colorímetro Konica Minolta CR-400/410 y se expresó mediante las coordenadas: luminosidad (L*), (a*) y (b*). Con ayuda del software de interpretación en línea Nix Color Sensor <https://www.nixsensor.com/free-color-converter/>: se obtuvieron muestras representativas de intensidad de color (Calva-Quintana, 2021).

4.9 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se llevó a cabo utilizando sidra rosada y sidra ámbar de la empresa Bodegas Copa de Oro SA de CV. La empresa adiciona vino tinto para generar una diferencia de color entre ambos productos. Para la evaluación se agregaron las microcápsulas de los tratamientos de Liof y Asp 130 a la sidra ámbar en una concentración de 0.1 g por cada 10 ml, tomándose como referencia el color de la sidra rosada de la empresa. En el análisis se evaluaron las características organolépticas como el color, aroma y sabor de 3 muestras a través de una escala hedónica (Anexo III). Una de las muestras fue la sidra rosada de la empresa, la segunda fue la sidra ámbar adicionada con el tratamiento Liof y la tercera la sidra

ámbar adicionada con el tratamiento Asp 130. La prueba se llevó a cabo con un panel no entrenado de 58 participantes; estudiantes, profesores y administrativos del Campus Concá, con edades entre 18 y 45 años, entre las 11:00 y 13:00 horas. A cada uno de los participantes se les otorgo las muestras en vasos desechables transparentes de 20 ml de capacidad previamente codificados con tres dígitos aleatorios para cada formulación. Adicionalmente, se brindó una galleta que fungía como limpiador, es decir, cada participante entre las muestras debía tomar un trozo de galleta para neutralizar los sabores. Antes de la prueba se les proporciono a las y los evaluadores un consentimiento informado (Anexo II).

4.10 Análisis estadístico

Todos los ensayos se realizaron por triplicado, expresando los resultados como la media \pm la desviación estándar. Los datos fueron sometidos a un análisis ANOVA utilizando el paquete estadístico Minitab y JASP con comparación de valores mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Rendimiento en la microencapsulación

El rendimiento es un indicador que permite evaluar las operaciones de un proceso, detectando la carencia en estas y denotado porcentualmente (%) Alvarez & Veliz, (2015). En la **Tabla 6** se muestran los resultados obtenidos del rendimiento en los tratamientos para Asp 130, Asp 140 y Liof.

Tabla 6. Rendimiento de las microcápsulas

Asp 130	Asp 140	Liof
17.99 ± 0.24 ^c	20.37 ± 0.56 ^b	37.29 ± 0.99 ^a

¹ Los resultados se reportan como la media ± la desviación estándar.

² Letras diferentes indican diferencia significativa por la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

El rendimiento de las betalaínas microencapsuladas con maltodextrina en los tratamientos Asp 130, Asp 140 y Liof se indica como 17.99 ± 0.24 %, 20.37 ± 0.56 % y 37.29 ± 0.99 % respectivamente, mostrando un mayor rendimiento durante la liofilización. Con relación a la aplicación de secado por aspersion, se mostraron valores en esta investigación mayores a los reportados en otro estudio por Castro-Muñoz et al., (2014) quienes encapsularon el jugo clarificado de tuna morada (*Opuntia stricta*) con una combinación de maltodextrina y gelatina, obteniendo valores de rendimiento entre 7.76 y 14.85 %. Por otro lado, Obón et al., (2009) mencionan valores de rendimiento del 58 % usando jarabe de glucosa. Adicionalmente, Saénz et al., (2009) menciona valores de rendimiento en un rango de 23 y 81 % empleando maltodextrina o inulina como material de pared.

Flores-Mancha et al. (2020) encapsularon extracto de betabel mediante la técnica de liofilización en maltodextrina e inulina de agave como materiales de pared y reportaron un rendimiento de 65.329 % y de 61.678 % respectivamente. Adicionalmente, indican que los altos valores de rendimiento encontrados pueden deberse a la afinidad del material de la pared, los compuestos encapsulados y la mayor recuperación durante el secado por liofilización en comparación con el secado por aspersion.

La acumulación de partículas sobre la pared de la cámara de secado y en el ciclón es factor que pueden contribuir a la pérdida de producto en polvo durante el secado por aspersión (Arrazola et al., 2013). Tonon et al., (2008) mencionan que la concentración de maltodextrina en la mezcla otorga una característica viscosa, mostrando un efecto negativo en el rendimiento del proceso durante el secado por aspersión. En este sentido, la adherencia de los sólidos en la pared de la cámara principal, como resultado del aumento de la viscosidad de la mezcla, puede considerarse factor que reduce el rendimiento del proceso.

El rendimiento con la temperatura de 140 °C fue mayor que el de 130 °C. De acuerdo con Cai & Corke (2000) a una temperatura de entrada en el secador más alta, generalmente resulta un secado más rápido y un mayor rendimiento. Adicionalmente, Arrazola et al., (2013) señalan la obtención de un rendimiento más alto del proceso debido a las altas temperaturas de entrada, la cual otorga una mayor eficiencia de calor y mejora el proceso de transferencia de masa.

A pesar de que con la liofilización se obtuvo un mayor rendimiento de microencapsulación, en términos prácticos quizás no sea el más conveniente debido a que es un proceso que dura de 3 a 4 días en promedio. En cambio, el secado por aspersión es solo de 2 a 3 horas, en este sentido el mejor tratamiento a utilizar sería Asp 140.

5.2 Contenido de humedad

El contenido de humedad se define como la medida cuantitativa que refleja la cantidad de agua en una muestra en base seca o húmeda (Badui, 2006). En la **Tabla 7** se muestran los resultados obtenidos de contenido de humedad de las microcápsulas.

Tabla 7. Contenido de humedad de las microcápsulas

Asp 130	Asp 140	Liof
3.44 ± 0.24 ^b	2.42 ± 0.08 ^c	7.09 ± 0.04 ^a

¹ Los resultados se reportan como la media ± la desviación estándar.

² Letras diferentes indican diferencia significativa por la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

Un alimento en polvo que tiene un contenido de humedad menor del 10 % tendrá una mayor estabilidad y vida de anaquel García-Gutiérrez et al., (2004). En

este sentido, todos los tratamientos evaluados en este trabajo tienen un porcentaje de humedad que garantiza su estabilidad.

Entre los tratamientos de Asp 130 y Asp 140, la temperatura de secado más alta produjo el menor contenido de humedad del producto. De acuerdo con Arrazola et al., (2013) a temperaturas más altas de entrada de aire origina un efecto sobre la humedad, obteniendo polvos con menor contenido de humedad. Debido a un gradiente de temperatura mayor entre la alimentación atomizada y el aire de secado, lo que resulta en una mayor fuerza motriz para la evaporación del agua.

Por otro lado, a pesar de que el contenido de humedad en las microcápsulas de Liof fue más alto, los dos tratamientos: aspersión y liofilización se encuentran debajo del 10 %. El proceso de liofilización comienza con una congelación del material, seguidamente la muestra congelada se introduce en la cámara de vacío para realizar la separación del agua por sublimación (Ceballos Peñaloza, 2008). De esta manera, mediante el sistema de vacío, el hielo pasa a gas sin pasar por el estado líquido en un tiempo alrededor de 2 a 3 días (Badui, 2006). Sin embargo, si la muestra sufrió descongelación antes de ingresar al equipo o se interrumpe el proceso de secado, puede impedir que se seque la muestra adecuadamente. Esto sucedió durante la liofilización de muestras en el presente estudio. Es por ello necesario puntualizar la importancia de un buen manejo de uso en los equipos de secado, el cuidado de los tiempos y temperaturas que garanticen un producto con las mejores condiciones que propicien una mayor vida de anaquel.

5.3 Contenido de betalaínas

En la **Tabla 8** se muestran los resultados obtenidos de contenido de betalaínas de las microcápsulas.

Tabla 8. Contenido de betalaínas de las microcápsulas

Extracto (mg/l)	Asp 130 (mg/100 g)	Asp 140 (mg/100 g)	Liof (mg/100 g)
21.84 ± 1.40 ^a	12.19 ± 0.47 ^b	10.32 ± 0.68 ^{bc}	8.21 ± 0.41 ^c

¹ Los resultados se reportan como la media ± la desviación estándar.

² Letras diferentes indican diferencia significativa por la prueba Tukey (P ≤ 0.05).

La liofilización permite obtener productos de mayor calidad comparado con el secado por aspersion. Debido a que ocasiona un menor daño de la estructura sólida y conserva las propiedades de los compuestos bioactivos por la baja temperatura, manteniendo sus atributos de calidad (Ceballos Peñaloza, 2008). Sin embargo, los resultados mostraron menor contenido de betalaínas en su aplicación. Probablemente se debe al contenido de humedad del proceso, el cual fue de 7.095 % (**Tabla 7**), que representa más del doble de los tratamientos por aspersion, es decir que en 100 g de microcápsulas obtenidas con liofilización hay una mayor cantidad de agua que en las de secado por aspersion.

Por otra parte, un proceso de liofilización llevado adecuadamente puede garantizar las características del alimento y para ello es necesario controlar los factores que intervienen en el proceso; sin embargo, no se pudo garantizar este control en la liofilización llevada a cabo en este proyecto, a lo que también se le atribuye el menor contenido de betalaínas.

El contenido reportado de betalaínas para los tres tratamientos y el extracto es menor al indicado por Saénz et al. (2009) 28.09 ± 0.17 . Sin embargo, los resultados descritos en esta investigación se encuentran dentro del intervalo de concentración de 10.61 a 59.18 mg/100 g indicado por Ramírez-Ramos et al., (2015). Adicionalmente, menciona que el contenido de betalaínas puede ser un indicador importante para estimar el grado de madurez del fruto, así como para conocer el periodo de máxima concentración de pigmento, el cual coincide con el periodo de madurez hortícola para su utilización en la producción de pigmentos naturales. De igual forma, Stintzing & Carle, (2004) reporta que el contenido de betalaínas se ve afectado por factores como el cultivar o variedad, estado de madurez y clima o lugar geográfico de producción.

En su investigación, Cai & Corke, (2000) reportan un aumento en la estabilidad de las betalaínas al ser encapsuladas por medio del secado por atomización con maltodextrina como agente encapsulante, manteniendo la coloración rojo-púrpura de los polvos. Por su parte, Antigo et al., (2017) aplicando la liofilización con maltodextrina y goma xantana presenta una mayor estabilidad en contenido de betalaínas. A pesar de la disminución en la concentración de este

compuesto después de los tratamientos de microencapsulación, es probable que la estabilidad en ellos permanezca más tiempo que en el extracto; sin embargo, deben realizarse más estudios para comprobarlo.

5.4 Parámetros de color

Actualmente una herramienta ampliamente usada para la descripción y medición del color son los sistemas CIELAB, mejor conocido como el espacio del color basado en tres coordenadas para su representación $L^*a^*b^*$ (Mathias-Rettig & Ah-Hen, 2014). Al respecto la coordenada luminosidad (L^*) que va del 0 al 100, el eje a^* , que va de valores positivos para el tono rojo y negativos para el tono verde y el eje b^* con valores positivos para el tono amarillo y negativos para el azul (**Figura 10**).

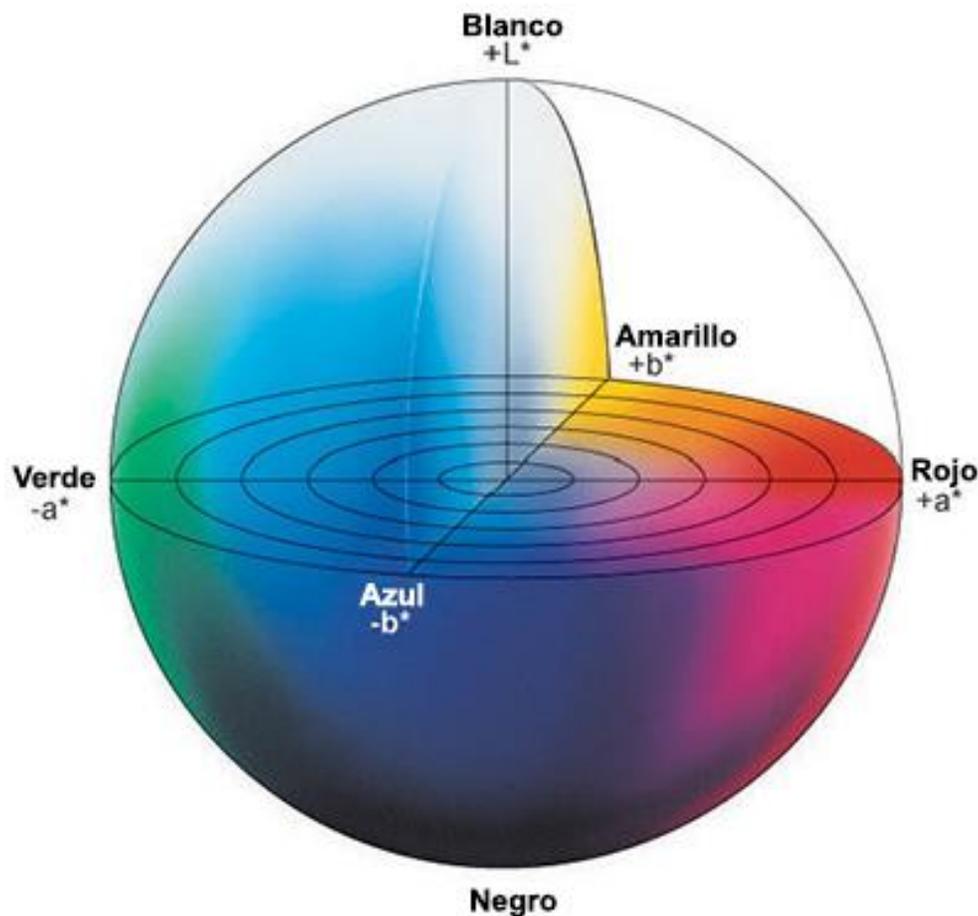


Figura 10. Espacio del color CIE L^*A^*B

La microencapsulación permite proteger el color propio de los pigmentos, así como prolongar su vida útil. Sin embargo, por la misma naturaleza del proceso, estos pueden presentar variaciones en las coordenadas de L*, a* y b*. En este sentido, en la **Tabla 9** se presentan los valores de los parámetros de color L*, a* y b*.

Tabla 9. Colorimetría de las microcápsulas

Tratamientos	Colorimetría			
	L*	a*	b*	Tonalidad (Nix Color Sensor)
Asp 130	76.65 ± 0.22 ^a	22.27 ± 0.21 ^b	-12.24 ± 0.007 ^a	
Asp 140	76.41 ± 0.67 ^a	23.19 ± 0.55 ^b	-12.42 ± 0.24 ^a	
Liof	59.97 ± 0.09 ^b	32.18 ± 0.58 ^a	-15.67 ± 0.16 ^b	

¹ Los resultados se reportan como la media ± la desviación estándar.

² Letras diferentes indican diferencia significativa por la prueba Tukey (P ≤ 0.05).

³ L*: luminosidad en el sistema CIELAB

⁴ a*: coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde)

⁵ b*: coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul)

⁶ Nix Color Sensor: software de interpretación de tonalidad en línea

Según lo descrito por Obón et al. (2009) el proceso de microencapsulación indica un efecto positivo en la intensidad de color luego de un ensayo periódicamente de 30 días, donde se mantuvo en un 98%.

El color obtenido en esta investigación puede describirse como un rosa-púrpura, en este sentido los valores de las microcápsulas fueron ubicados en la zona +a* y -b* de acuerdo con el diagrama del espacio del color L* a*, b* (**Figura 10**). Los resultados mostraron una diferencia significativa entre los tratamientos con secado por aspersión y el liofilizado. La coordenada L* presenta valores altos, lo que indica tratamientos con alta tendencia hacia tonalidades blancas, donde Asp 130 fue la más luminosa (L*=76.65 ± 0.22) mientras que la menos luminosa fue Liof (L*=59.97 ± 0.09). Este resultado coincide con el reportado por Ceballos Peñaloza, (2008) en el que se obtuvo mayor luminosidad para el tratamiento de secado por aspersión. El autor explica que, aunque la temperatura del medio calefactor es alta,

el producto no alcanza esta temperatura durante el proceso y adicionalmente, el tiempo de exposición es muy bajo en comparación con el proceso de liofilización, donde si bien las temperaturas no son muy altas, los tiempos de exposición son mayores. Adicionalmente, Arrazola et al., (2013) en su investigación indica que los valores de L^* presentan una apariencia de un color rosado oscuro y los de L^* alto un color rosa claro. En este sentido, los resultados de la colorimetría de las microcápsulas presentan un comportamiento similar. Seguidamente, el valor de la coordenada a^* fue positivo, lo que señala tonalidades rojas. Al respecto el tratamiento de Liof fue el de tonalidad más roja ($a^*=32.18 \pm 0.58$) mientras que el valor más bajo fue para Asp 130 ($a^*=22.27 \pm 0.21$). Por último, la coordenada b^* indica la presencia de tonalidades azules con valores negativos, donde Liof fue la más cercana al azul ($b^*=-15.67 \pm 0.16$) y Asp 130 el menos azul ($b^*=12.24 \pm 0.007$).

En otro estudio, Cruz Morales et al., (2021) realizaron un análisis en la estructura de las partículas microencapsuladas mediante secado por aspersion y liofilización. Por un lado, se obtuvieron partículas de forma regular con superficies en su mayoría lisas y redondeadas, aunque también de tamaño irregular, mientras que las otras partículas amorfas de superficies y tamaños irregulares, respectivamente. Así mismo, señala que las partículas por aspersion podrían favorecer la retención de compuestos de interés dentro de los materiales encapsulantes de recubrimiento y la liofilización podría permitir una degradación más rápida. De modo que probablemente el tipo de secado y la estructura de las partículas en la presente investigación pudo influir con la retención del compuesto de interés, para este caso, las betalaínas.

Finalmente, Cai & Corke (2000) indican valores para L^* , a^* y b^* en el colorante comercial rojo remolacha de 51.54, 19.64 y 0.71 respectivamente. Realizando una comparación visual con los datos obtenidos en esta investigación y los parámetros de color del colorante comercial, se indica que existen diferencias, mostrándose valores más altos. Es decir, las microcápsulas obtenidas a partir de la pitahaya tienden a ser más luminosas y con una tonalidad más roja en comparación con el comercial.

5.5 Evaluación sensorial de colorante en sidra

La aplicación de las pruebas afectivas o hedónicas ayudan y comúnmente se utilizan para evaluar el grado de preferencia y aceptabilidad de un producto. (Domínguez, 2007).

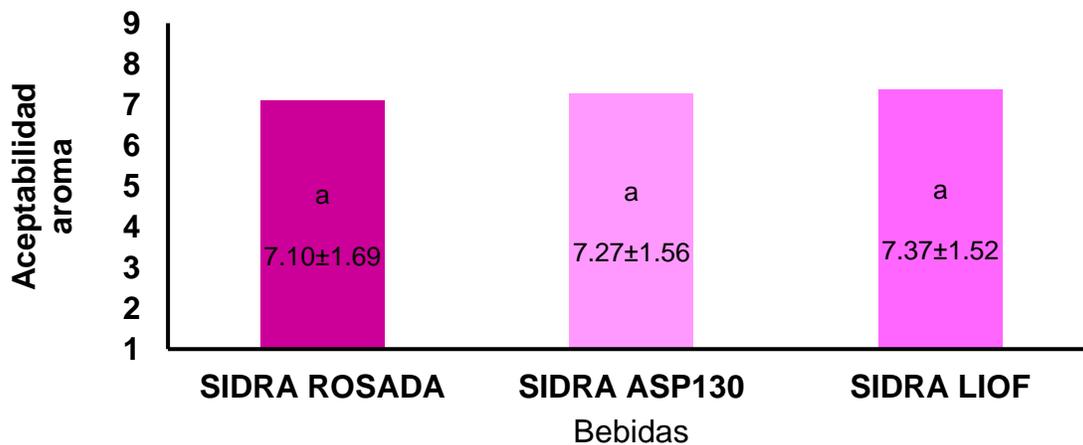
La evaluación se llevó a cabo con un panel no entrenado de 58 personas, a los cuales se le pidió que probaran la sidra rosada perteneciente a la empresa y la sidra ámbar con adición de las microcápsulas de betalaínas por Asp 130 y Liof, identificadas en la evaluación sensorial con el código 680, 023 y 405 respectivamente (**Figura 11**). Cabe destacar que la elección de uno, entre los tratamientos por aspersion es derivado de los resultados presentados en las microcápsulas, es decir, se eligió el que presentó un mayor contenido de betalaínas, además de aportar un color más luminoso. Con ayuda de una escala hedónica de 9 puntos las y los participantes evaluaron el aroma, sabor y color respecto a cada muestra, en el cual 1 fue la calificación más baja y representó “me disgusta mucho” y 9 la más alta y representó “me gusta mucho”.



Figura 11. Bebidas para la evaluación sensorial

En la **Figura 12** se muestran los resultados obtenidos para el parámetro de aceptabilidad del aroma, no encontrándose una diferencia significativa entre las bebidas evaluadas. La preferencia de los evaluadores se inclinó por la sidra Liof con una calificación promedio de 7.37 ± 1.52 seguido de la sidra Asp 130 con un promedio de 7.27 ± 1.56 y finalmente la sidra rosada con 7.10 ± 1.69 . Probablemente, la menor aceptabilidad de la sidra rosada se debe a su contenido de vino tinto, cuyo

objetivo es otorgar color, pero puede aportar aromas a flores, frutas o vegetales y además olores que surgen de las reacciones químicas de la fermentación y el envejecimiento del vino.

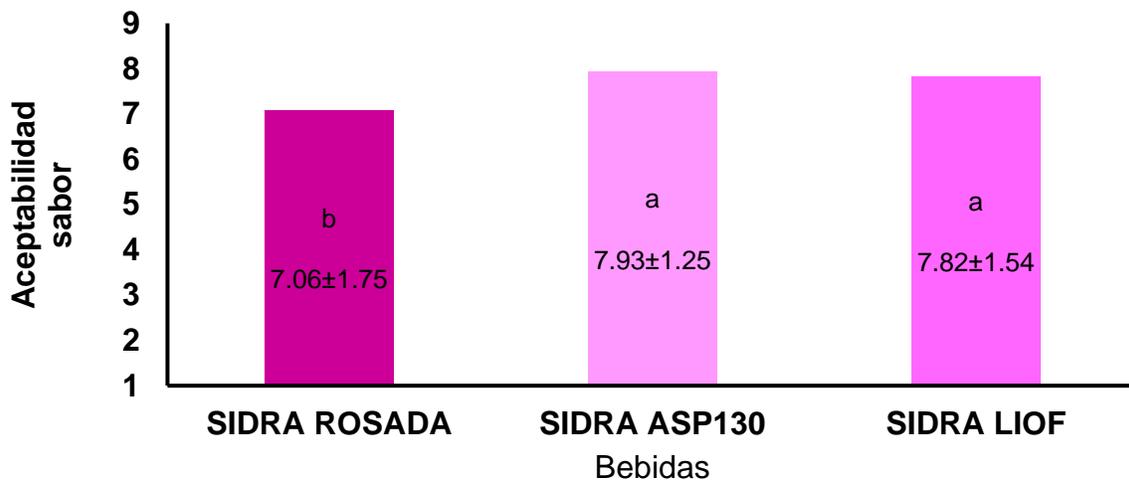


¹ Los resultados se reportan como la media ± la desviación estándar.

² Letras diferentes indican diferencia significativa por la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

Figura 12. Aceptabilidad del aroma

Referente a la aceptabilidad del sabor de las bebidas, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre la sidra rosada y las dos muestras con adición de microcápsulas (**Figura 13**). La sidra Asp 130 obtuvo una calificación promedio de 7.93 ± 1.25 mientras que la sidra Liof obtuvo una calificación de 7.82 ± 1.54 y finalmente la sidra rosada obtuvo 7.06 ± 1.75 . De acuerdo con la escala hedónica, las calificaciones promedio representan “me gusta un poco”. Los comentarios por parte de los evaluadores indican que la sidra Asp 130 y la sidra Liof tienen un sabor más ligero y suave en comparación con la sidra rosada, la cual es más fuerte debido probablemente a su contenido de vino. Por otro lado, prefieren un producto con presencia de burbujas por el cuerpo que imprime a la bebida, característica que en la sidra Asp 130 y Liof se fue perdiendo al disolver las microcápsulas en la sidra ámbar. Esto resalta la importancia de estudiar también las condiciones y métodos para la incorporación de las microcápsulas en este y otro tipo de productos.

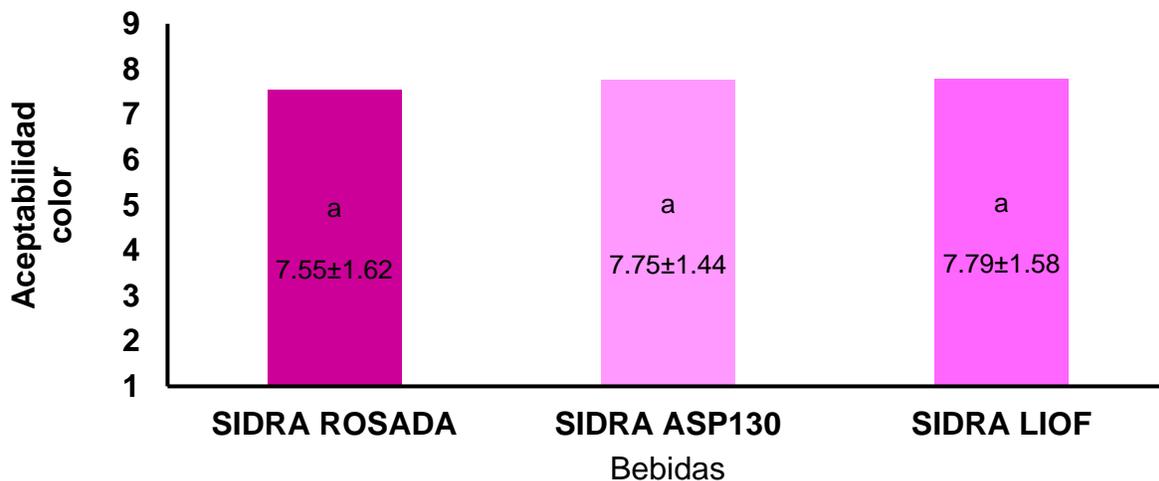


¹ Los resultados se reportan como la media \pm la desviación estándar.

² Letras diferentes indican diferencia significativa por la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

Figura 13. Aceptabilidad del sabor

En el color no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (**Figura 14**). La calificación promedio para la sidra Liof es de 7.79 ± 1.58 , para la sidra Asp 130 es de 7.75 ± 1.44 y para la sidra rosada de 7.55 ± 1.62 . Por tanto, al no haber diferencia podría sustituir al vino que se utiliza como colorante. Del mismo modo, es necesario evaluar estabilidad y costos del colorante en un alimento.



¹ Los resultados se reportan como la media \pm la desviación estándar.

² Letras diferentes indican diferencia significativa por la prueba Tukey ($P \leq 0.05$).

Figura 14. Aceptabilidad del color

Además, dentro de las interrogativas a los evaluadores se les pregunto si consumirían el producto y el 93.10 % indicaron que sí consumirían la sidra Asp 130, el 89.6 % indico que si consumirían la sidra Liof y el 82.75 % que si consumirían la sidra rosada (**Figura 15**).

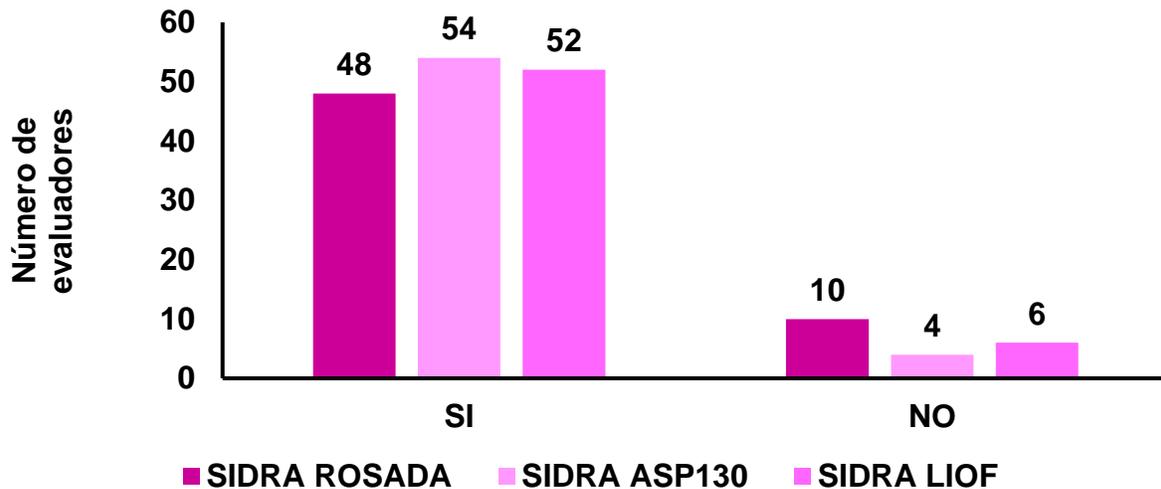


Figura 15. Aceptabilidad general del producto

Finalmente, se preguntó a los evaluadores cual bebida era de su preferencia, determinándose a sidra Asp 130 la de mayor agrado, seguido de la sidra Liof y por último la sidra rosada (**Figura 16**).

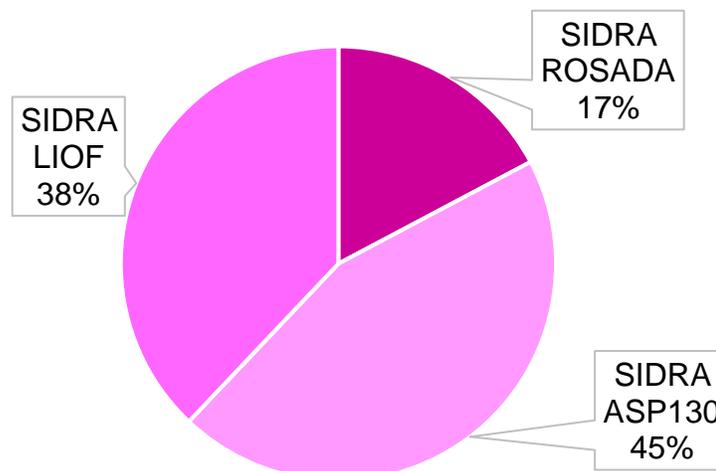


Figura 16. Preferencia de producto

Si bien ninguna de las bebidas presento la calificación de aceptabilidad más alta “me gusta mucho”, los evaluadores indicaron el consumo de los productos, en

este sentido la sidra Asp 130 mostró el mayor agrado. De este modo, los resultados presentados dentro de las propiedades de las microcápsulas indican un mayor contenido de betalaínas para Asp 130 con un promedio de 12.19 ± 0.47 .

De acuerdo con el análisis sensorial, el pigmento de betalaínas con tonalidad rosa-púrpura tiene una alta aceptación. De modo que el pigmento extraído a partir de la pitahaya roja no solo puede otorgar un color atractivo, sino que también propiedades antioxidantes. Además, la adición de microencapsulados a partir de compuestos bioactivos en un alimento conduce a la obtención de un nuevo alimento funcional (Jiménez González, 2017).

Por otra parte, Noelia et al., (2019) señala que el gusto de los alimentos es el resultado del sabor que apreciamos por las papilas gustativas de la lengua, más un conjunto de otros estímulos sensoriales, entre ellos, apariencia, color y consistencia visual percibidos por la vista y el olor apreciado por el olfato. Además de cómo interpretamos todo lo anterior en el marco de nuestros hábitos sociales y culturales. Por lo cual, la mayor aceptación de sidra Asp 130 podría verse afectada principalmente por su color atractivo.

6. CONCLUSIONES

Con el propósito de reducir la pérdida y mejorar la estabilidad del compuesto bioactivo, se aplicó la microencapsulación mediante liofilización y secado por aspersion a diferente temperatura de entrada.

De acuerdo con el efecto de las condiciones del proceso, la temperatura del aire de entrada en el secado por aspersion fue la variable que más influyó en el rendimiento, humedad y contenido de betalaínas. Pese a que la técnica de liofilización permite obtener productos de mayor calidad comparada con el secado por aspersion, se pudo enfatizar la importancia de un buen manejo del equipo de secado, la atención de los tiempos y temperaturas que permitan obtener un producto en las mejores condiciones.

Finalmente, la evaluación sensorial mostró que la sidra con las microcápsulas del tratamiento Asp 130 tiene un alto porcentaje de aceptabilidad incluso mayor que la sidra rosada comercial, por lo que podría ser una alternativa como colorante natural en alimentos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro Ayvar, K. M. (2019). *Cuantificación del contenido total de antocianinas y capacidad antioxidante en dos especies del género Berberis, del distrito de Vinchos - Ayacucho 2018*. Tesis para obtener el título profesional de Químico farmacéutica.
- Alvarez, R., & Veliz, J. (2015). *Microencapsulación del extracto de betanina del Beta vulgaris por atomización y evaluación de sus propiedades funcionales como colorante natural* (p. 214). Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Agroindustrial. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>
- Andrango-Quisaguano, O. A., & Anguisaca-Anguisaca, E. R. (2016). *Colorandes Utc* [Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4501/1/PI-000727.pdf>
- Angonese, M., Motta, G. E., Silva de Farias, N., Molognoni, L., Daguer, H., Brugnerotto, P., de Oliveira Costa, A. C., & Olivera Müller, C. M. (2021). Organic dragon fruits (*Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*) grown at the same edaphoclimatic conditions: Comparison of phenolic and organic acids profiles and antioxidant activities. *Lwt*, 149(June). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111924>
- Antigo, J. L. D., Bergamasco, R. de C., & Madrona, G. S. (2017). Effect of ph on the stability of red beet extract (*Beta vulgaris* L.) microcapsules produced by spray drying or freeze drying. *Food Science and Technology*, 38(1), 72–77. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.34316>
- Arias-Rodríguez, A. B., & Auz-Galán, A. S. (2022). *Análisis bibliográfico del uso de colorantes de cáscara de pitahaya roja (Hylocereus undatus) frente a colorantes sintéticos* (p. 79). Analisis Bibliográfico.
- Arrazola, G., Herazo, I., & Alvis, A. (2013). Microencapsulación de antocianinas de berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante secado por aspersion y evaluación de la estabilidad de su color y capacidad antioxidante. *Información Tecnológica*, 25(3), 31–42. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300006>
- Badui, S. (2006). Salvador Badui Dergal. In *Química de los alimentos* (CUARTA EDI). PEARSON Educacion. <http://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2019/06/QUIMICA-DE-LOS-ALIMENTOS-4ta-Edicion.pdf>
- Balvín-Esteban, J. I. (2021). *Cuantificación de betalainas y actividad hipoglucemiante del extracto hidroalcohólico de pulpa y de cáscara de Hylocereus monacanthus (pitahaya roja)* (p. 99). Tesis para optar por el título profesional de Químico Farmacéutico.
- Belmonte, J., Arroyo, I., Vázquez, M., Cruz, D., & Peña, E. (2016). Colorantes artificiales en alimentos. *Revista Naturaleza y Tecnología*, 10. <http://quimica.ugto.mx/index.php/nyt/article/viewFile/204/pdf>
- Berrosipi, R., & Sanchez, M. (2018). *Actividad laxante del extracto hidroalcohólico del fruto Hylocereus undatus (Haw) Briton & Rose "pitahaya roja" en ratones albinos de la especie Mus musculus* (p. 71). Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico. <http://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1668/TITULO> -

- Berrosapi Cristobal%2C Rosy Katherin.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cai, Y. Z., & Corke, H. (2000). Production and Properties of Spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments. *Journal of Food Science*, 65(6), 1248–1252. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2000.tb10273.x>
- Calva-Estrada, S. J., Jiménez-Fernández, M., & Lugo-Cervantes, E. (2022). Betalains and their applications in food: The current state of processing, stability and future opportunities in the industry. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 4(February). <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100089>
- Calva-Quintana, A. (2021). *Estabilidad de betalaínas (betacianinas y betaxantinas) encapsuladas en emulsiones obtenidas con surfactantes naturales y método de alta energía* (p. 154). Tesis presentada como requisito para obtener el grado de maestría en ciencia y tecnología de alimentos. [http://repositorio.uach.mx/376/1/TESIS MAESTRIA. Arlet Calva Quintana..pdf](http://repositorio.uach.mx/376/1/TESIS%20MAESTRIA_Arlet%20Calva%20Quintana..pdf)
- Castro-Muñoz, R., Barragán-Huerta, B. E., & Yáñez-Fernández, J. (2014). Use of gelatin-maltodextrin composite as an encapsulation support for clarified juice from purple cactus pear (*Opuntia stricta*). *LWT - Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.042>
- Ceballos Peñaloza, A. M. (2008). *Estudio comparativo de tres sistemas de secado para la producción de un polvo deshidratado de fruta*. Tesis de grado., magister en ingeniería química. <https://www.virtualpro.co/biblioteca/estudio-comparativo-de-tres-sistemas-de-secado-para-la-produccion-de-un-polvo-deshidratado-de-fruta>
- Codex Alimentarius. (2019). Codex Stan 192-1995. *Fao Oms*, 53(9), 520. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/list-standards/es/>
- Cruz-Morales, N. X., & Villa-Gómez, K. Y. (2021). *Stabilisation of betalains and phenolic compounds extracted from red cactus pear (Opuntia ficus-indica) by spray and freeze-drying using oca (Oxalis tuberosa) starch as drying aid*. Tesis para optar al título profesional de ingenieras en industrias alimentarias. <https://doi.org/10.1177/1082013220963973>
- Cruz-Morales, N. X., Villa-Gómez, K. Y., Schweiggert, R. M., & Choque-Delgado, G. T. (2021). Stabilisation of betalains and phenolic compounds extracted from red cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) by spray and freeze-drying using oca (*Oxalis tuberosa*) starch as drying aid. *Food Science and Technology International = Ciencia y Tecnología de Los Alimentos Internacional*, 27(5), 456–469. <https://doi.org/10.1177/1082013220963973>
- Díaz, Y. L., Torres, L. S., Serna, J. A., & Sotelo, L. I. (2017). Encapsulation effect on spray drying of yellow pitahaya biocomponents of functional interest. *Información Tecnológica*, 28(6), 23–34. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000600004>
- Domínguez, M. R. (2007). Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos. In *Agro Salud*. www.iin.sld.pe
- EFSA. (2015). Scientific Opinion on the re-evaluation of beetroot red (E 162) as a food additive. *EFSA Journal*, 13(12). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4318>
- Esquivel-González, B. ., Ochoa-Martínez, L. ., & Rutiaga-Quiñones, O. . (2015). Microencapsulación mediante secado por aspersion de compuestos bioactivos.

- Fernández Feás, D. (2020). *Colorantes naturales en industria farmacéutica y alimentaria*. Trabajo de grado.
- Flores-Mancha, M. A. (2020). *Efecto de la adición de extracto de betabel (Beta vulgaris) liofilizado sobre las características fisicoquímicas, actividad antioxidante, contenido y estabilidad de betalainas y polifenoles en yogurt batido* (p. 117). Tesis presentada como requisito para obtener el grado de maestría en ciencias.
- Flores-Mancha, M. A., Rentería-Monterrubio, A. L., Sánchez-Vega, R., & Chávez-Martínez, A. (2019). Estructura y estabilidad de las betalainas. In *Asociación Interciencia Venezuela* (Vol. 44, pp. 318–325).
- Flores-Mancha, M. A., Ruíz-Gutiérrez, M. G., Sánchez-Vega, R., Santellano-Estrada, E., & Chávez-Martínez, A. (2020). Characterization of betabel extract (beta vulgaris) encapsulated with maltodextrin and inulin. *Molecules*, 25, 15.
- Fuentes-Prado, E., Carrillo-Inungaray, M. L., Gijón-Arreortua, I., & Macías-Pérez, R. (2018). Aplicación de la liofilización en la conservación de microemulsiones usadas en alimentos funcionales y nutracéuticos: un caso de la ingeniería en alimentos. In *TLATEMOANI* (Issue 29). Universidad Autónoma de San Luis Potosí. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7337190.pdf>
- García-Gutiérrez, C., González-Maldonado, M. B., Ochoa-Martínez, L. A., & Medrano-Roldán, H. (2004). Microencapsulación de jugo de cebada verde mediante secado por aspersión. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 4(4), 262–266. <https://doi.org/10.1080/11358120409487769>
- Hossain, F., Numan, S., & Akhtar, S. (2021). Cultivation, Nutritional Value, and Health Benefits of Dragon Fruit (*Hylocereus* spp.): a Review. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 3(8), 259–269. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2021.311550.400>
- Jiménez González, O. (2017). *Benemérita Universidad Autónoma de Puebla* (p. 166). Tesis de maestría para obtener el grado de maestro en ingeniería química.
- López-Solórzano, E. (2021). *Estabilización de betalaínas de betabel para prologar su vida de anaquel* (p. 84). Tesis para obtener el grado de maestra en ciencias en ingeniería ambiental.
- Lozano-Berna, M. (2009). *Obtención de microencapsulados funcionales de zumo de Opuntia stricta mediante secado por atomización*. Proyecto fin de carrera: Ingeniería técnica industrial, especialidad en química industrial. <https://core.ac.uk/download/pdf/60416955.pdf>
- Luu, T. T. H., Le, T. L., Huynh, N., & Quintela-Alonso, P. (2021). Dragon fruit: A review of health benefits and nutrients and its sustainable development under climate changes in Vietnam. *Czech Journal of Food Sciences*, 39(2), 71–94. <https://doi.org/10.17221/139/2020-CJFS>
- Mathias-Rettig, K., & Ah-Hen, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur*, 42(2), 57–66. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2014.v42n2-07>
- Mettler Toledo. (n.d.). *Guía sobre análisis de la humedad*.

<https://www.mt.com/es/es/home/library/guides/laboratory-weighing/guide-to-moisture-analysis.html>

- Montesinos Cruz, J. A., Rodríguez-Larramendi, L., Ortiz-Pérez, R., Fonseca-Flores, M. de los A., Ruíz Herrera, G., & Guevara-Hernández, F. (2015). Revisión bibliográfica Pitahaya (*Hylocereus* spp.) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. *Cultivos Tropicales*, 36, 67–76. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v36s1/ctr07s115.pdf>
- Muñoz-Suquilanda, N. (2018). Estudio de factibilidad financiera para la producción de pitahaya (*Hylocereus undatus*, Britt and Rose) de exportación, en la comuna Julio Moreno, Provincia de Santa Elena. In *Tesis* (p. 95). Trabajo de titulación para obtener el título de ingeniera en administración de empresas agropecuarias y agronegocios. <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/2100>
- Noelia, C., Pino, A., Pascual, G., & Cuellas, A. (2019). Color y percepción del sabor de los alimentos. *Ciencia y Sociedad*, 28. <https://cienciahoy.org.ar/wp-content/uploads/15-Aroma-y-percepción.pdf>
- Obón, J. M., Castellar, M. R., Alacid, M., & Fernández-López, J. A. (2009). Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. *Journal of Food Engineering*, 90(4), 471–479. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.013>
- OMS. (2018). OMS. 31 de Enero de 2018. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-additives>
- Parra-Huertas, R. A. (2010). Revisión de microencapsulación de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 63(2), 5669–5684. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472010000200020&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Pichardo-Pérez, F. F. (2019). *Obtención de pigmentos bioactivos a partir de col morada (Brassica oleracea Var. capitata) y evaluación de su aplicación en un producto alimenticio* (p. 94). Tesis para obtener el título de licenciada en biotecnología. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/104607>
- Ramírez-Ramos, M., García-Mateos, M. del R., Corrales-García, J., Ybarra-Moncada, C., & Castillo-González, A. M. (2015). Compuestos antioxidantes en variedades pigmentadas de tuna (*Opuntia* sp.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(4), 349–357. <https://doi.org/10.35196/rfm.2015.4.349>
- Ravichandran, K., Palaniraj, R., Saw, N. M. M. T., Gabr, A. M. M., Ahmed, A. R., Knorr, D., & Smetanska, I. (2014). Effects of different encapsulation agents and drying process on stability of betalains extract. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 2216–2221. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0728-6>
- Rios-Aguirre, S., & Gil-Garzón, M. A. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *Tecnológicas*, 24(51). <https://doi.org/10.22430/22565337.1836>
- Ruiz-Loyola, J. D. (2021). *Comparación productiva del cultivo de pitahaya Hylocereus undatus a la aplicación de microorganismos de montaña y microorganismos eficientes en el recinto Cerecita-Guayas*. Trabajo de titulación presentado como

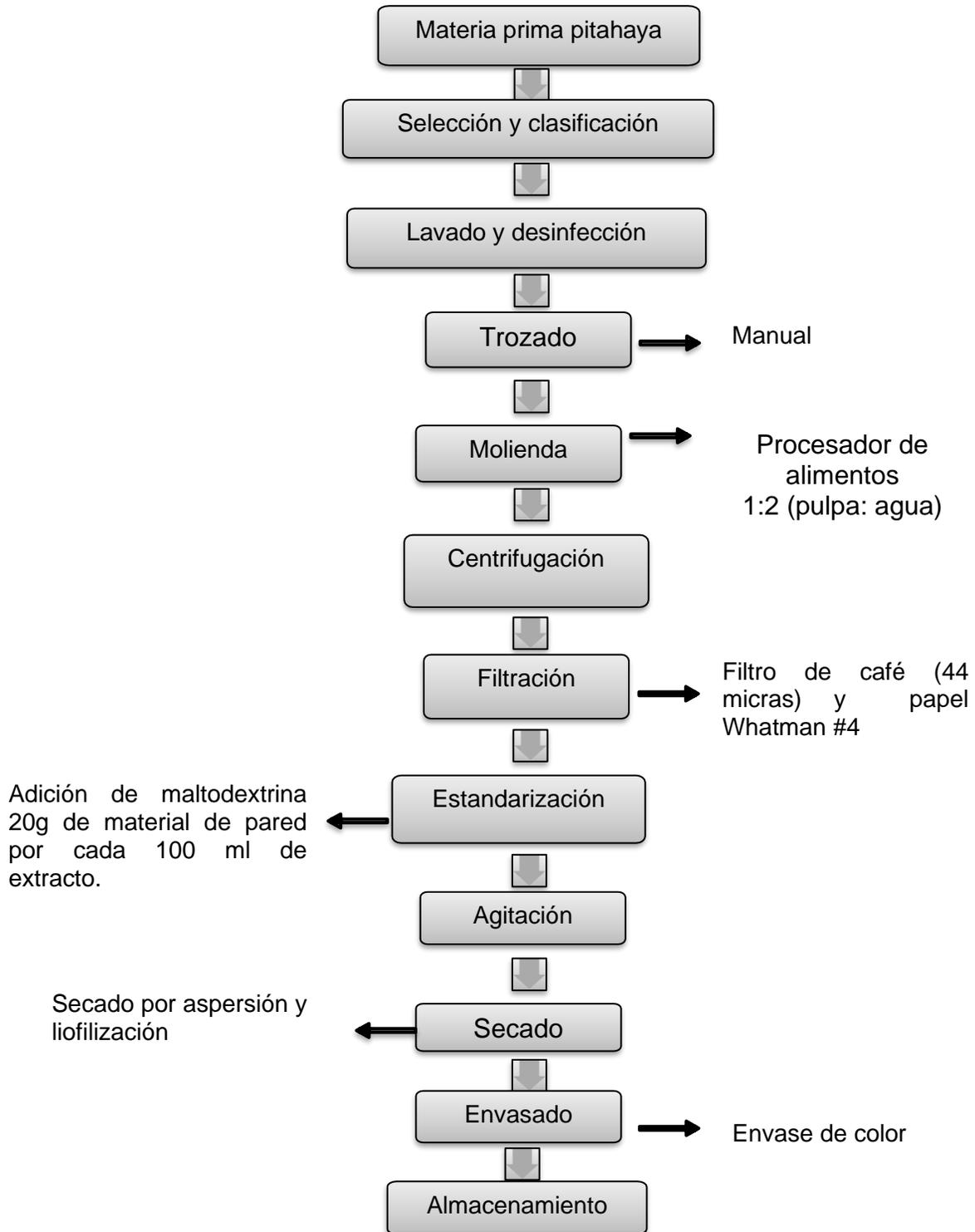
requisito para obtención de ingeniera agrónoma.

- Sadowska-Bartosz, I., & Bartosz, G. (2021). Biological properties and applications of betalains. *Molecules*, 26(9), 1–36. <https://doi.org/10.3390/molecules26092520>
- Saéñz, C., Tapia, S., Chávez, J., & Robert, P. (2009). Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (*Opuntia ficus-indica*). *Food Chemistry*, 114(2), 616–622. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.095>
- Sonawane, M. S. (2017). Nutritive and medicinal value of dragon fruit. *The Assian Journal of Horticulture*, 12(2), 267–271. <https://doi.org/10.15740/HAS/TAJH/12.2/267-271>
- Stintzing, F. C., & Carle, R. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food, and in human nutrition. *Food Science and Technology*, 15(1), 19–38. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.07.004>
- Thokchom, A., Hazarika, B. N., & Angami, T. (2019). Dragon fruit -An advanced potential crop for Northeast India. *Agriculture & Food: E-Newsletter*, 1(4), 253–254. https://www.researchgate.net/publication/332180519_Dragon_fruit_-_An_advanced_potential_crop_for_Northeast_India
- Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88(3), 411–418. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029>
- Vergara-Hinostroza, C. del C. (2013). *Extracción y estabilización de betalaínas de tuna púrpura (Opuntia ficus-indica) mediante tecnología de membranas y microencapsulación, como colorante alimentario*. Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al grado de doctor en nutrición y alimentos.
- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439–453. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>
- Yépez Padilla, M. M. (2019). *Adición de antocianinas extraídas del fruto de Vaccinium floribundum Kunth y antocianinas estabilizadas en nanopartículas de zeína en yogur natural, como alternativa a los colorantes de síntesis* (Vol. 224, Issue 11, pp. 122–130).

8. ANEXOS

ANEXO I

. Diagrama de flujo para la obtención del polvo microencapsulado de pitahaya

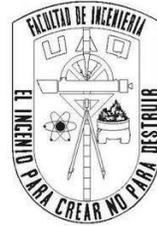


ANEXO II.



CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EVALUACIÓN SENSORIAL

Universidad Autónoma de Querétaro



Facultad de Ingeniería

Campus Concá

Consentimiento informado para participar en el estudio de investigación titulado: **Microencapsulación de betalaínas extraídas a partir de la pitahaya (*Hylocereus spp*) y su evaluación como colorante natural**

- Investigador responsable: M. en C. Alma Rosa Martínez Ramos
- Alumno responsable: Erika Fernanda Aguado González

Se le invita a participar de manera voluntaria en este estudio de investigación sin una remuneración económica por lo que antes de participar debe conocer y comprender lo siguiente y si lo considera pertinente retirarse en cualquier momento de la evaluación.

En el presente estudio se evalúan las betalaínas de la pitahaya como colorante natural en sidra. La sidra fue elaborada y proporcionada por la empresa Bodegas Copa de Oro.

La muestra que va a probar a continuación contiene: **sidra de manzana con graduación alcohólica 4.5%, betalaínas y maltodextrina.**

Firma participante: _____

Fecha. _____

Una vez que ha comprendido el estudio de investigación proceda a la evaluación.

ANEXO III



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
 CAMPUS CONCÁ
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



Evaluación de las betalaínas de la Pitahaya como colorante natural en sidra.

Instrucciones: evalúe cada muestra y asigne una calificación para el aroma, color y sabor de acuerdo con la siguiente escala hedónica.

Sidra	Aroma	Color	Sabor	¿consumiría este producto? Si/No	¿Cuál es la muestra de tu preferencia?
680					
023					
405					

1 = Me disgusta mucho	3 = Me disgusta un poco	5 = Ni me gusta ni me disgusta	7 = Me gusta un poco	9 = Me gusta mucho

Comentarios:

Gracias por su participación

ANEXO IV

Galería de fotos de la obtención de colorante de pitahaya por el método de secado por aspersión y liofilización.

	
<p>Recolección de la materia prima (pitahaya).</p>	<p>Trozado de la fruta</p>
	
<p>Molienda de la materia prima</p>	<p>Preparación para la centrifugación de la pulpa de pitahaya.</p>



Centrifugación del extracto de pitahaya.



Proceso de centrifugación terminado.



Filtración del extracto



Mezclado del extracto adicionando maltodextrina



Equipo de secado por aspersión



Muestra seca de pitahaya mediante secado por aspersión



Muestra seca de pitahaya mediante liofilización