

Extracción y microencapsulación de betalaínas de pitahaya (Hylocereus megalanthus) y ayrampo (Opuntia apurimacensis) y su aplicación en yogurt

por Jhoysi Frine Garcia Ricalde y Beatriz Llansi Borda

Fecha de entrega: 15-jul-2024 10:53a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2417285499

Nombre del archivo: Garcia_Jhoysi_y_Llansi_Beatriz_Tesis_Final_Julio_2024.pdf (1.68M)

Total de palabras: 22277

Total de caracteres: 111417

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**Extracción y microencapsulación de betalainas de pitahaya
(*Hylocereus megalanthus*) y ayrampo (*Opuntia apurimacensis*) y su
aplicación en yogurt**

Tesis para optar el título profesional de:
Ingeniera en Industrias Alimentarias

Presentado por:

Bach. Jhoysi Frine Garcia Ricalde

Bach. Beatriz Llansi Borda

Asesor:

Dr. Juan Carlos Ponce Ramírez

Ayacucho - Perú

2024

RESUMEN

El objetivo de la investigación es demostrar la factibilidad de la extracción y microencapsulación de la betalaína de pitahaya (*Hylocereus megalanthus*) y ayrampo (*Opuntia apurimacensis*) y su aplicación en yogurt, con el propósito de poder dar una respuesta a los problemas de los radicales libres, causantes de muchas enfermedades como el cáncer, molestias gástricas, entre otros.

La metodología desarrollada se llevó a cabo en tres etapas: primero se realizó la extracción y determinación de la concentración de betalaínas de pitahaya y ayrampo a tres concentraciones de etanol (70 %, 85 %, 96 %) y dos tiempos (24 h y 48 h). Por el método DCA se formuló 6 tratamientos para cada muestra analizada, resultando como tratamiento óptimo de extracción de betalaínas de pitahaya, el tratamiento T5 (96 % de etanol, 24 h) a una concentración de betalaínas 2,983 mg/ g y para la extracción de betalaínas de ayrampo, el tratamiento óptimo resultó T4 (85 %, 48 h) y 1,4269 mg/g de betalaínas.

En la segunda etapa se realizó la microencapsulación del extracto de betalaínas de pitahaya y ayrampo mediante agentes encapsulantes en distintas concentraciones como maltodextrina (25 %, 30 %, 35 %), alginato de sodio (1,2 %, 3 %, 3,5 %) y cloruro de calcio (1,2 %, 3 %, 3,5 %). Mediante el diseño de Box-Behnken se optimizó resultando 15 tratamientos, los parámetros optimizados de microencapsulación de extracto de betalaínas de cáscara de pitahaya para la variable higroscopicidad resultó el valor óptimo de 3,66 % (25,36 % de maltodextrina, 3,50 % de alginato de sodio y 3,50 % de cloruro de calcio) y para la variable solubilidad 3,56% (maltodextrina es 29,75%, alginato de sodio 3,50% y cloruro de calcio 1,20%); y para la microencapsulación de extracto de betalaínas de cáscara de ayrampo para la variable higroscopicidad resultó 3,67% (35% de maltodextrina, 2,79% de alginato de sodio y 2,07% de cloruro de calcio) y para la variable solubilidad resultó como valor óptimo 3,37% (maltodextrina es 25%, alginato 3,50% y cloruro de calcio 3,47%).

En la tercera etapa se realizó la evaluación sensorial a través de 20 panelistas, resultando aceptable el yogurt con microcápsulas de betalaínas de pitahaya y ayrampo independientemente. La capacidad antioxidante, fue analizado por el método DPPH resultando: $65,55 \pm 0,21 \mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ para el yogurt con microcápsulas de extracto de betalaínas de pitahaya y $87,55 \pm 0,31 \mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$ para el yogurt con microcápsulas de extracto de betalaínas de ayrampo.

Palabras clave: betalaína, antioxidantes, microencapsulación

ABSTRACT

The objective of the research is to demonstrate the feasibility of the extraction and microencapsulation of betalain from pitahaya (*Hylocereus megalanthus*) and ayrampo (*Opuntia apurimacensis*) and its application in yogurt, with the purpose of being able to provide an answer to the problems of free radicals, causing many diseases such as cancer, gastric discomfort, among others.

The developed methodology was carried out in three stages: first the extraction and determination of the concentration of betalains from pitahaya and ayrampo was carried out at three ethanol concentrations (70%, 85%, 96%) and two times (24 h and 48 h). Using the DCA method, 6 treatments were formulated for each sample analyzed, resulting in the optimal treatment for the extraction of betalains from pitahaya, treatment T5 (96% ethanol, 24 h) at a concentration of betalains of 2,983 mg/g and for the extraction of betalains of ayrampo, the optimal treatment was T4 (85%, 48 h) and 1.4269 mg/g of betalains.

In the second stage, the microencapsulation of the dragonfruit and ayrampo betalain extract was carried out using encapsulating agents in different concentrations such as maltodextrin (25%, 30%, 35%), sodium alginate (1.2%, 3%, 3.5%). % and calcium chloride (1.2%, 3%, 3.5%). Using the Box-Behnken design, 15 treatments were optimized, the optimized microencapsulation parameters of betalain extract from pitahaya peel for the variable hygroscopicity resulted in the optimal value of 3.66% (25.36% maltodextrin, 3.50 % sodium alginate and 3.50% calcium chloride) and for the solubility variable 3.56% (maltodextrin is 29.75%, sodium alginate 3.50% and calcium chloride 1.20%); and for the microencapsulation of betalain extract from ayrampo peel for the hygroscopicity variable it was 3.67% (35% maltodextrin, 2.79% sodium alginate and 2.07% calcium chloride) and for the solubility variable The optimal value was 3.37% (maltodextrin is 25%, alginate 3.50% and calcium chloride 3.47%).

In the third stage, the sensory evaluation was carried out by 20 panelists, and the yogurt with dragonfruit and ayrampo betalain microcapsules was found to be acceptable independently. The antioxidant capacity was analyzed by the DPPH method, resulting in: 65.55 ± 0.21 $\mu\text{mol TE}/100$ g for the yogurt with microcapsules of dragonfruit betalain extract and 87.55 ± 0.31 $\mu\text{mol TE}/100$ g for the Yogurt with Ayrampo betalain extract microcapsules.

Keywords: betalain, antioxidants, microencapsulation

INTRODUCION

Hoy en día los radicales libres son la causa de más 100 enfermedades como cardiovasculares, cáncer, gástricas, Parkinson, Alzheimer, respiratorias, neurológicas y del sistema endocrino, esto debido a un mecanismo de protección antioxidante inestable que produce el estrés oxidativo que con lleva al desgaste de la función celular que está concernientemente con la patogénesis de muchas enfermedades, por último, con la muerte celular (Marisa et al., 2019).

Nuestros cuerpos son incapaces de neutralizar los radicales libres a los que estamos expuestos todos los días, lo que nos obliga a recurrir a nutrientes con propiedades antioxidantes (Venereo, 2002).

Actualmente la disponibilidad en el mercado de alimentos que contengan antioxidantes es limitada. Por lo tanto, es necesario elaborar alimentos e incorporar antioxidantes, para ello se necesita técnicas de microencapsulación de antioxidantes para superar su inestabilidad y facilitar su incorporación en alimentos procesados, con el fin de lograr una mayor absorción en nuestro organismo.

Los pigmentos naturales extraídos de plantas, como betalaínas, son compuestos solubles en agua que poseen propiedades de coloración y actividad antioxidante. No obstante, su aplicación se encuentra restringida debido a su falta de estabilidad frente a diversos factores como pH, presencia de oxígeno, actividad de agua, exposición a la luz y presencia de metales, entre otros (Calva-Estrada et al., 2022). Por lo tanto, se identificó el siguiente problema: ¿Es posible extraer y microencapsular betalaínas de pitahaya (*Hylocereus megalanthus*) y ayrampo (*Opuntia apurimacensis*) y su aplicación en yogurt?

Ante este problema la presente investigación propone los siguientes objetivos:

Objetivo general

Extraer y microencapsular betalaínas de pitahaya (*Hylocereus megalanthus*) y ayrampo (*Opuntia apurimacensis*) y aplicarlo en yogurt

Objetivos específicos

- a) Determinar los parámetros de extracción de betalaínas de pitahaya y ayrampo para obtener su máxima concentración.
- b) Optimizar los parámetros de microencapsulación de betalaínas de pitahaya y ayrampo.

- c) Evaluar la capacidad antioxidante de microencapsulados de betalaínas de pitahaya y ayrampo en yogurt.
- d) Determinar la aceptabilidad del yogurt con microencapsulados de betalaínas de pitahaya y ayrampo.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

En estos tiempos actuales es importante la vida saludable por lo tanto se busca medidas alternativas para poder evitar los radicales libres. La importancia del consumo de betalainas microencapsuladas es una alternativa en el cuidado de nuestra salud, ya que aportan antioxidantes reduciendo la oxidación de las células, a continuación, mencionamos algunas de estas investigaciones.

Li et al. (2022) en China realizaron la investigación *Improvement of betalains stability extracted from red dragon fruit peel by ultrasound-assisted microencapsulation with maltodextrin, Ultrasonics Sonochemistry*, donde disolvió el 10% (p/v) de maltodextrina en agua a 60 °C durante 3 horas. Después, la solución de maltodextrina se enfrió a temperatura ambiente y se almacenó a 4 ± 1 °C durante 24 horas para asegurar la hidratación completa del compuesto. Luego, extrajeron betalainas de las cáscaras de pitahaya roja y las mezclaron con maltodextrina en proporción 1:1 (v/v).

Esta mezcla se sometió a ultrasonido a diferentes potencias (100, 200, 300 y 400 W) durante 1, 2, 5 y 10 minutos respectivamente. Las concentraciones de betalainas y betaxantinas extraídas de las cáscaras de pitahaya roja fueron 29,43 mg/L y 20,60 mg/L respectivamente. El rendimiento máximo del proceso fue del 79,88% y se obtuvo a los 5 minutos de ultrasonido

Soto (2020), en su investigación *Encapsulación de jugo de pitaya (Stenocereus stellatus) empleando mezclas de polisacáridos y proteína como materiales de pared: optimización de factores y propiedades fisicoquímicas*, Se optimizaron mezclas de fructanos de agave, almidón modificado y concentrado de proteínas de suero de leche como materiales de pared para evaluar su impacto en propiedades fisicoquímicas de los polvos resultantes. El jugo de pitaya tenía un contenido de sólidos solubles de $12,20 \pm 0,0001$ y sólidos secos de $13,24 \pm 0,09$, con un pH de $4,7 \pm 0,0001$, dentro del rango para mantener la estabilidad de las betalainas. Presentó 0,35 mg/g base seca (bs) de BTC y 1,308 mg/g bs de BTX en cuanto a contenido de betalainas. Se sugiere que la encapsulación puede ser efectiva para conservar las betalainas y otros compuestos bioactivos.

Cazorla y Cerda (2018), estudiaron la aplicación de la técnica de microencapsulación de betalainas extraídas a partir de la remolacha, para lo cual se utilizó las hojas, pulpa, cáscara, cáscara más pulpa. En la extracción de betalainas se empleó dos porcentajes de etanol al 70 % y 95 %. Se emplearon diferentes muestras en frascos esterilizados de 125

ml y se los deja en reposo a 4 °C durante 24 horas y 48 horas respectivamente. Como agentes encapsulantes se utilizó maltodextrina, maltodextrina más goma arábiga y maltodextrina + gelatina sin sabor, donde se obtuvo un rendimiento de 15,33% con maltodextrina. Se determinó ³⁷ que la parte de la remolacha con mayor contenido de betalainas son las hojas resultando una concentración de 8,400 mg de betaina/mL a una concentración de etanol de 70 % durante 24 h, en comparación con la concentración de etanol a 95 %, obteniéndose 6,410 mg betaina/mL durante 48 h.

¹⁹ Torres-Valenzuela et al. (2020) en su investigación *Evaluación de condiciones de extracción asistida por ultrasonido de compuestos bioactivos de cáscara de pitahaya amarilla*, se extrajeron compuestos bioactivos de la corteza de pitaya amarilla (*Selenicereus megalanthus haw*), utilizaron como disolvente una solución de etanol al 96 % (VN) con una proporción de corteza a disolvente de 1:1. El proceso se llevó a cabo en un sistema de ultrasonido indirecto a una temperatura de 25 °C y una frecuencia de 37 kHz. El tratamiento con mayor porcentaje de actividad antioxidante fue durante 11,90 minutos y 60 % de eficiencia de potencia de ultrasonido, arrojando 106,95 uM ET/g y polifenoles totales de 813,63 mg/L; sin embargo, la mayor cantidad de polifenoles totales extraídos fue 973,10 mg/L en 22,50 minutos y potencia del 60 %.

Caez y Jaraba (2012), en su investigación *Microencapsulación del jugo de mango (Mangifera indica L.) para la obtención de un concentrado con la utilización de maltodextrina como material pared*. El rendimiento se calculó como ⁷ peso de cáscara (18,59%), ⁷ peso de semilla (17,67%) y ⁷ peso de pulpa (63,09%). El pH de la pulpa fue 5.18 ± 0.02, humedad 85.643 ± 0.035 %, sólidos solubles totales 13.2 ± 0.1 °Bx, acidez titulable 0.049 ± 0.0036 (como ácido cítrico), cenizas 0.375 ± 9. Se añadió maltodextrina DE 19 al jugo de mango como agente encapsulante a una concentración de 12,5 % b.s. Las condiciones de operación del secador por aspersión fueron: temperatura del aire de entrada: 120, 140 y 160 °C, temperatura del aire de salida: 80, 88 y 90 °C o temperatura fijada en 140 °C, humedad del polvo de microcápsula obtenido 2,030 ± 0,108%, contenido de cenizas 0,429±0,065%, rendimiento 52,9%, por lo que se encuentra dentro de uno de los rangos recomendados de productos en polvo.

Vasquez (2019), tuvo como objetivo principal fue reducir la tinción de Gram (violeta cristal, magenta) y azul de metileno en aguas residuales del Laboratorio de Microbiología de la Universidad Pontificia Javeriana mediante adsorción utilizando carbón activado obtenido de pirólisis de llantas y encapsulado en alginato de sodio. Luego de evaluar los factores

de diseño experimental, se concluyó que las condiciones óptimas de operación son 1% de alginato de sodio, 4% de cloruro de calcio y 0,5 g de carbón activado.

Alvares y Veliz, (2015) en su investigación *Microcapsulación del extracto de betanina de la Beta vulgaris por atomización y evaluación de sus propiedades funcionales como colorante natural*. El objetivo fue evaluar el efecto del extracto de betalaina de remolacha obtenido al pasar por un medio acuoso en proporción 1:2, concentrado a 19,5 °Brix, sobre ² sus propiedades funcionales como colorante natural. Luego se llevó a cabo el secado por pulverización utilizando Mini Spray Dryer B-290 a diferentes temperaturas del aire de entrada (130 °C, 140 °C y 150 °C) con maltodextrina en concentraciones (10%, 15% y 10 %) para microencapsularlo. Resultando la higroscopicidad (%), solubilidad (%) e índice de insolubilidad (%), obteniéndose a 130 °C y 140 °C, cuando el contenido de maltodextrina es del 10%, el contenido de betanina es el más alto (292,039 y 279,73 mg/100 g).

Vidaurre et al. (2017) investigó *La evaluación de la capacidad de los antioxidantes y el contenido que estos presentan como compuestos fenólicos en su porción comestible de alimentos enriquecidos que en su estructura contiene betalainas como son el ayrampo*, esta experimentación pudo determinar dos métodos para medir su capacidad antioxidante más correcta, los valores encontrados son: empleando ABTS (Ácido 2,2'- azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato)) descubriendo estos valores que son 0,01 a 27,66 mg TE(fenólicos totales)/100g de las muestras dependientes y aplicando el siguiente método DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo) de los cuales IC₅₀ (coeficiente de inhibición) se obtuvo los siguientes valores, los cuales son 3,45 a 7057,99 mg/mL, siendo el airampo su máxima concentración de ARP (actividad antioxidante) con un total de 289,29 mg/mL. Se pudo demostrar que el contenido que presenta dentro de la variable de los fenólicos basados en el método de Follin- Ciocalteu (el reactivo de Folin-Ciocalteu contiene molibdato y tungsteno sódico) se pudieron identificar los siguientes valores los cuales oscilan entre 2,16 y 2393,72 mg GAE (ácido gálico equivalentes)/100g considerada materia fresca, la gran mayoría de concentración de flavonoides y de ácidos fenólicos de carácter libres se pudieron determinar de esta manera por HPL-RP (chromatograms of the hydrolysis of CH₃/C₉H₁₉-DiPPro- d₄TDP in CEM/0 cell extracts), de esta manera los valores más altos de los denominados clorogénicos y del ácido ferúlico 81,47 y 188,72 mg/kg del denominado peso fresco correspondientemente.

Caldas-Cueva et al. (2016) investigó en USA ⁵ *Estabilidad de los pigmentos de betacianina y antioxidantes en extractos de semillas de ayrampo (Opuntia soehrensii britton & rose) y como colorante natural del yogur*, filtraron los extractos obtenidos y se analizaron el nivel

de betalainas, con ello se pretendió demostrar la oportuna capacidad que presenta estos pigmentos naturales en su aplicación al yogurt natural, de los cuales están determinadas en $\text{pH} < 4,5$ expuesto a $< 50^\circ\text{C}$. También se analizó los compuestos fenólicos existentes en la muestra y su capacidad antioxidante determinados al 50 % de etanol 96°, concluido el extracto se añadió al yogurt natural para ver sus cambios que podían suscitar, los cuales arrojaron que el pH y sus condiciones para el almacenamiento no tendrían mayor injerencia o influencia en retener los colores de los yogures por un periodo de 4 semanas con un resultado de 96% de probabilidades de estabilidad.

López (2014) investigó *Extracción y actividad antioxidante del colorante natural de la pulpa del fruto de Opuntia ficus-indica "tuna morada" y su aplicación en crema chantilly*, su objetivo fue extraer el colorante natural de la pulpa de tuna morada, para su extracción se utilizaron una solución hidroalcolica (acidulada con ácido cítrico al 0,2%) y para el análisis de actividad antioxidante se determinó mediante dos métodos: el método DPPH y el método de peroxidación lipídica microsomal, donde el resultado para el método DPPH (2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo) es 62,56% en contraste a vitamina C fue 69,77%, cuanto mayor sea la concentración del extracto más fuerte será el efecto antioxidante, de este modo la inhibición de la peroxidación líquida que presentó los pigmentos dentro del microsoma hepático tiene la característica de $0,117\ \mu\text{mol/mL}$, con una diferencia por parte de la vitamina C que tiene un $0,103\ \mu\text{mol/mL}$. Después de ello se sometió a un examen la estabilidad del extracto de la denominada tuna morada u *Opuntia ficus*, donde fue agregada a la crema chantilly demostrando una variabilidad del pH superior a 5 en sus niveles iniciales con lo cual se pudo comprobar que su estabilidad de la pigmentación fue superior a 20 días.

Santos Cubas y Santos Cubas (2021) investigó *Microencapsulación del jugo de mora (Rubus glaucus) usando goma garrofin en el proceso de atomización*, se realizó el proceso de atomización de jugo de mora, formulando tres concentrados con 10 %, 20 % y 30 % de goma de algarrobo, y se aplicaron tres temperaturas de deshidratación: 120°C , 150°C y 180°C . El jugo de mora mostró un contenido de humedad del 87 %, 0,5 % de proteínas, 0,1 % de grasas, 12,2 % de carbohidratos y 0,2 % de cenizas, con un pH de 2,89, 1,170 % de acidez titulable, densidad de $1,01\ \text{g/mL}$ y 7,5 % de brix. El rendimiento más alto se obtuvo con el tratamiento T3, utilizando 30 % de goma de algarrobo a 120°C . La concentración de goma de algarrobo mostró eficacia en el rendimiento, especialmente con 20 % y 30 % de concentración. El tratamiento T1, con 10 % de goma de algarrobo a 120°C , mostró mejoras significativas en humedad (0,07 %), solubilidad (81,37 %) e higroscopicidad (18,23 %), con $0,215\ \text{mg}$ de cianidina-3 glucósido/g de antocianina en el

microencapsulado. Este proceso demostró ser viable para la microencapsulación del jugo de mora, prolongando su vida útil como producto.

1.2. Ayrampo (*Opuntia apurimacensis*)

El ayrampo pertenece al género opuntia. Tiene similitud con la tuna, pues con ella comparten un sin número de características, tienen espinas en su estructura, no son más de un metro de largo con respecto a sus tallos (cuerpo), sus frutos son de diferente color que sus tallos, entre otras muchas características similares, el ayrampo tiene un fruto pequeño de color carmesí y en algunas regiones de color morado, dentro de las cuales la principal materia prima para su uso en la industria como en su uso mítico de los pueblos es su semilla que se encuentra dentro de la fruta la cual tiene mucho concentrado de betalainas, estos cactus similares a los nopales se encuentran en muy poca cantidad en la sierra, pues en muchos pueblos no se aprecia sus beneficios dentro de la salud y la industria, esta planta está a más de 800 y 2.800 m.s.n.m aproximadamente, esto es referencial pues es conocido que este cactus puede crecer en distintas regiones naturales, pues no se han hecho estudios con relación a su crecimiento y producción (Jorge & Troncoso, 2016).

Figura 1

Ayrampo (*Opuntia apurimacensis*)



Nota. Foto tomada como parte de la investigación

1.2.1. Morfología del ayrampo

Estas son plantas arbustivas o también conocidas como arbóreas, con una particularidad de tallos distintivos de una composición de segmentos aplanados denominados cladodios, los cuales presentan una forma redondeada, ovaladas o romboides, hojas cilíndricas, pequeñas cónicas de carácter carnosos y sensibles, con una peculiaridad de desprendimiento en un periodo temprano, también contienen areolas con unos gloquidios, espinas y pelos, en ciertas ocasiones no se presentan estas mismas (Ritter, 2004).

1.2.2. Clasificación botánica del ayrampo (*Opuntia apurimacensis*)

Pertenece al reino vegetal, la división angiosperma por presentar flores, es de la clase dicotiledóneas, su subclase es conocida como arquiclamideas, su orden pertenece de las opuntiales, es de la familia de las cactáceas, del género opuntia, y de la especie opuntia apurimacensis (Ritter, 2004).

Las especies de *Opuntia ficus-indica* (comúnmente llamada tuna) posiblemente puede haberse originado en México y las islas del Caribe, mientras que se cree que *Opuntia apurimacensis* (comúnmente llamada ayrampo) comparte el mismo origen que la tuna (*Opuntia ficus-indica*). Se conoce tres variedades de tuna: rojo, verde y amarillos; sin embargo, el ayrampo es sólo morada. Mayormente el ayrampo se encuentra en la región de Apurímac.

No existe informes registrados sobre el ayrampo, pero se sabe que se utiliza en la preparación de chicha, mazamorra, como acompañante de la caña de azúcar, medicina natural para reducir la fiebre y prevenir las recaídas de enfermedades eruptivas. En el distrito San de Miguel de Mayocc (Jorge & Troncoso, 2016).

1.2.3. Valor nutricional

El ayrampo es un fruto de alto valor nutricional, pues esta planta puede ser aprovechada en su totalidad, es por ello de vital importancia conocer su composición nutricional para poder diferenciar los valores que se puede tomar en cuenta para una experimentación (Caldas-Cueva et al., 2016).

La Tabla 1, nos muestra la composición nutricional del ayrampo

Tabla 1

Composición nutricional del ayrampo.

Composición nutricional	Contenido
Humedad (%)	21,20
Grasa cruda (%)	1,70
Cenizas (%)	10,20
Proteínas (%)	6,80
Azúcares (%)	6,70
Carbohidratos (%)	11,20
Fibra (%)	6,10
Energía (kcal)	51 l
Vit. B1 (mg)	0,1
Vit. B2 (mg)	0,32
Vit. C (mg)	10,34

Nota. Adaptado de "Efecto termodegradativo de la pasteurización en el contenido de Betacianinas, polifenoles totales y capacidad antioxidante en el néctar funcional de ayrampo (*Opuntia apurimacensis*)" por J. Meneses Peralta, 2021, tesis, p.27 (<https://hdl.handle.net/20.500.13028/3593>)

1.2.4. Diferencia de los valores esenciales de la tuna y el ayrampo

Se puede plantear una diferencia concreta entre el ayrampo y la tuna, para ello se tendrá en cuenta el contenido de vitamina C, otro es la cantidad del ácido gálico, el cual depende de su concentración dará una textura más acuosa; estos componentes nos permitirán la diferencia que existe entre ellos (Jorge & Troncoso, 2016).

La concentración de vitamina c, polifenoles totales y la capacidad antioxidante de tuna y ayrampo se aprecia en la tabla 2.

Tabla 2

Concentraciones de vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante de los frutos de tuna y ayrampo

Componentes	Tuna	Ayrampo
Vitamina C (mg de ácido ascórbico en 100 g de ff)	36,1 ± 1,7	49,9 ± 6,3
Polifenoles totales (mg equivalentes de ácido gálico en 100 g de ff)	68,7 ± 2,3	107,3 ± 10,6
FRAP (mmoles de Fe-II en 100 g de ff)	0,7 ± 0,0	1,1 ± 0,1
Contribución de vitamina C a la capacidad antioxidante (porcentaje)	76,8	68,5

Nota. De "Capacidad antioxidante del fruto de la Opuntia apurimacensis (ayrampo) y de la Opuntia ficus-indica (tuna)" por P. Jorge, y L. Troncoso, 2016, *Anales de la Facultad de Medicina*, 7(2), p.105-9 (<https://doi.org/10.15381/anales.v77i2.11812>).

El ayrampo presenta un mayor contenido de vitamina C, a comparación con el valor de la tuna, asimismo la capacidad antioxidante de la tuna es mayor al de ayrampo.

1.3. Pitahaya amarilla (*Hylocereus magalanthus*)

La pitahaya amarilla o *Hylocereus magalanthus* tiene la pertenencia a los géneros *hylocereus*, denominada como una cactácea que se desarrolla en forma libre y silvestre en la amazonia y las regiones de selva baja o alta con un clima húmedo, por lo que su producción se ha intensificado en estas regiones, sus flores son amarillas, la fruta presenta una consistencia blanda de color amarillo y espinosa en sus coyunturas, en su interior presenta una pulpa blanca con la presencia de semillas de color negro (Del Ángel et al., 2023).

Figura 2

Pitahaya amarilla (Hylocereus magalanthus).



Nota. Foto tomado como parte de la investigación

La presencia de esta variedad tiene una producción industrial más reciente, por su mayor resistencia, pues esta tolera mejor las condiciones de transporte, de este modo mejora de manera consistente las posibilidades comerciales (Del Ángel et al., 2023).

1.3.1. Valor nutricional

Cueva (2022), menciona que la pitahaya amarilla, tiene propiedades curativas ya que tiene la presencia de gran cantidad de antioxidantes y su contenido es rico en calcio, fósforo y vitamina C.

En la tabla 3 se muestra el ⁵ valor nutricional de la pitahaya roja y amarilla.

Tabla 3*Valor nutricional de la pitahaya*

	Pitahaya amarilla
Calorías	50 kcal
Carbohidratos	13,2 g
Agua	85,4 g
Proteínas	0,4 g
Fibra	0,5 g
Grasa	0,1 g
Ácido Ascórbico	4 mg
Minerales	
Calcio	10 mg
Fosforo	16 mg
Hierro	0,3 mg
Vitaminas	
Tiamina	0,2 mg
Riboflavina	9 mg
Niacina	

Nota. De “Guía técnica del cultivo de pitahaya (*Hylocereus megalanthus*) en la región Amazonas” por Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA, 2020, (<https://www.inia.gob.pe/wp-content/uploads/2020/01/Pitahaya.pdf>)

Como se observa en la tabla 4, la pitahaya amarilla presenta un mayor contenido de riboflavina con respecto a la pitahaya roja.

1.3.2. Características fisicoquímicas de la pitahaya amarilla

Presentó una acidez baja en las frutas en estado de maduración completa, esta acidez está en balance entre las 3,1 g/L y 6,8 g/L en el zumo de la pitahaya amarilla, tiene una característica principal en su composición es el ácido málico, con divergencias que fluctúan dentro de la 8,20 y 6,08 g/L. aparte de ello existe una presencia disminuida de ácido cítrico (0,95 – 2,11 g/L), también la presencia de ácido láctico (0,48 – 0,91 g/L) y también ácido oxálico (0,19 – 0,42 g/L) una de sus características más notables de estas frutas denominadas pitahaya es la presencia de betalaínas como pigmentos principales, estos son los que dan una actividad molecular antioxidante a esta planta, también la pulpa y la cáscara tiene abundantes compuestos fenólicos y antioxidantes (Ramírez, 2018).

1.3.3. Característica funcional de la pitahaya

Se pretendió identificar las características funcionales de la pitahaya, para ello primero se cuantifico los azúcares totales, posterior a ello sus componentes fenólicos, además se estudió ciertas características expresadas en su resistencia a alteraciones en su estructura por cortes, de esta manera se puede tener una idea de la capacidad de esta planta para su tratamiento en la microencapsulación de sus betalainas (Garzón et al. 2021).

En la tabla 4, se aprecia las características funcionales y la resistencia de la pitahaya.

Tabla 4

Característica funcional y resistencia de la pitahaya

Contenido Azúcares (pulpa)	
Azúcares (g/100g)	9,08±0,02
Compuestos fenólicos (pulpa, cáscara semilla)	±
CF pulpa (mg AG /100g)	129,29±3,93
CF cáscara (mg AG /100g)	161,27±6,95
CF semilla (mg AG /100g)	95,08±9,37
Resistencia al corte (cáscara)	
Fuerza de corte (N/mm)	5,29±0,78
Distancia en el punto de corte (mm)	2,14±0,17
Trabajo de cizallamiento (N/mm*s)	10,38±0,82

Nota. De "Formulación y caracterización fisicoquímica y funcional de productos alimenticios elaborados a partir de pitaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*)" por S. Garzón Serrano, 2021, Universidad de los Andes (<http://hdl.handle.net/1992/55532>).

En esta tabla se observa que el mayor contenido fenólico se encuentra en la cáscara de pitahaya, seguido en la parte de la pulpa.

1.4. Betalainas

Las denominadas betalainas, son estructuras moleculares pigmentarias o pigmentos naturales, científicamente son vacuolas hidrosolubles, que se encuentran presentes en algunas plantas dentro del orden de las centrospermas, un ejemplo claro es el betabel (*Beta vulgaris*); estos compuestos naturales son una fuente importante de pigmentos para el uso en la industria alimentaria. Estas betalainas son los causantes de una gama característica de colores dentro del organismo de la planta, entre los cuales están las flores, los frutos, las hojas, las raíces y en una forma particular dentro de la especie de las

cáceas, estos colores están derivados en una escala que va desde el púrpura, pasando por roja, hasta crema y amarillo, esto se debe gracias a unas células llamadas vacuolas que en su estructura están presentes los glucósidos (Damodaran, 2018).

1.4.1. Composición química de betalainas

Cuando nos referimos al término de betalainas podemos darle una descripción de pertenecía, esta pertenecía se presenta en un grupo de pigmentos, los cuales tiene una característica primordial, que son solubles en agua esta es una representación química y biogenética, dentro de los cuales encontramos a la ⁵betacianinas de color rojo violeta λ máx. =540nm) y las betaxantinas de color amarillo (λ máx.=480nm). Hasta la actualidad se conoce unos 50 tipos de betacianinas y de 25 betaxantinas. Dentro de sus componentes principales se presenta este tipo de pigmentos los cuales son denominados ácidos betalámicos, esta es una función principal que depende de su posición estructural la cual está presente en cualquier compuesto, la cual determinará la coloración que esta adopte (Calva-Estrada et al., 2022).

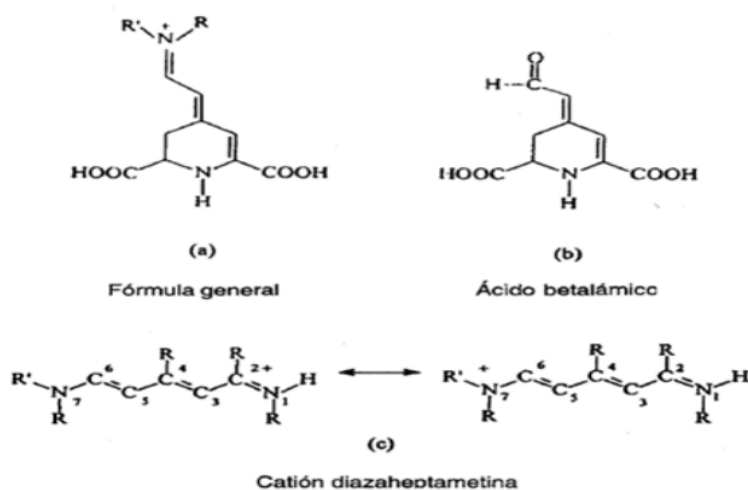
1.4.2. Estructura de las betalainas

La estructura general de las betalainas presenta condiciones variadas en su estructura como son la representación de la condensación de las animas primarias que ⁵pueden ser también las secundarias con los ácidos betalactámicos, es por ello que estos se pueden describir como derivados sistemáticos 1,7-diazaheptametina 1, 2, 4, 7,7-pentasustituido (Damodaran, 2018).

Una característica principal de la betaxantinas es tener un grupo R y R' es por ello que su extensión no afecta la conjugación de los cromóforos 1,7- diazaheptametina, a pesar de ello las betacianinas dan una conjugación que se extiende como un anillo de aromas sustituidos (Damodaran, 2018).

Figura 3

Estructura de la betalainas



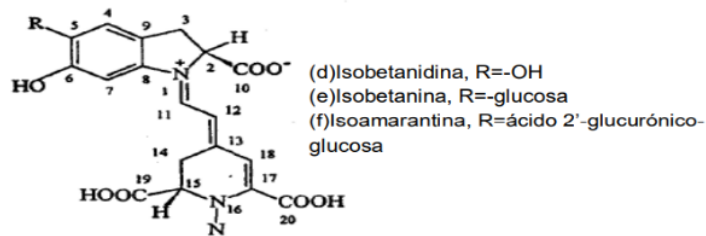
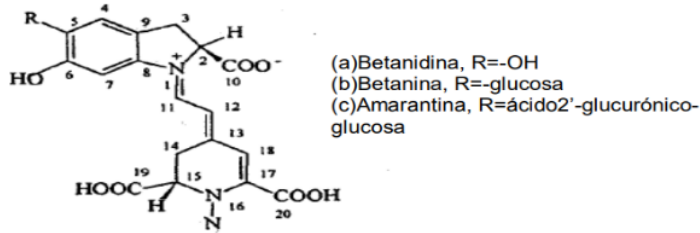
Nota. De "Química de los Alimentos" (p.826) por O.Fennema, 2019, Acribia (<https://scea.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/05/qc3admica-de-los-alimentos-fennema.pdf>)

1.4.3. Betacianinas

Las denominadas betacianinas son partes esenciales de las betalainas, pues son aquellos pigmentos que se caracterizan por dar ese color rojo violeta a las betalainas, las cuales por un proceso de fotólisis absorben dichos colores de la luz a 537 nm. Estas betacianinas tienen la característica de ser ópticamente activas pues en su estructura tienen dos carbonos quirales C-2 y C-5; esto se presenta en la denominada hidrólisis de la betanidina que también puede estar presente en el epidemo C₁₅ de isobetanidina, también al mezclar las agliconas de isómera, las denominadas agliconas son componentes que tienen en general todas las betacianinas, para poder diferenciarlas tenemos que enfocarnos en su grupo glucósido (Damodaran, 2018).

Figura 4

Estructura de la betacianinas



Nota: De "Química de los Alimentos" (p.827) por O.Fennema, 2019, Acribia

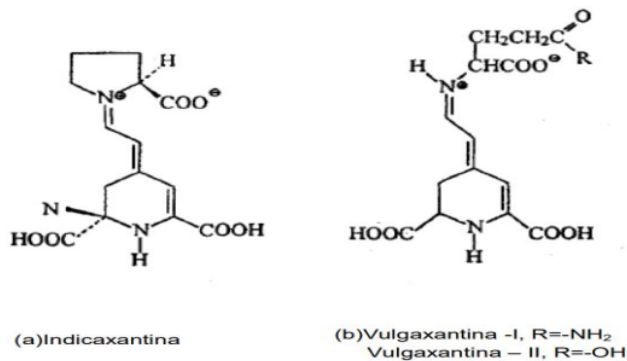
(<https://sceqa.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/05/qc3admica-de-los-alimentos-fennema.pdf>)

1.4.4. Betaxantinas

Se encuentran dentro de las betalainas, los cuales tienen una característica en común que presentan una coloración amarilliza, la cual es propia de su composición estructural, esto se debe a que absorben la luz a 480 nm; la estructura está presente en el grupo de los betanidos donde R=OH (e) Isobetanina, R=glucosa (f) Isoamarantina, R=ácido 2'-glucurónico glucosa 29 indol es sustituido por un aminoácido (Damodaran, 2018).

Figura 5

Estructura de las betaxantinas



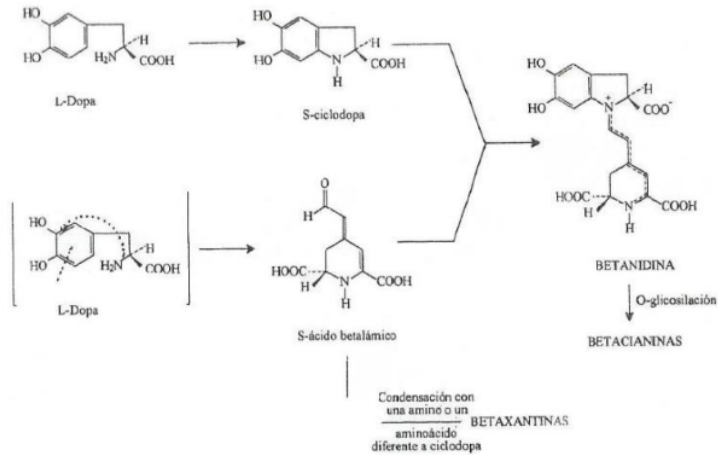
Nota. De "Química de los Alimentos" (p.828) por O.Fennema, 2019, Acribia (<https://sceqa.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/05/quc3admica-de-los-alimentos-fennema.pdf>)

1.4.5. Biosíntesis betalámico

Para poder hablar de la biosíntesis de las betalainas se tiene que determinar cuándo una molécula de L-DOPA (enantiómero levorrotatorio de la dihidrofenilalanina (DOPA), precursor de la dopamina), presenta una ruptura en su estructura en forma de anillo generando una reciclización, gracias a este proceso se creará el ácido betalámico la cual presentará en su estructura el anillo de dihidropiridina esta es una característica esencial de las betalainas, aparte de ello su característica enzimática solo requiere la presencia de dos enzimas para sintetizar la estructura intermedia central donde se encuentra el ácido betalámico, esto es gracias a la tirosina, compuesta de tirosinasa bifuncional, la cual dependiendo de la ruptura formará, dopa y ciclodopa, y en mayor presencia se formará la dopadioxigenasa (DD), esta presenta una función, la cual es catalizar las rupturas de los anillos denominados extradiol, gracias a ello se formará el ácido betalámico, después existirá una condensación más del ácido betalámico con la ciclodopa, la cual producirá la betanidina, con la presencia de otros aminoácidos se producirá la betaxantinas (Escudero, 2022).

Figura 6

Esquema biosintético de la betalainas.



Nota: De "Química de los Alimentos" (p.829) por O. Fennema, 2019, Acribia (<https://sceqa.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/05/quc3admica-de-los-alimentos-fennema.pdf>)

1.4.6. Propiedades físicas de las betalainas

La betalainas tiene una gran capacidad para absorber la luz. La tasa de absorción de betalainas es 1120 y la tasa de absorción de vulgaxantina es 750, lo que indica que tiene una capacidad de coloración fuerte y alta en su estado puro. El espectro de soluciones de betanina con valores de pH de 4 a 7 no cambió y mostró una absorción máxima a 537-538 nm. No hay cambio de color en estos valores de pH; a valores de pH inferiores a 4,0, el pico de absorción cambia a una longitud de onda ligeramente más corta (535 nm a pH 2,0). Por encima de pH 7, el pico de absorción cambia a longitudes de onda más largas (544 nm a pH 9,0) (Damodaran, 2018).

1.4.7. Propiedades químicas de las betalainas

Hay muchos factores que pueden afectar la estabilidad del color de los alimentos que contienen betalaina durante la cocción, el procesamiento y el almacenamiento. Estos factores incluyen la presencia o ausencia de calor, pH, luz, oxígeno, metales u otras sustancias químicas (Damodaran, 2018).

1.4.8. Estabilidad de las betalainas

Las betalainas tienen un porcentaje bajo y limitado de estabilidad, porque su color es factible de cambios dependiendo de diferentes condiciones las cuales son, la temperatura realiza cambios cíclicos en su estructura que se puede diferenciar desde el aspecto visual, otro de ellos es la actividad acuosa, pues esta tendría la capacidad de variar la formación estructural de las betalainas y disolverlas o separar su estructura y variar el color, otro es el pH y también la luz; pero esta situación puede cambiar al agregar una cuantiosa cantidad de antioxidantes, un ejemplo de ello es el ácido ascórbico, esto incrementa su estabilidad, pero no puede dar una medida de acilación que también no puede sustituir la estructura molecular de estos pigmentos, es también crucial mencionar que las betaxantinas, tienen una característica singular la cual está referida a su capacidad prontuaria de oxidación, que en condiciones naturales es superior a las betacianinas la cual tiene una referencia a los colores amarillos los cuales son una característica muy común de las betacianinas, las cuales pueden presentas diferentes mezclas, es por ello que los metales por medio de la catálisis pueden acelerar las reacciones de estas (Flores, 2019).

1.4.9. Beneficios y usos de las betalainas

El uso de betalainas como colorante alimentario natural está permitido desde hace algún tiempo, gracias a la prohibición de los colorantes artificiales en los últimos años, esto ha generado una gran demanda de los denominados tintes rojos de betalaína, lo que ha llevado a muchas empresas a concentrarse en su producción y venta; Varios estudios han demostrado que las betalainas pueden sustituir a algunos colorantes rojos sintéticos que se encuentran en los alimentos como son, los alimentos secos, (sopas secas de tomate, mezclas de especias y aderezos para ensalada), alimentos en lata o enlatados, (jitomate en lata, salsa cátsup o ketchup, salsa para pizzas), productos derivados de la carne, (morcillas, salchichas y hamburguesas), productos lácteos (helado, yogurt, malteadas), gelatinas y polvos para refrescos instantáneos (Flores, 2019).

Chimbolema (2021), investigó la caracterización del yogurt tipo III utilizando la betalaína de tuna roja como colorante, concluye que agregando el 1 % de colorante natural en el yogurt resulta ser aceptable para los consumidores debido a que los colorantes naturales se pueden aplicar al yogur sin problemas, la adición de este pigmento no cambia las propiedades sensoriales.

1.4.10. Contenido de betalainas en el ayrampo

El pigmento del ayrampo es la denominada betanina y el 1 % de este pigmento se encuentra en su fruto, es por ello que se realizó un estudio de este fruto ayrampo que provenía de la región de Ayacucho y se demostró que esta contenía el 1,2 % de betanina la cual dependía de su índice de madurez de 4,7 (°Brix/acidez) (Sarmiento, 2003).

El procedimiento para la extracción de betanina de semillas de ayrampo, donde se establece claramente que el método que permite la mayor extracción de este colorante es la extracción con agua, con una proporción de material de 1:3; pH 4,5 y remojar durante 24 horas a 30 °C, donde se determinó betalaina total en extractos de cáscara fresca de ayrampo en agua, el contenido de betalainas en la cáscara fue mayor por el método directo y el método de deconvolución que fueron 1,686 mg/g y 1,443 mg/g respectivamente; en la determinación de la capacidad antioxidante, el mayor contenido corresponde al extracto liofilizado metanol/acetona en la fracción de cáscara 674.571 uMolET/g según el método ORAC (Guzmán, 2021).

Los efectos de la pasteurización sobre el contenido de betacianinas, el contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante en el néctar funcional de *Opuntia apurimacensis* son: la temperatura promedio 74 °C y el tiempo de exposición tienen efectos significativos, con betacianinas que varían de 1,45 a 6,02 mg/100 ml, polifenoles totales de 66,5 a 102,1 mg/100 ml y capacidad antioxidante de 0,88 a 2,61 µmol ET/100ml (Meneses, 2021).

1.4.11. Contenido de betalainas en la pitahaya

El contenido total de betalaina (betacianina y betaxantina) en la pulpa de pitaya roja (PR) fue mayor ($P \geq 0,05$) que en la pulpa de pitahaya amarilla (PA). En PR predominan las betacianinas (BC), mientras que en PA predomina la betaxantina (BX). BC está asociado con el rojo-púrpura mientras que BX está asociado con el amarillo, por lo que la proporción de BC y BX observada en los frutos de los dos eco tipos de pitahaya aquí analizados corresponde al color de la pulpa (Verona et al., 2020).

En la tabla 5, se muestra el contenido de betalainas totales en pitahaya

Tabla 5

Contenido de betalainas totales (BET) (mg/100 g de muestra seca), betacianinas (BC) y betaxantinas (BX) en dos muestras de pitaya.

Muestra	BET	BC	BX
Pitaya roja	347,30 a ± 20.98	199,6 a ± 24.32	147,61 b ± 18,21
Pitaya amarilla	215,04 b ± 36.16	37,6 b ± 7.54	177,37 a ± 30,18

Nota. De "Betalainas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (Stenocereus griseus H.)" por L. García Cruz, Y. Salinas Moreno, & S. Valle Guadarrama, 2012, Revista fitotecnica mexicana, 35(spe5), 01-05. (http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802012000500003&lng=es&tlng=es)

En esta tabla se verifica un mayor porcentaje de betaxantinas que betacianina en la pitahaya amarilla lo que fortalece el uso para su microencapsulación. Y en pitahaya roja hay mayor cantidad de betacianinas que betaxantinas.

1.5. Método convencional de extracción de betalainas

La extracción de compuestos bioactivos por métodos convencionales suele realizarse mediante maceración, esta operación consiste en separar uno o más componentes de una fase sólida utilizando una fase líquida o disolvente, este tipo de operaciones se lleva a cabo en una o en múltiples etapas, una etapa es aquella en la que se ponen en contacto las dos fases que se encuentran en contacto entre si durante un periodo de tiempo determinado con la que existirá una interacción e intercambio de sustancias entre los dos componentes de la fase, lo cual sucederá una vez alcanzado el equilibrio, estas también se separan mecánicamente (Jaramillo, 2023).

Nayhua (2017), evaluó la influencia de las variables en el proceso de obtención de tintes naturales a partir de cáscara de tuna púrpura (*Opuntia ficus-indica*), se determinaron las siguientes condiciones de trabajo: concentración de solvente 60-90 %, tiempo 30 -120 minutos, 5-15 gramos de materia prima. Finalmente, utilizando el diseño experimental Box-Behnken, se determinó los parámetros óptimos de extracción: siendo la concentración de solvente al 75 % de etanol, tiempo de extracción sólido-líquido 90 minutos y 11,20 g de materia prima.

1.6. Microencapsulación

² La encapsulación es definida como la tecnología de encogimiento de materiales o sustancias que pueden ser sólidas, líquidas y gaseosas, este procedimiento implica el recubrimiento de ingredientes sensibles (puros o mezclas) en el material con el fin de brindarles protección contra la humedad el calor y cualquier otra condición externa, con ello se pretende aumentar su estabilidad y extender su vida útil, en este procedimiento de la encapsulación la parte activa se denomina núcleo, parte interior o relleno y la encapsulación se denomina material de cubierta, revestimiento o pared, esta es de espesor variable y de muchas capas, la forma de cápsula es mayoritariamente esférica, pero está muy influenciada por la textura del material de origen sin recubrimiento (Cazorla, 2018).

La microencapsulación es un método de conservación que, a pesar de sus avanzadas capacidades tecnológicas, aún se encuentra en desarrollo y desarrollo en la industria alimentaria. Esto nos permite encapsular sustancias bioactivas y nutrientes que benefician la salud de nuestros productos y consumidores, este método preserva ⁷ las propiedades organolépticas y nutricionales de los alimentos evitando reacciones enzimáticas de trastornos oxidativos que provocan cambios físicos y químicos en los alimentos, reduciendo la calidad y vida útil del producto (Garzón et al., 2023).

³⁶ Acciarri (2017), en su investigación, estabilización de antioxidantes naturales por encapsulación y su incorporación a derivados lácteos con valor agregado, preparó 1 litro de leche entera precalentada a 45 ± 5 °C se enriqueció con sólidos añadiendo un 3 % de leche en polvo, 1 % de goma guar (espesante) y un 10 % de sacarosa. La mezcla se enfrió a 37 °C y se añadió un cultivo iniciador que consistía en una combinación de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* Bulgaria (fermentado YF-L811), Finalmente se incubó en una yogurtera durante 8 horas a 43 °C; agregando polvo de perlas microencapsuladas de extracto de antocianinas de arándano (1 g/50 ml) removiendo manualmente y controlando el pH del yogurt, al agregar las cápsulas se mantuvo óptimo en pH y sin cambios significativos en sus características durante 7 días.

1.6.1. Métodos de microencapsulación

Los métodos utilizados para la microencapsulación incluyen secado por aspersión, liofilización, extrusión, recubrimiento de película delgada, atrapamiento de liposomas, coacervación, inclusión, extrusión centrífuga, suspensión por centrifugación, separación y polimerización interfacial, especialmente la selección del método de encapsulación.

Basado en el costo, ⁴ las propiedades del material de recubrimiento, el tamaño de partícula deseado, la aplicación y el mecanismo de liberación (Vergara, 2013).

a) Proceso físico secado por aspersión

El secado por aspersión es el método de encapsulación más utilizado en la industria alimentaria para encapsular compuestos activos y proteger materiales de una forma rentable, sencilla y sostenible. En este estudio, este método fue seleccionado como método de encapsulación. En este método, se atomiza una solución o dispersión de nutrientes (usando una boquilla o un disco giratorio) en gotas microscópicas en una corriente de aire caliente. Cuando pequeñas gotas de líquido entran en contacto con el aire caliente, el agua se evapora rápidamente y forma instantáneamente un polvo. Una de las ventajas de esta tecnología es que, además de su sencillez, el tiempo de exposición a altas temperaturas es muy corto (5 a 30 segundos), lo que la hace útil para encapsular materiales termosensibles (Vergara, 2013).

²⁹ El secado por aspersión es una técnica para la obtención de productos en polvo, pero algunas matrices presentan dificultades por su alto contenido en azúcar, lo que obliga a utilizar aditivos para eliminar el agua; los procesos de fabricación deficientes pueden dar como resultado productos higroscópicos, pegajosos, inestables y difíciles de manipular y operar, este método de conservación ha sido estudiado para deshidratar alimentos dulces, frutas y productos lácteos. ³ El secado por aspersión es una operación unitaria que rocía productos líquidos en una corriente de aire caliente para producir un polvo inmediatamente. El gas suele ser aire; rara vez se utilizan gases inertes como el nitrógeno. El líquido inicial suministrado al atomizador puede ser una solución, emulsión o suspensión. Dependiendo de las condiciones iniciales de alimentación y operación, el secado por aspersión puede producir polvos muy finos (10-50 μm) o partículas de gran tamaño (2-3 mm), por lo que es una tecnología común en la producción de encapsulación de alimentos (Rios & Gil, 2021).

b) Proceso químicos polimerización interfacial e inclusión molecular

Uno de los métodos de microencapsulación más destacados es la polimerización interfacial, que consiste en la polimerización de monómeros en medio de dos sustancias inmiscibles, las razones de la amplia aceptación de esta tecnología en la industria son sus ventajas, por ejemplo, la masa total de la cápsula permite una utilización significativa del producto encapsulado lo que genera sólo un 5-15 % corresponden a las pared de esta que dan prioridad al núcleo, también es una forma de tener más control sobre la entrega y

velocidad de la conexión de los compuestos, finalmente, el proceso se caracteriza por su simplicidad y complejidad y es muy económico (Escudero, 2022).

c) Proceso fisicoquímico liposomas y gelificación iónica

El proceso de liposomas y gelificación iónica se lleva a cabo en presencia de cationes polivalentes (excepto magnesio), siendo los iones de calcio los más utilizados en la industria alimentaria, la gelificación ocurre cuando se forma una región de unión entre los bloques G de una molécula de alginato, que están unidos físicamente por iones de calcio de otros bloques g ubicados en otras moléculas de alginato, esta visión de la estructura física se denomina "modelo de caja de huevos" (Entote, 2023).

Quicaño y Moreno (2023) en su investigación microencapsulación sangre bovina, aplicaron el método gelificación iónica, los agentes encapsulantes óptimos fueron maltodextrina 30 %, alginato de sodio 2 % y cloruro de calcio 1 % son los mejores que resultaron en la prueba de solubilidad 3,10 % e higroscopicidad 4,33 %

Contreras y Torres (2022) al evaluar la eficiencia de encapsulación (%E-E) de las microesferas mediante por gelificación iónica interna del extracto de polifenol de brácteas de alcachofa, se encontró que la concentración de alginato del 2 % y concentración de carbonato de calcio de 0,1 % tienen la mayor eficiencia de encapsulación.

d) Gelificación externa

El proceso de gelificación externa ocurre debido a la difusión de iones de calcio desde una fuente que rodea al hidrocólide hacia la solución de alginato de pH neutro, la formación de gel comienza en la superficie y avanza hacia adentro a medida que la superficie se satura con iones de calcio, reemplazando los iones de sodio en el alginato con cationes divalentes disueltos en agua. Interactúa con los bloques G de diferentes moléculas de polímero y los une, la fuente de calcio más utilizada es el CaCl_2 , pero existen otras sales que rara vez se utilizan, como el acetato de calcio monohidratado y el lactato de calcio, debido a su alta proporción de calcio disponible (Jaramillo, 2023).

e) Gelificación interna

El desarrollo de gelificación interna consiste en la emancipación inspeccionada de (Ca^{2+}) a partir de una fuente interna de sales de calcio insolubles o incompletos solubles, dispersadas de la solución de alginato de sodio la disociación de los iones de calcio donde ocurre de dos formas, la primera posee un calcio con sal lo cual es insoluble teniendo un pH neutro pero soluble a pH ácido, necesitará aumentar un ácido orgánico para disociar la sal, la otra se esparce, acidifica el ambiente y vuelve solubles los (Ca^{2+}), las sales de calcio

que son más empleados en casos como esta es ²⁷ el carbonato de calcio y el fosfato tricálcico y, en algunos incidentes, el fosfato dicálcico y el citrato tricálcico (Jaramillo, 2023).

1.6.2. Agentes utilizados para microencapsular la betalaína

Existen varios tipos de agentes encapsulantes, también llamados portadores o acarreadores, que incluyen carbohidratos, lípidos, proteínas y polímeros alimentarios, el grupo de los carbohidratos incluye almidón, alginato, carragenina, ⁶ goma arábica, goma guar, goma xantana, sacarosa, glucosa, maltodextrina, inulina, jarabe de glucosa, ⁶ pectina, carboximetilcelulosa y quitosano, los lípidos incluyen cera de abejas, ⁶ carnauba y candelilla, diestearato de glicerol y aceites naturales y modificados. En las proteínas, se pueden distinguir como agentes encapsulantes caseínas como la gelatina, el caseinato de sodio, la proteína de suero de soja y la proteína de trigo, los polímeros de calidad alimentaria incluyen polipropileno, acetato de polivinilo, poliestireno y polibutadieno. ⁶ Cada grupo de materiales portadores tiene ventajas y desventajas, por lo que los recubrimientos se suelen utilizar en combinación con todos los materiales anteriores (Santos Cubas & Santos Cubas, 2021).

Pedroza (2002), menciona que cuando se combinan proteínas con polisacáridos (por ejemplo, gomas) ⁴ dependiendo del método de producción de las microcápsulas, se debe tener en cuenta la estequiometría de la reacción, ya que no siempre se corresponde con los resultados obtenidos en la práctica. Por ejemplo, en una coacervación compleja entre gelatina (que actúa como policación) y goma arábica (un polianión), la relación estequiométrica es 0,92:1, que en realidad debería ser 1:1.

Villacresis (2023) en su investigación utilizó los agentes encapsulantes, los óptimos son maltodextrina 30%, alginato de sodio 1% y cloruro de calcio 1% asimismo la prueba de calidad de las microcápsulas fueron higroscopicidad 6,9% y la solubilidad 3,02%.

a. La maltodextrina

Las maltodextrinas se obtienen mediante ²⁹ hidrólisis enzimática o ácida del almidón y generalmente presentan alta solubilidad en agua, sabor neutro, bajo costo, baja viscosidad en altas concentraciones y la capacidad de proteger los materiales recubiertos de la oxidación, la ² baja capacidad emulsionante se puede superar utilizando almidón o resinas modificadas, es utilizada ampliamente en la industria de alimentos por tener bajo costo, sin embargo, la mayor desventaja de este encapsulante es su limitada afinidad por los componentes hidrófobos, lo que conduce a una falta de propiedades emulsionantes (Tolun, 2019).

b. El alginato de sodio

¹³ El alginato es un polímero natural compuesto de ácido D-manurónico y ácido L-glucurónico y puede obtenerse de diversas macroalgas y de diversas bacterias. Las principales ventajas del alginato en el proceso de microencapsulación son su naturaleza no tóxica, biodegradabilidad, capacidad de liberar lentamente el agente encapsulado y bajo costo, el alginato también se utiliza para encapsular ¹³ microalgas para el tratamiento de aguas residuales. El campo de aplicación de esta tecnología se extiende a áreas como la farmacología, la industria alimentaria, los probióticos, etc. (Avendaño et al. 2013).

El alginato es uno de los polímeros más utilizados en microencapsulación, formando una matriz muy versátil, ⁹ biocompatible y atóxica para proteger principios activos, células o microorganismos, ya que estos son sensibles a factores como el calor, el pH, el oxígeno y la luz. El ambiente al que están expuestos los alimentos durante su procesamiento y almacenamiento. El proceso de microencapsulación del alginato se produce mediante dos mecanismos de gel iónico: gel externo y gel interno, dependiendo de si el calcio se suministra desde el exterior o el interior de la cápsula. El proceso de gelificación comienza con ¹⁷ una solución de alginato y una fuente de calcio externa o interna desde la cual el ion de calcio se esparce hasta llegar a la cadena polimérica, Como resultado a esta unión, ocasiona un reordenamiento estructural en el área infiriendo en un elemento sólido con propiedades de gel. El nivel de gomina depende de la hidratación del $(C_6H_7NaO_6)_n$, la concentración de (Ca^{2+}) y el contenido de bloque G. (Lupo et al., 2012)

c. Cloruro de calcio

³ El cloruro de calcio es un compuesto inorgánico, una sal con la fórmula química $CaCl_2$. Se trata de escamas o gránulos de color blanco a temperatura ambiente y es muy soluble en agua. El desecante de cloruro de calcio funciona mejor en rangos de temperatura desde - congelación hasta más de 80 °C, el cloruro de calcio se utiliza a menudo como ²⁶ descongelador o absorbente para controlar el polvo en caminos de grava, alimentos o ²⁶ secadoras, en la mayor parte del mundo, el cloruro de calcio se extrae de la piedra caliza como subproducto del proceso Solvay, el cloruro de calcio también se puede obtener mediante desalinización (Tolun, 2019).

1.7. Prueba de calidad de la microencapsulación

Para el producto resultante de la microencapsulación, se analiza su calidad, estos análisis son: contenido de cenizas, humedad, higroscopicidad, solubilidad, actividad del agua, desempeño del proceso, morfología, tamaño y estabilidad de las microcápsulas y color,

análisis sensorial, peso, densidad, unidad de la encapsulación y distribución celular. (Rivas Reyes, 2010)

⁷ **1.7.1. Higroscopicidad**

La higroscopicidad es la capacidad de un material para absorber o liberar humedad en el aire, estableciendo así el equilibrio de humedad en el ambiente interior. Los materiales higroscópicos afectan la humedad de un edificio porque absorben vapor de agua (Vidaurre et al., 2017).

¹
La prueba de higroscopicidad es una prueba de microcápsulas que implica en mantenimiento de la humedad del aire por absorción; cuanto más higroscópicas, menor es la calidad de las microcápsulas (Jarrín, 2021).

³³ **1.7.2. Solubilidad**

La solubilidad es una medida de la capacidad determinada de una sustancia para disolverse en otra sustancia. Esto se puede expresar como porcentaje de soluto o en unidades como moles por litro o gramos por litro (Verona et al., 2020).

Jarrín (2021), menciona que el ensayo de solubilidad es una de las pruebas más influyentes porque la mayor parte de las sustancias microencapsuladas se agregan a alimentos con elevado volumen de agua, la testificación demostró ¹ que cuando las microencapsulas son amorfas, son más solubles por lo tanto se disuelven más rápida, mientras que en forma cristalina son menos solubles.

1.8. Actividad antioxidante

La capacidad antioxidante de una mezcla está determinada no sólo por la suma de la capacidad antioxidante de cada ingrediente. Esto también depende del microambiente en el que se encuentra el compuesto. Los compuestos pueden interactuar entre sí para producir efectos sinérgicos o inhibidores. Por otro lado, cabe señalar que las pruebas in vivo pueden conllevar algunas desventajas, como la adaptación a un estrés oxidativo elevado (Calva-Estrada et al., 2022).

¹⁵
Luna y Delgado (2014), en su investigación menciona que las condiciones ambientales durante el cultivo, como la intensidad de la luz, el pH del suelo, la frecuencia de riego y el tipo de fertilizante, afecta la composición química del fruto. Además, durante la maduración se inducen varios cambios metabólicos relacionados con la biosíntesis de compuestos como el licopeno y otros carotenoides. Las investigaciones también muestran que ciertas operaciones de manipulación en post cosecha y procesamiento como: corte, empaque y

almacenamiento de tomates ¹⁵ pueden alterar la concentración de micronutrientes (vitaminas y minerales) y compuestos de actividad antioxidantes.

Huamani y Paucar (2018) luego de completar el tamizaje fitoquímico, se determinó la capacidad antioxidante de los extractos de frutos liofilizados de pitaya amarilla (*Hylocereus megalanthus*) y pitaya roja (*Hylocereus undatus*) y se comparó con los métodos DPPH, CUPRAC y ABTS, ambos se determinaron de frutas liofilizados obteniendo valores 795 mg TE/100 para pitahaya amarilla y 893 mg TE/100g para pitahaya roja por el método DPPH; ¹⁴ para el método ABTS 574 mg TE/100 de pitahaya amarilla y 1109 mg TE/100g de pitahaya roja; finalmente determinado por el método CUPRAC ¹¹ 994 mg TE/100g para pitahaya amarilla y 1166 mg TE/100g pitahaya roja. ³² la capacidad antioxidante de la pitaya roja es más fuerte que la de la pitaya amarilla, y existe una diferencia significativa entre los tres métodos analíticos.

El contenido de ácido ascórbico de la pitahaya amarilla se midió y comparó mediante voltamperometría, resultando 63,82 mg AA/100 g, mientras que el contenido de ácido ascórbico en pitahaya roja liofilizada fue de 159,37 mg AA/100 g; Para la determinación de fenoles totales se utilizó el método colorimétrico de Folin Ciocalteu siendo el contenido del compuesto, de 164 mg GAE/ 100 g de pitaya amarilla liofilizada, y el valor fue ¹⁴ 206 mg GAE/100 g de pitahaya roja concluyendo que el contenido de ácido ascórbico y compuestos fenólicos totales en la pitahaya roja es mayor que el de la pitahaya amarilla; ¹² también la pitahaya roja de la provincia de Amazonas tiene un mayor contenido de compuestos fenólicos totales en comparación con el contenido de ácido ascórbico; por lo tanto, se puede concluir que la mayor parte de su capacidad antioxidante puede atribuirse a la presencia de compuestos fenólicos totales. ¹⁴

³ Inga (2022), en su investigación comparación de método de deshidratado para obtener harina de cáscara de dos variedades de pitahaya con potencial activo, determinó la capacidad antioxidante del polvo de cáscara, los resultados que se obtuvieron para variedades de pitaya amarilla (111,160; 109,398; 108,045 $\mu\text{mol TE/L}$) y para variedades de pitaya roja (107,106; 83,782; 59,886 μmol). El nivel de significación es $P = 0.000$, mediante los métodos de bandeja, estufa y microondas.

⁶ 1.8.1. Radicales libres

Los radicales libres son sustancias que contienen un número impar de electrones, especialmente uno o un número impar de electrones. Los radicales libres pueden sufrir una reacción en cadena, es decir al final del proceso, generan nuevamente el radical libre original. Como al principio del proceso, los radicales libres extraen átomos de hidrógeno

de las moléculas de ácidos grasos, forman hidroperóxidos de ácidos grasos y generan nuevamente radicales libres, que pueden continuar durante otro ciclo. Este ciclo puede continuar hasta que se consuma el sustrato o hasta que los antioxidantes (como la vitamina E) interrumpan el ciclo. Sin entrar en detalles ni descartar posibilidades, la peroxidación lipídica afecta a las células en su conjunto porque las membranas que rodean y protegen a las células están compuestas por dichas moléculas. Este proceso causa daño a varios tejidos del cuerpo. Sin embargo, el llamado estrés oxidativo se produce cuando las sustancias activas están desequilibradas y, por tanto, actúan en contra del sistema antioxidante. Este fenómeno puede dañar muchos tejidos del cuerpo. Se asocia con muchas enfermedades como la artritis reumatoide, la miocardiopatía, la fibrosis quística o la diabetes. (Arellano Omar & Cordero Vargas, 2024)

1.9. Yogurt

La Norma Técnica Peruana (NTP 202.092, 2014), citado por Pingo et al. (2019) menciona al yogur como un producto obtenido por fermentación del ácido láctico por la acción de *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, procedentes de leche pasteurizada y/o productos elaborados con leche, incluso pasteurizados.

1.9.1. Historia del yogurt

El yogur se originó hace muchos siglos en el Medio Oriente. Pero en aquella época, los productos mencionados eran en realidad diversos productos lácteos fermentados empíricamente con la participación de microorganismos presentes en la leche o en el medio de cultivo, porque el descubrimiento de los microorganismos y sus propiedades se realizó a finales del siglo XX. Sus usos y funciones fueron descubiertos y desarrollados en el siglo XIX. desde sus inicios, la leche fermentada se ha utilizado por sus propiedades medicinales para aliviar dolencias estomacales, intestinales y hepáticas. En la primera mitad del siglo XX, el bacteriólogo ruso Metchnikoff vinculó la salud y la longevidad de los agricultores balcánicos al consumo de un producto fermentado elaborado a partir de leche, al que llamaron Yhourt.

Por tanto, la leche fermentada se considera la precursora del yogur moderno. Después de la Segunda Guerra Mundial, la tecnología del yogur logró avances muy significativos. Actualmente, el consumo de este producto está muy extendido en todo el mundo (Hernández, 2016).

1.9.2. Importancia en la alimentación

El yogur está enriquecido nutricionalmente con proteínas, calcio, vitamina D, fósforo y vitaminas B porque las bacterias descomponen la lactosa en glucosa y galactosa (dos carbohidratos simples). El yogur contiene microorganismos vivos que fortalecen el sistema inmunológico y modifican la flora intestinal. El yogur es una forma de aumentar el calcio y las proteínas en su dieta mientras promueve la salud intestinal (Ruiz et al., 2017).

El valor nutricional del yogur ha sido descrito desde la antigüedad, pero con el paso de los años se ha considerado un alimento saludable debido a la biodisponibilidad, digestibilidad y asimilación de sus nutrientes

En la siguiente tabla, se muestra el contenido nutricional del yogur natural

Tabla 6
Composición nutricional del yogur natural

Nutrientes/100 g	Contenido
Energía (kcal)	62
Proteína (g)	3,4
Lípidos (g)	3,2
Hidratos de carbono (g)	4,0
Ca (mg)	87,9
P (mg)	142,0
Na (mg)	47
K (mg)	186
Mg (mg)	14
Fe (mg)	0,09
I (ug)	3,7
Zn (mg)	0,55
Tiamina (mg)	30
Riboflavina (mg)	0,19
Equivalentes de niacina (mg)	1,5
Vitamina B ₆ (ug)	0,05
Folatos (ug)	3,6
Vitamina B ₁₂ (ug)	0,2
Vitamina A (ug) (equivalentes de retinol)	9,8
Vitamina D (ug)	60

Nota. De Elaboración, Producción y Comercialización de derivados lácteos (p.98), por M. Buendía Molina, 2016, Macro,
(https://www.google.com.pe/books/edition/DERIVADOS_LACTEOS/Q74tDwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1)

1.9.3. Tipos de yogurt

✓ Yogur natural

Es un yogur sin aditivos adicionales, sólo ⁸ microorganismos típicos (*Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*) y sólidos lácteos. Este tipo de yogur tiene una textura firme, como la consistencia de un pudín. Su pH final es 4,6 o menos. Este yogur aporta proteínas de alta calidad (alto valor biológico), es de fácil digestión, tiene un contenido mínimo de grasa del 2% y contiene hidratos de carbono, vitaminas y minerales.

✓ Yogur natural azucarado

Es un yogur natural con azúcar añadido (en ²⁰ forma cristalizada o en almíbar).

✓ Yogur edulcorado

Es un yogur natural al que se le añaden edulcorantes autorizados. Pueden tener menor contenido energético.

✓ Yogur frutado

Es un yogur ⁸ natural al que se le añaden frutas, zumos y otros productos naturales. También se le añade azúcar como edulcorante, ya sea en forma cristalizada o enlatada. El contenido mínimo de yogur en el producto terminado es del 70%.

1.9.4. Clasificación del Yogur

²⁰ Según el contenido de materia grasa

- **Entero:** Contiene mínimo 3% de grasa.
- **Descremado:** Contiene como máximo 1% de grasa.
- **Semidescremado:** Contiene entre 1 a 2,9% de grasa.

Según la Textura

- **Yogur batido:** También se le llama yogur batido o sólido. Después de la incubación, se agita el yogur para deshacer los coágulos y darle viscosidad y textura características. Este yogur tiene un contenido de sólidos totales del 14%, por lo que requiere la adición de leche en polvo o concentrada.
- **Yogur firme o aflanado:** También se le llama kit de yogur. Después de un procesamiento seguro, el yogur se envasa y se incuba. Debe manipularse y transportarse con cuidado para no dañar la coagulación.

- **Yogur bebible o líquido:** También conocido como drink yogurt. Se consume como una bebida. Su baja viscosidad se debe a la homogeneización o fuertes movimientos mecánicos del yogur tras la incubación, lo que hace que la viscosidad sea más fluida. (Buendía, 2016)

¹ CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de ejecución

La presente investigación se desarrolló en el laboratorio de Investigación, en el laboratorio de Análisis de Alimentos y en el Centro Experimental de Jugos y Conservas de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, así mismo se utilizó el secado por aspersión en laboratorio de Farmacia y Bioquímica de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; para el análisis de antioxidantes se solicitó los servicios del laboratorio CENA SAC; desde octubre del 2023 hasta febrero del 2024.

2.2. Materia prima

Las materias primas que se usaron son: ayraampo adquirido del distrito de Santiago de Pischa, pitahaya amarilla del mercado de abasto de Ayacucho, leche fresca que se recolectó de la comunidad de Casaorcco perteneciente al distrito de Carmen alto.

2.3. Insumos

- Azúcar
- Cultivo láctico

2.4. Materiales

- Vasos de precipitado Pirex de 250 mL, 100 mL y 50 mL¹
- Fiola 50 mL, 100 mL y 250 mL
- Probeta de 100 mL, 50 mL y 10 mL.¹
- Erlenmeyer de 50 y 100 mL.
- Luna de reloj
- Varilla de vidrio
- Tubos de ensayo de 10 mL
- Bolsas de polipropileno
- Jeringa
- Papel filtro
- Papel aluminio
- Buretas de 50 mL
- Placas Petri (PIREX).¹
- Pipetas bacteriológicas de 1 mL.
- Envases de vidrio con tapa rosca de 100 mL.

- Taper, lavatorios
- Colador de plástico
- Cuchillos de acero inoxidable
- Baldes de plástico de capacidad 20 L
- Jarras de plástico 100 ml, 0,5 y 1 Litro
- Plumón indeleble
- Tijeras
- Vasos descartables
- Mesa de acero inoxidable
- Cucharon de acero inoxidable
- Envases de plástico de 0,5 y 1 litro
- Termómetro

2.5. ¹Equipos

- Balanza analítica OHAUS, modelo AS200 capacidad máxima 200 g.
- Balanza eléctrica marca súper-SS, capacidad 5 kg
- Rota vapor BUCHI R- II
- Deshidratador Maorito
- Agitador magnético
- Estufa
- Centrífuga
- Secador por aspersor BUCHI Mini Spray Dryer B-290
- Espectrofotómetro Genesys 10S VIS Thermo Scientific
- Cocina a gas
- Refrigeradora marca Coldex.

2.6. Reactivos

- etanol 70%, 85% y 96%
- Maltodextrina
- Alginato de sodio
- Cloruro de calcio CaCl_2

2.7. Hipótesis

2.7.1. Hipótesis principal

HS: Es posible extraer y microencapsular betalainas de pitahaya (*Hylocereus megalanthus*) y ayrampo (*Opuntia apurimacensis*) y aplicarlo en yogur.

2.7.2. Hipótesis secundarias

HS1: Es posible determinar los parámetros de extracción de betalaínas de pitahaya y ayrampo para obtener su máximo concentración.

HS2: Los parámetros de microencapsulación de betalaínas de pitahaya y ayrampo se logran con la metodología de MRS.

HS3: El extracto de betalaína microencapsulada de pitahaya y ayrampo aplicadas en yogurt tiene buena capacidad antioxidante.

HS4: El yogur con microencapsulas de betalaínas de pitahaya y ayrampo tiene buena aceptabilidad.

2.8. Diseño metodológico

2.8.1. Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de aplicación experimental.

2.8.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es explicativo y experimental porque permite detallar como se manifiesta un determinado fenómeno además especifica las propiedades y características del objeto de estudio.

2.8.3. Población

La población está constituida por el fruto de ayrampo de la región Ayacucho proveniente del distrito de Santiago de Pischa, pitahaya de los centros de abasto y yogurt producido en Ayacucho.

2.8.4. Muestra

La muestra empleada en la investigación es el fruto de ayrampo del distrito de Santiago de Pischa, fruto de pitahaya amarilla procedente de los mercados de Ayacucho.

2.8.5. Muestreo

Se empleó el muestreo no probabilístico, por conveniencia.

2.8.6. Variables e indicadores

Primera etapa: Extracción y concentración (DCA)

Variables dependientes

Y1= Concentración de Betalaínas mg/g

Indicadores

Y11= mg de betalaínas/g

Variables independientes

T1= Concentración de etanol

T2= Tiempo de maceración

Indicadores:

T1= 70 %, 85 %, 96%

T2 = 24 h, 48 h

Segunda etapa: Microencapsulación (MSR)

Variable dependiente:

Y1= Propiedades físicas de los microencapsulados

Indicadores:

Y1= Solubilidad

Y2= Higroscopicidad

Variable Independiente:

T1= Concentración de maltodextrina

T2= Concentración de alginato sódico

T3= Concentración de cloruro de calcio

Indicadores:

T1= Concentraciones de 25 %, 30 %, 35 %

T2= Concentraciones de 1.2, 2,35 %, 3.5 %

T3= Concentraciones de 1,2 %, 2,35 %, 3,5 %

Tercera etapa: Aplicación en yogur

Variable dependiente:

Y1= Características sensoriales

Y2= Actividad antioxidante

Indicadores

Y11= escala hedónica

Y12= % de inhibición

Variable Independiente:

T1= Tratamientos

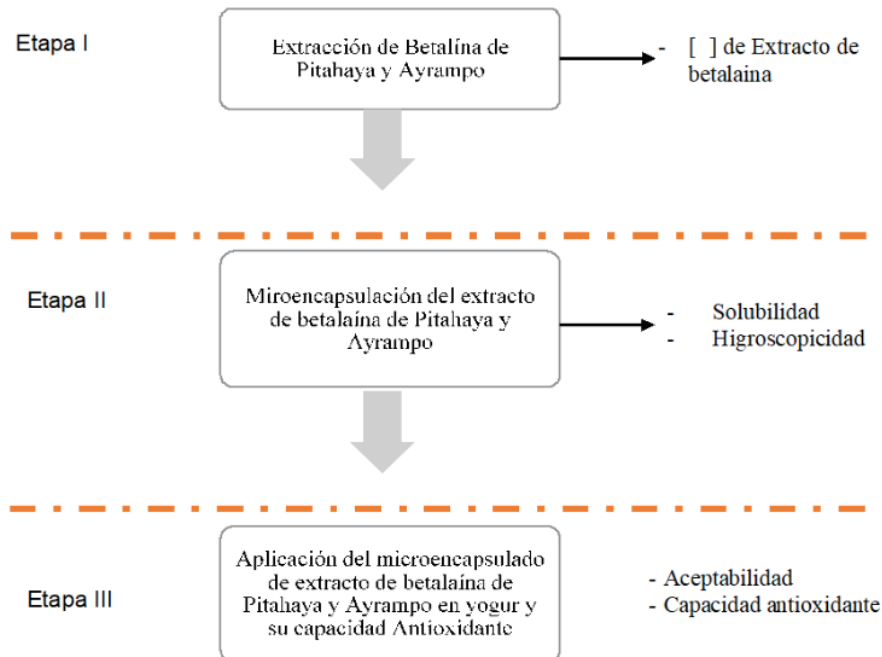
T2= 5% de microencapsulado

2.9. Diseño experimental

La metodología experimental del proyecto de tesis se realizará de acuerdo a la figura 7.

Figura 7

Diseño experimental del proyecto de tesis.



2.9.1. Extracción de betalainas de pitahaya y ayrampo

Se aplicó el método de extracción con etanol y reposo; se siguió el procedimiento descrito por Mamani y Molina (2023), consistió en lo siguiente:

- Se procedió a eliminar las impurezas de las muestras de pitahaya y ayrampo con la ayuda de una esponja y agua.
- Luego, las muestras fueron sumergidas en una solución desinfectante de hipoclorito de sodio (50 ppm).
- Después se procedió a la separación de la cáscara, pulpa y semillas según el siguiente detalle: i) se comenzó cortando los extremos del fruto y con un corte longitudinal se desglosó la cáscara de la pulpa, ii) se procedió a cortar las cáscaras en trozos y la pulpa y semilla fue separada.
- La cáscara obtenida se pesó y se colocó a un recipiente agregando el disolvente. La extracción fue con etanol en diferentes concentraciones de 70 %, 85% y 96% en relación de (1:2) por muestra: solvente. Luego se agitó

manualmente por 10 min a temperatura ambiente y se dejó en reposo durante 24 h y 48 h a 4°C en refrigeración.

- Después de 24 h y 48 h se procedió a filtrar y se llevó a evaporar por medio de un rotavapor a una temperatura de 50°C. Posteriormente se obtuvo los extractos concentrados de pitahaya y ayrampo los cuales se codificó y se analizó respectivamente.

a. Contenido de betalainas (betacianinas y betaxantinas):

Se cuantificó por espectrofotometría de acuerdo al método descrito por (Castellanos & Yahia, 2008).

La muestra del extracto de pitahaya y ayrampo se llevó a centrifugación durante 5 minutos a 3000 rpm en una centrifuga.

Se tomó 1 ml de muestra del sobrenadante del extracto de pitahaya y ayrampo, se aforó con etanol de concentración (96%, 85%, 70%) y se pasó a leer el contenido de betalainas por espectrofotómetro.

El contenido de betacianinas y betaxantinas se cuantificó mediante la absorbancia de los extractos de betalainas a 540 y 480 nm en un espectrofotómetro-UV. Para la conversión de las unidades de absorbancia en unidades de concentración se utilizó la siguiente expresión (Abderrahim et al., 2015):

$$B \left(\frac{mg}{g} \right) = \frac{A \cdot FD \cdot PM \cdot V}{\epsilon \cdot P \cdot L}$$

3
Dónde:

B =Contenido de betacianina o betaxantina.

A =Absorbancia 538 nm para betacianinas y 483 nm para betaxantinas

FD =Factor de dilución.

PM =Peso molecular 550 (g/mol) betacianina y 308 (g/mol) betaxantina.

V =Volumen del extracto (L)

E =Coeficiente de extinción molar 60000 (L/mol.cm) para betacianinas y 48000 (L/ mol cm) para betaxantina

P =Peso de la muestra (g)

L =Anchura de la cubeta del espectrofotómetro (1cm)

22
Para obtener la concentración de betalainas totales se desarrolló la siguiente expresión:

Betalainas totales (mg/g) = Betacianinas (BC) + Betaxantina (BX)

2.9.2. Preparación de extracto de betalainas microencapsuladas de pitahaya y ayrampo

Teniendo en cuenta las tres variables independientes: (A) Conc. de Maltodextrina, (B) Conc. Alginato de sodio y (C) Conc. Cloruro de calcio, se generó 15 tratamientos (véase en la tabla 10). El Diagrama de operaciones se muestra en la figura 9.

La relación que se tomó fue 1:1 (muestra: agentes encapsulantes) lo descrito por Pedroza (2002).

El extracto de betalainas de pitahaya y ayrampo se estabilizó mezclando con maltodextrina y se llevó a secado por aspersión a una temperatura de entrada de 120°C y temperatura de salida 80°C, cada uno por separado donde se obtuvo extracto de betalainas en polvo y luego se pesó para su posterior mezclado.

- Luego se pesó los agentes encapsulantes alginato de sodio y cloruro de calcio.
- En un recipiente se colocó cloruro de calcio y se mezcló con agua destilada y se reservó.
- En un vaso precipitado de 50 ml se agregó alginato de sodio pesado y se mezcló con agua destilada y luego se combinó con extracto de betalainas en polvo y se homogenizó.
- Esta mezcla se llenó a una jeringa de capacidad de 50 ml y luego se procedió a microencapsular por el método de gelificación iónica, goteando esta mezcla a la solución de cloruro de calcio reservado, donde se fue formando las perlas de extracto de betalainas, posterior a ello se filtró y se llevó a secado a una temperatura de 30 °C durante 12 horas.

Figura 8

Proceso de extracción de betalainas de cáscara de pitahaya

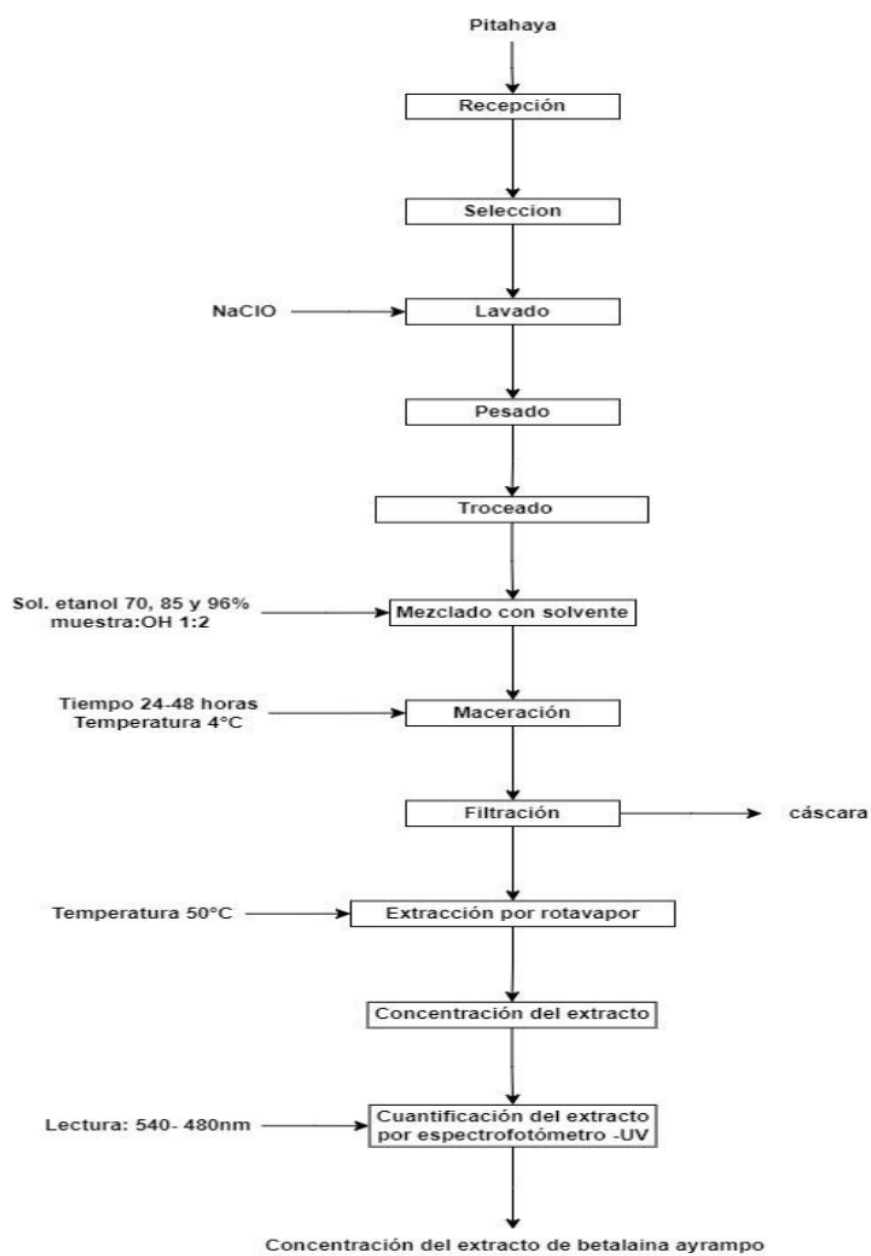


Figura 9

Proceso de extracción de betalaínas de cáscara de ayrampo

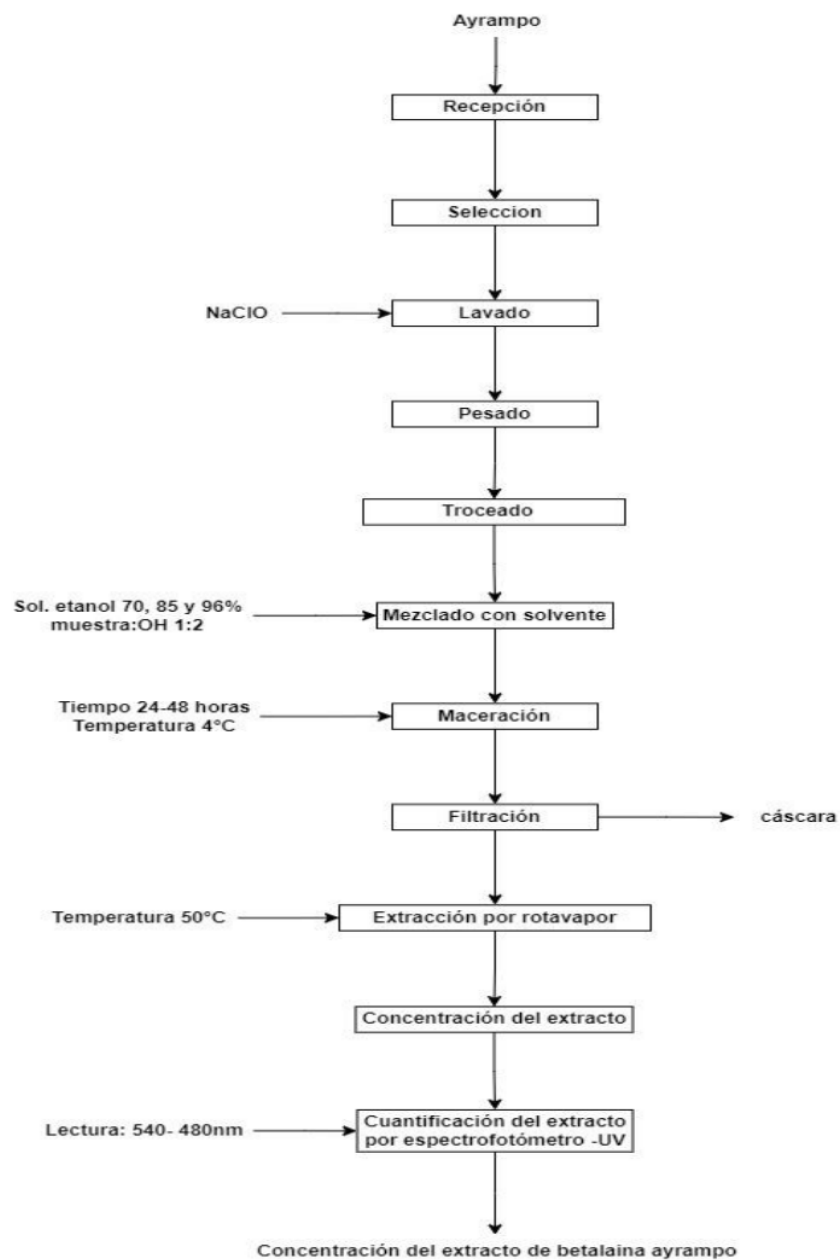


Figura 10

Proceso de microencapsulación de extracto de betalainas de cáscara de pitahaya

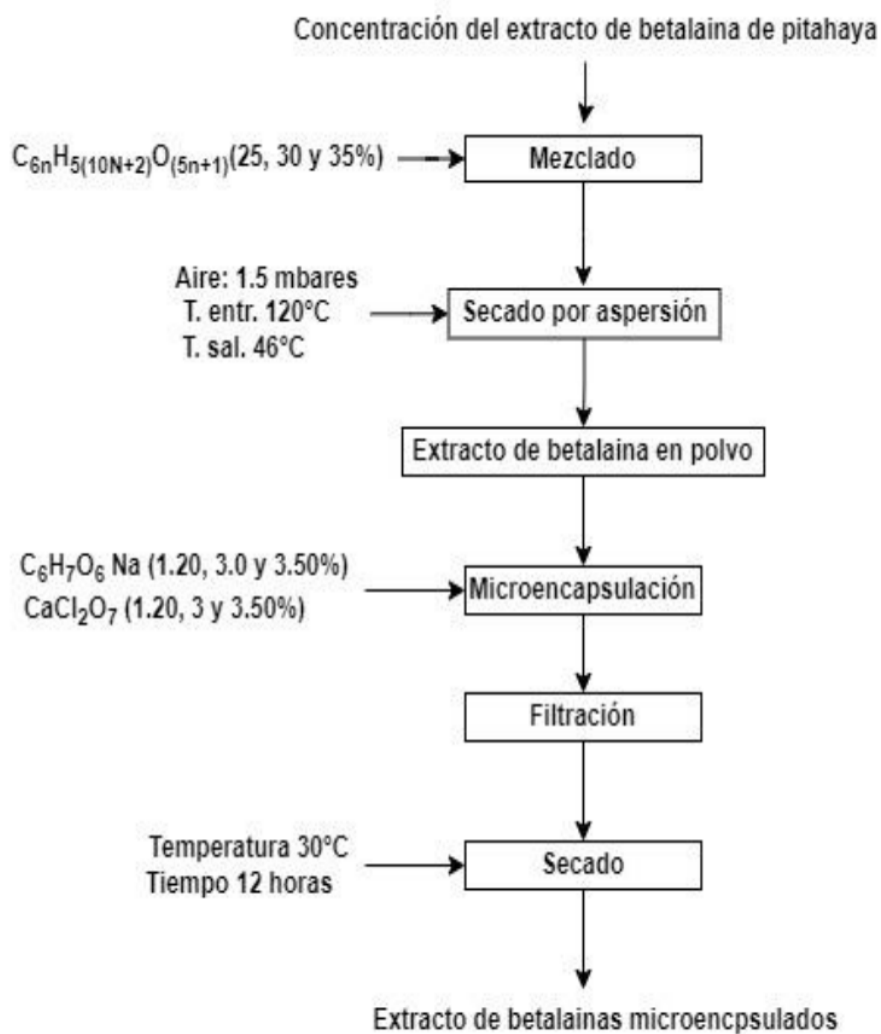
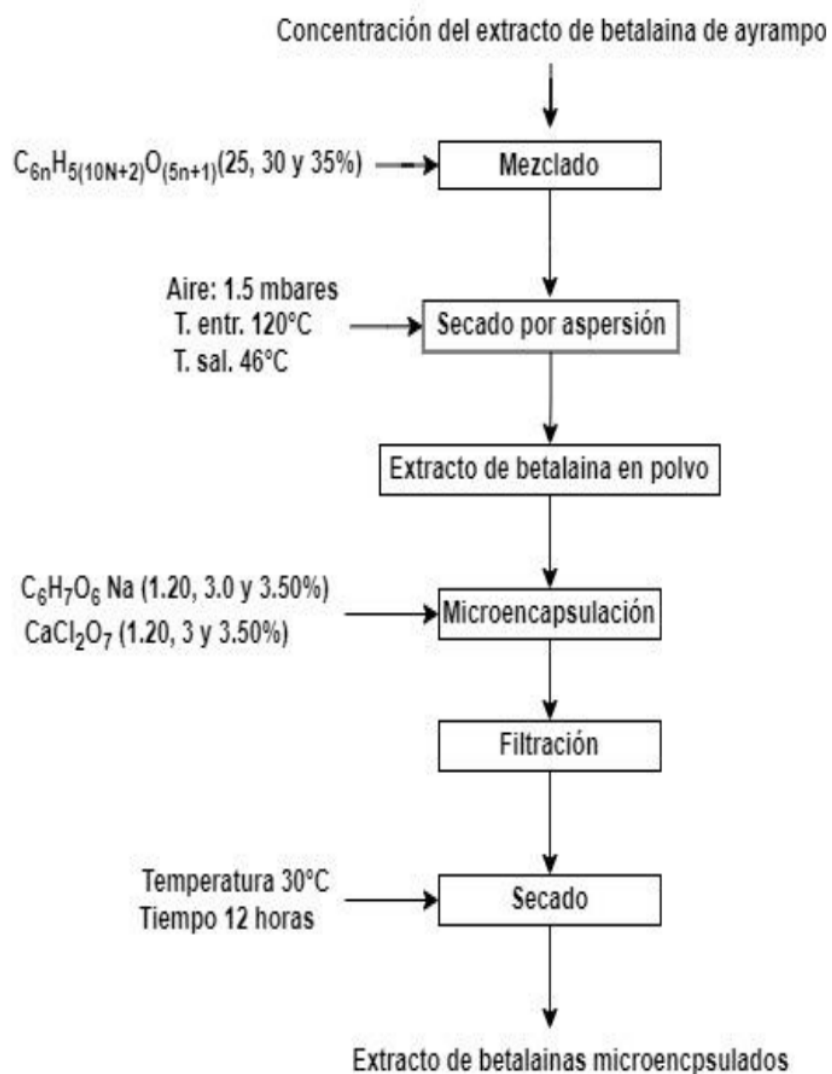


Figura 11

Proceso de microencapsulación de extracto de betalainas de cáscara de ayrampo



Luego se realizó evaluaciones de calidad de los microencapsulados:

- **La solubilidad;** según la metodología se mezcló 1 g de muestra y 100 mL de agua destilada en un vaso precipitado y se mezcló por medio de un agitador magnético durante 5 min. Luego, la solución se colocó en un tubo y se centrifugó a 3000 rpm por 15 minutos. Se transfirió una alícuota de 25 mL del sobrenadante a un vaso precipitado de 50 mL y se llevó a secar en estufa a 105°C hasta peso constante. La solubilidad (%) se calculó por diferencia de peso (Cano-Chauca, Stringheta, Ramos, & Cal-Vidal, 2005)
- **Higroscopicidad,** se pesó 1 g de muestra y se colocó en un recipiente de vidrio hermético con NaCl saturado (Humedad relativa del 75 %), y se almacenó en una cámara de incubación a 25 °C. Después de 1 semana, las muestras se pesó cada 24 h hasta que alcance el equilibrio. La higroscopicidad se expresa como porcentaje (%) o 1 g de humedad adsorbida por 100 g de sólidos secos (g/100 g) (Caparino, y otros, 2012)

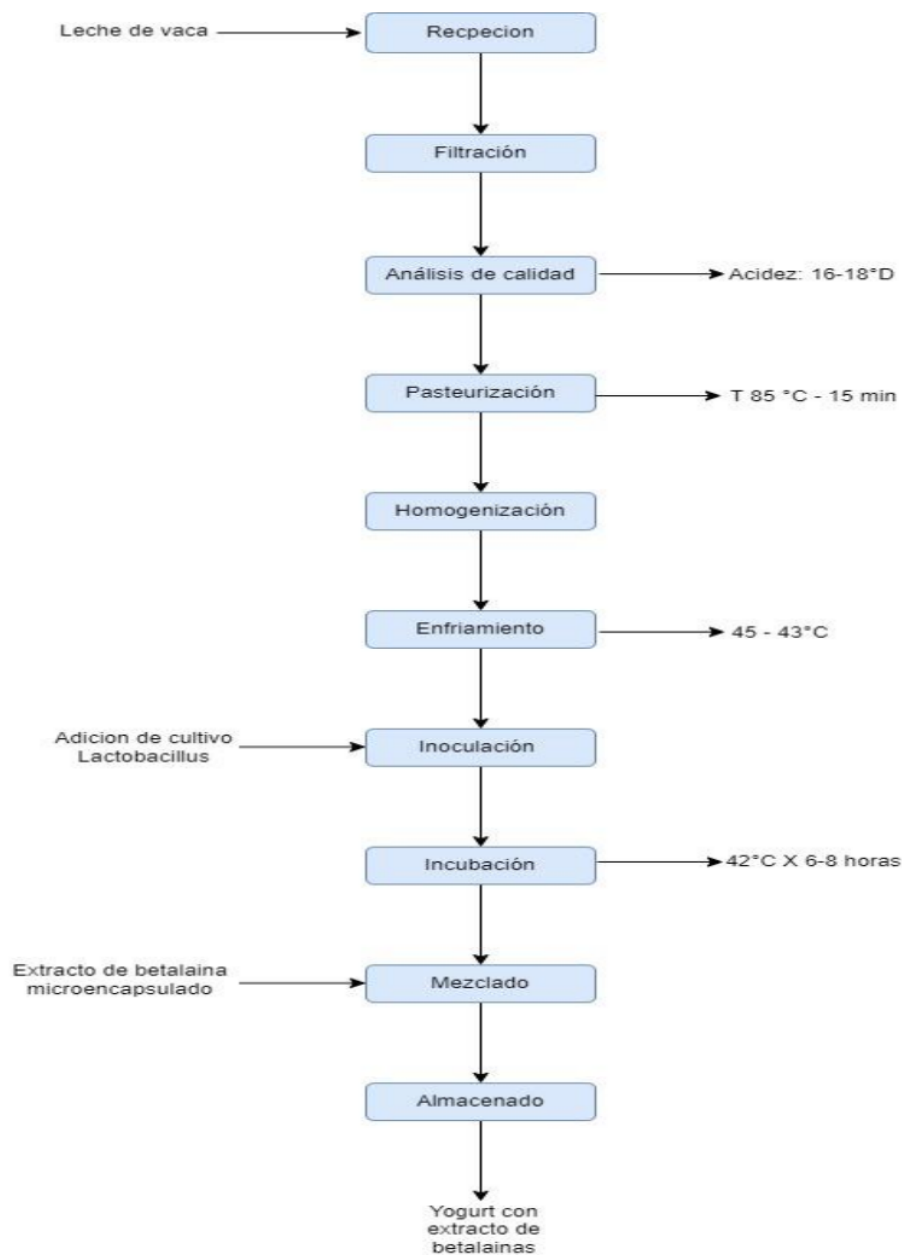
2.9.3. Aplicación de las microcápsulas en yogurt

Los alimentos funcionales son productos alimenticios con propiedades específicas, donde determinados ingredientes tienen un efecto específico y positivo sobre las funciones del organismo, promoviendo efectos fisiológicos o psicológicos que superan su valor nutricional tradicional. Sus efectos adicionales pueden ayudar a mantener la salud y el bienestar o reducir el riesgo de enfermedades (Diplock et al., 1999).

El yogurt se elaboró ² según el flujograma de la figura 10.

Figura 12

Flujograma de elaboración de yogurt con microcápsulas de betalainas.



A. Descripción del proceso de yogurt con microcápsulas de extracto de betalaínas

a. Recepción de materia prima y aditivos.

Para comprobar los estándares de calidad autorizado, se realizó las inspecciones correspondientes a la leche fresca.

b. Filtración

Se realizó el tamizado para eliminar cuerpos extraños.

c. Análisis de calidad de la leche

Se realizó el análisis de calidad de la materia prima (leche), en el que estos incluyen pruebas de alcohol, determinación del pH, acidez, grasas y proteínas.

d. Pasteurización

La leche se pasteurizo durante 15 minutos a una temperatura de 85°C, es donde se destruye los microorganismos patógenos no identificados, además la pasteurización con parámetros adecuados promueve una buena coagulación y reduce la separación del suero.

e. Homogenización

Se Homogenizó la mezcla para reducir el volumen.

f. Enfriamiento

Se enfrió inmediatamente a una temperatura 43-45 °C.

g. Inoculación

Luego del enfriado se agregó el cultivo lactobacillus a la mezcla a una concentración de 1,5 % a una temperatura 45 °C, se agitó suavemente durante 30 segundos.

h. Incubación

Se colocó la muestra en reposo a una temperatura 42-45 °C, en un periodo de tiempo 4-6 horas.

i. Mezclado

Se adicionó el extracto de betalaínas microencapsuladas de ayrampo y pitahaya por separado, a una proporción de 1 g/50mL.

j. Envasado

Después de agregar el extracto de betalaínas microencapsuladas se procedió a envasar en botellas plásticas.

k. Almacenado

Las muestras se almacenaron en un refrigerador a temperatura 4 °C para evitar la pos fermentación en donde crea aroma, textura y consistencia.

2.9.4. Determinación de la capacidad antioxidante in vitro

Luego de elaborar el yogurt, se procedió con los siguientes controles:

- a. **Método de captación del radical DPPH. Método:** Radical 2,2-Difenil-1-picrylhydrazyl (Brand – Williams, 1995)

Fundamento: Mide la capacidad oxidante para estabilizar el radical DPPH+ (radical libre inestable debido a la deslocalización de un electrón desaparecido). Este radical tiene un electrón desapareado y es azul-violeta, decolorándose hasta amarillo pálido por la reacción de una sustancia antioxidante, siendo medida por espectrofotometría a 517 nm.

IC50 (Concentración inhibidora medida) 53. Indica la concentración del antioxidante necesario para neutralizar la mitad de la concentración del radical libre DPPH, por lo tanto, a menor IC50 mayor poder del antioxidante

2.9.5. Evaluación sensorial del yogurt con betalaínas microencapsuladas

Los dos tratamientos T1 (betalaínas microencapsulado de pitahaya) y T2 (betalaínas microencapsulado de ayrampo) fueron sometidos a evaluación sensorial, donde los panelistas se les entregó una hoja de evaluación; con el único objetivo de encontrar diferencias significativas entre las muestras de los diferentes tratamientos de yogurt con microcápsulas de extracto de betalaína de pitahaya y ayrampo, así se escogió el mejor tratamiento que le atraiga al consumidor, enfocándose en los atributos de color, sabor, aroma y aceptabilidad.

Se empleó la escala hedónica de cinco puntos (Ver tabla 7), donde el primer punto indica, muy desagradable y el punto cinco indica muy agradable. Para esta prueba se consideró la presencia de 20 panelistas como habituales consumidores.

En la tabla 7, se aprecia la escala hedónica para la evaluación sensorial de yogurt con betalainas de pitahaya y ayrampo microencapsuladas.

Tabla 7

Escala sensorial para el yogur con extracto de betalainas microencapsuladas.

1 Escala hedónica	Valor
Muy agradable	5
Agradable	4
Indiferente	3
Desagradable	2
Muy desagradable	1

2.9.6. 2 Diseño estadístico de la investigación

El diseño estadístico experimental se realizó en tres etapas:

✓ Primera etapa: Extracción de betalainas

El diseño estadístico experimental que se utilizó es el Diseño Completamente (DCA) con arreglo factorial se compararon los resultados de 3 concentraciones de etanol y 2 tiempos de extracción, el Modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Es el valor de la concentración de betalainas

μ = Efecto de la Media general.

A_i = Efecto de i-ésima nivel del factor de concentración de etanol

B_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor de temperatura de extracción

$(AB)_{ij}$ = Efecto de la interacción en el i-esimo nivel del tiempo de extracción

ε_{ijk} = Efecto del error experimental

El tratamiento del diseño se presenta en la tabla 8, el cual arroja un total de 6 experimentos con 3 repeticiones.

Tabla 8*Tratamientos en estudio*

Código	Tratamientos
T1	70% etanol +24 h
T2	70% etanol + 48 h
T3	85% etanol + 24 h
T4	85% etanol + 48 h
T5	96% etanol + 24 h
T6	96% etanol + 48 h

Los resultados de la concentración de betalaínas, fueron procesados ¹⁵ mediante un análisis de varianza ANVA, y prueba de ordenamiento de tuckey mediante un software estadístico Minitap V.21.

✓ **Segunda etapa de microencapsulación de las betalaínas**

¹ El diseño de investigación empleado es el método de Box-Behnken que fue adaptado para optimizar la formulación del microencapsulados de betalaína de tres factores con tres niveles, que engloba la factorial 2^2 compuesto por 3 (tres) replicados del punto central de los cuales se estudió el efecto de los factores experimentales o variables independientes y se evaluó los factores: (A) Concentración de alginato (B) Concentración de cloruro de calcio (C) Maltodextrina. Los valores de las variables independientes codificadas y no codificadas se exhiben en la tabla 9.

Tabla 9*Niveles de las variables del proceso-Diseño Box-Behnken.*

Factores	Niveles sin codificar		
	-	0	+
Conc. Maltodextrina (A)	25,0	30,00	35,0
Conc. Alginato sódico (B)	1,2	2,35	3,5
Conc. Cloruro de calcio (C)	1,2	2,35	3,5

Las variables de respuesta fueron propiedades físicas de los microencapsulados (E). Los ¹ tratamientos del diseño se presentan en la tabla 9, el cual arrojó un total de 15 experimentos.

Tabla 10

Combinación de los factores en el estudio mediante el diseño Box- Behnken

Tratamientos	A	B	C	A	B	C
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
T1	1	0	-1	30	2,35	2,35
T2	0	-1	1	25	1,20	2,35
T3	-1	-1	0	35	1,20	2,35
T4	1	1	0	25	3,50	2,35
T5	0	-1	-1	35	3,50	2,35
T6	1	-1	0	25	2,35	1,20
T7	0	1	1	35	2,35	1,20
T8	-1	0	0	30	2,35	2,35
T9	-1	1	0	25	2,35	3,50
T10	0	1	-1	35	2,35	3,50
T11	-1	0	-1	30	1,20	1,20
T12	1	0	1	30	3,50	1,20
T13	0	0	1	30	1,20	3,50
T14	0	0	1	30	3,50	3,50
T15	0	0	1	30	2,35	2,35

1

El modelo propuesto se describe mediante el ajuste de los datos experimentales

en la siguiente ecuación polinomial de segundo orden (Ecuación 1):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 \dots\dots\dots (1)$$

Donde sólo se considerará la influencia de los factores significativos ($p < 0,05$).

Y: Variable dependiente o respuesta experimental

(Y1: características sensoriales., Y2: actividad antioxidante)

X: Variables independientes codificadas

(X1 = [Maltodextrina] (%), X2 = [Alginato sódico] (%), X3 = [Cloruro de calcio](%).

B0: Representa la razón o el valor de la respuesta ajustado en el punto central.

Bi: Representa el coeficiente de regresión lineal.

Bii: Representan los coeficientes de regresión cuadrático y

Bij: Representan los coeficientes de regresión de las interacciones.

Para la respuesta (Higroscopicidad y solubilidad) se desarrollaron un modelo polinomial de segundo orden para cada una, empleando regresión lineal múltiple. El diseño experimental próximo con los valores de las respuestas analizados se expone en la tabla 10.

Un alto valor absoluto para los coeficientes Bi, podría indicar una importante contribución de Xi sobre la predicción de Yn; efecto contrario se observará para los pequeños valores absolutos de Bi.

Los resultados de la variable respuesta higroscopicidad y solubilidad fueron sometido a análisis de superficie de respuesta, así como un análisis de varianza, análisis de efectos y optimización de variables. Se utilizó el software estadístico Statgraphics Centurión XVII.

✓ Tercera etapa: Aplicación de betalainas microencapsuladas en yogurt

El yogurt se realizó según el diagrama de flujo 10. Posteriormente se realizó las siguientes evaluaciones:

a. **Aceptabilidad**: una evaluación sensorial que se realizó en el Centro Experimental de Jugos y Conservas de la EPIA., a través de un grupo de 20 personas, con quienes se evaluó seis características para cada tratamiento de yogurt firme, utilizando una escala de 1 a 5, donde 1 corresponde a características no me gusta mucho y a la 5 a características deseadas Me gusta mucho. Siendo el atributo aceptabilidad la característica evaluada.

b. **Actividad antioxidante** (Método DPPH)

En la determinación del porcentaje de la actividad antioxidante (%AA) se utilizó el método de Espin y col. (2010) con algunas modificaciones (Minioti & Georgiou, 2010).

- 10 Se preparó una solución DPPH 0.1 mM en etanol, mezclándose 2 mL de esta solución con una alícuota de 40 mg de aceite o etanol (como blanco) con agitación fuerte, permitiéndole reposar en la oscuridad por una hora para su posterior lectura en el espectrofotómetro marca Synergy HT BioTek a 517 nm, en una microplaca con 200 ul de la muestra.
- El porcentaje de actividad antioxidante se determinó en base a la siguiente ecuación.

$$\%AA \text{ con DPPH} = \frac{Abs_{control} - Abs_{muestra}}{Abs_{control}} \times 100$$

10 Dónde: Abs control es la absorbancia del control (blanco) y Abs muestra es la absorbancia de la muestra a 517 nm.

2.9.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se realizó en tres etapas, la primera etapa para la extracción de betalainas se utilizó el método por extracción de alcohol con tres concentraciones de 70 %, 85 % y 96 % y una temperatura de 4°C, con dos tiempos de 24 h y 48 h.

En seguida se realizó la segunda etapa, para ello se utilizó el método de microencapsulación a partir del extracto de pitahaya y ayraampo, después de obtener microcápsulas se realizó la tercera etapa, donde se aplicó al yogurt producido de acuerdo al flujograma.

Se realizó análisis de laboratorio, los mismos que fueron realizados en laboratorio de análisis de alimentos en base a referencias metodológicas propuestas en trabajos de investigación, normas técnicas y protocolos válidos, en función al diseño experimental propuesto, obteniendo datos cuantitativos para el desarrollo del estudio en investigación. El análisis de evaluación sensorial se tomó a panelistas semientrenados de 20 a 30 años.

2.9.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

En esta investigación se empleó como técnica el análisis cuantitativo de datos mediante formatos para la recolección de datos de las pruebas de laboratorio.

Los datos obtenidos de la variable de estudio fueron sometidos a un análisis a través de la estadística descriptiva siendo tabulados y representados en tablas y figuras de acuerdo a las variables y dimensiones de estudio, además de analizar medidas de tendencia central como media, mediana y moda.

Se realizó el análisis de varianza DCA para la primera etapa y las pruebas de ordenamiento, con ello se identificó la variable respuesta siendo el mejor tratamiento para la extracción de betalainas de pitahaya y ayrampo, para la segunda se realizó el análisis MSR para el estudio de solubilidad e higroscopicidad, la concentración de extracto de betalainas microencapsuladas. y aceptabilidad se aplicará al software Statgraphics Plus Centurion.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Extracción de betalainas de pitahaya

Los resultados de la extracción de betalainas de pitahaya de los seis tratamientos en estudio expresados en concentración de las betalainas se muestran en la tabla 11.

Tabla 11

Extracción de betalainas de la cáscara de pitahaya (mg/g)

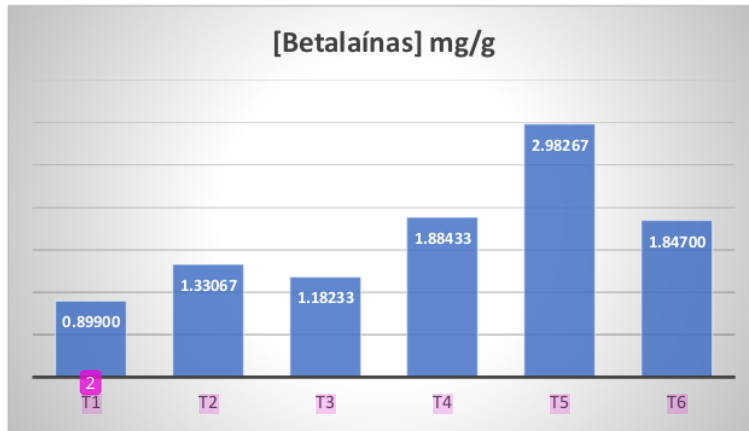
	Tratamientos	[Betalainas] mg/g
T1	Sol- etanol 70%, 24 h	0,8990
T2	Sol-etanol 70%, 48 h	1,3307
T3	Sol-etanol 85%, 24 h	1,1823
T4	Sol-etanol 85%, 48 h	1,8843
T5	Sol-etanol 96%, 24 h	2,9827
T6	Sol-etanol 96%, 48 h	1,8470

De los 6 tratamientos evaluados de la tabla 11, el tratamiento que alcanzó la mayor extracción expresado en concentración de betalainas a partir de la cáscara de pitahaya, fue el tratamiento T5 (Sol. 96% etanol x 24 horas) el cual alcanzó una concentración de 2,983 mg/g de muestra.

¹⁹ (Torres-Valenzuela et al., 2020) en su investigación realizó extracción de compuestos bioactivos de cáscara de pitahaya, para lo cual utilizó como disolvente de extracción etanol a una concentración de 96%, este resultado es semejante al mejor resultado de extracción de nuestra investigación.

Figura 13

Extracción de betalainas en cáscara de pitahaya (mg/ g).



De esta figura 13 podemos ver también que el mejor tratamiento es el T5 obteniendo como resultado de lectura 2,9827 mg/g, continuando el tratamiento T4 1,8843 mg/g, T6 1,847 mg/g, T2 1,3307 mg/g, T3 1,1823 mg/g y T1 0,8990 mg/g, con menor contenido de betalainas de pitahaya.

Del resultado obtenido del mejor tratamiento (T5 2,9827 mg/g) aseguramos que la concentración de betalaina obtenida de la cáscara de pitahaya amarilla resulto mayor a lo que obtuvo (Soto, 2020) en su investigación encapsulación de jugo de pitahaya, la cantidad de betalainas que obtuvo fue 1.658 mg/g en total (betacianina 0,35 mg/g (b.s.) más betaxantinas 1,308 mg/g (b.s.)), este resultado es inferior a nuestros resultados, asimismo (García & Valle, 2012); en su investigación obtuvo 215,04 mg/100g betalainas lo cual se aleja de nuestro resultado obtenido.

Tabla 12

ANVA de la extracción de betalainas en cáscara de pitahaya (mg/ g)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	5	0,000824	0,000165	22655,21	0,000
Error	12	0,000000	0,000000		
Total	17	0,000824			

La tabla 12 nos muestra el análisis de varianza (ANVA) de la extracción de betalaínas de pitahaya, con relación a las variables de estudio (T1) concentración etanol y (T2) tiempo.

El valor obtenido en el ANOVA nos muestra la diferencia de concentraciones de etanol (OH), esto implica que la variable en estudio consigue valores p menores que 0.05, lo cual interfiere directamente sobre la extracción, es decir que existe diferencia significativa entre tratamientos. Siendo necesario una prueba de ordenamiento de tuckey, lo cual se verifica en la tabla 13.

Tabla 13

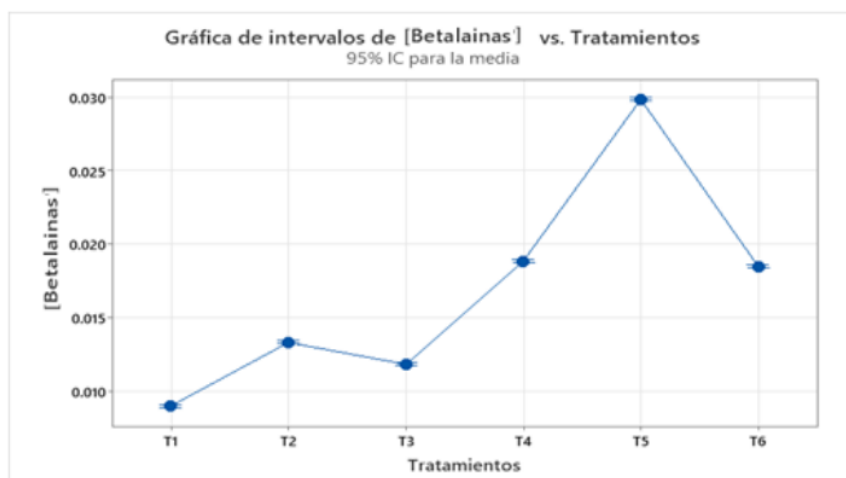
Prueba de tuckey de la extracción de betalaínas en cáscara de pitahaya (mg/g).

Tratamientos	N	Media	Agrupación	
T5	3	2,9827	A	
T4	3	1,8843	B	
T6	3	1,8470	C	
T2	3	1,3307	D	
T3	3	1,1823	E	
T1	3	0,8990	F	

En esta tabla 13 se observa los resultados, donde el tratamiento T5 (2,9827 mg) siendo el mejor resultado de extracción de betalaínas de la cáscara de pitahaya.

Figura 14

Concentración de betalaínas en cáscara de pitahaya según tratamientos



4.1. Extracción de betalaínas de la cáscara de ayrampo

Los resultados de la extracción de betalaínas de ayrampo se aprecian en la tabla 14.

Tabla 14

Extracción de betalaínas en cáscara de ayrampo (mg/ g)

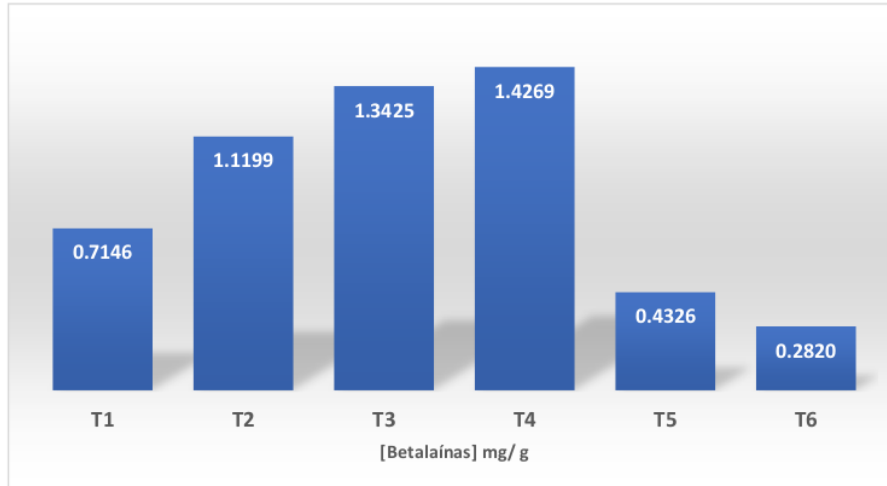
	Tratamientos	[Betalaínas] mg/g
T1	Sol-etanol 70%, 24 h	0,7146
T2	Sol-etanol 70%, 48 h	1,1199
T3	Sol-etanol 85%, 24 h	1,3425
T4	Sol-etanol 85%, 48 h	1,4269
T5	Sol-etanol 96%, 24 h	0,4326
T6	Sol-etanol 96%, 48 h	0,2820

Los 6 tratamientos estimados de la tabla 14, nos muestra el tratamiento con mayor extracción de betalaína resultó el tratamiento T4 a una concentración de etanol 85% durante 48 h de maceración, (Cazorla, 2018) en su investigación obtuvo como mejor concentración etanol al 70 % en 24 h, siendo cercano a nuestro resultado de mejor extracción 85 % de etanol durante 48 h, asimismo (Nayhua, 2017) determinó los parámetros óptimos de extracción en tintes naturales es 75 % de etanol.

Se puede afirmar que los tratamientos con menor extracción se deben a la menor concentración del disolvente (etanol), debido a que interfiere en el grado de extracción ya que el etanol tiene la propiedad de ser polar y apolar lo cual permite extraer moléculas con carga o sin carga de las membranas de la cáscara de ayrampo.

Figura 15

Extracción de betalaínas en cáscara de ayrampo (mg/g).



De esta figura 15, podemos afirmar también que el mejor tratamiento es el T4, continuando el tratamiento T3, T2, T1, T5 y T6 con menor extracción, ya que en la lectura del contenido de betalaínas se obtuvo un resultado en T4 con 1,4269 mg/g, a comparación de los tratamientos T2 y T3 con un resultado de la lectura 1,1199 mg/g y 1,3425 mg/g, asimismo de los tratamientos T1, T5 y T6 aún fue mucho más inferior teniendo un resultado de la lectura 0,7146; 0,4326 y 0,2820 mg/g.

El tratamiento T4 posee una mayor cantidad de betalaínas extraídas, este resultado se compara con (Guzmán, 2021) donde utilizó el método de extracción directo obteniendo 1,686 mg/g y con el método deconvolución 1,443 mg/g de betalaínas de ayrampo, este último es cercano con los resultados obtenidos en nuestra investigación.

Tabla 15

ANVA de la extracción de betalaínas en cáscara de ayrampo (mg/g)

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamientos	5	3,4663	0,6933	282257,26	0,0000
Error	12	0,0000	0,0000		
Total	17	3,4663			

La tabla 15 nos expone el análisis de varianza (ANVA) de extracción de betalaínas de ayrampo, con relación a las variables de estudio, (T1) concentración de etanol y (T2) tiempo.

El valor obtenido en el ANOVA nos muestra la diferencia de concentraciones de etanol, esto indica que esta variable en estudio obtiene valores p menores que 0,05, lo cual interfiere directamente sobre la extracción, es decir que existe diferencia significativa entre tratamientos, para lo cual es indispensable realizar una prueba de ordenamiento de tuckey de lo cual los resultados se estiman en la tabla 16.

Tabla 16

Prueba de tuckey de la extracción de betalaínas en cáscara de ayrampo (mg/g)

Tratamientos	N	Media	Agrupación
T4	3	1,427	A
T3	3	1,342	B
T2	3	1,120	C
T1	3	0,715	D
T5	3	0,433	E
T6	3	0,282	F

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Los resultados de esta tabla 16, se verifica que el tratamiento T4 (1,427 mg/g) es el mejor en la extracción a comparación de los otros tratamientos.

Figura 16

Concentración de betalainas en cáscara de ayrampo según tratamientos



4.1.1. Optimización de la variable solubilidad en betalainas microencapsuladas de cáscara de pitahaya

Los valores obtenidos de la solubilidad en betalainas microencapsulado de cáscara de pitahaya, según los tratamientos aplicados según la tabla 17, se adecuaron a una superficie de respuesta de segundo orden caracterizado por el método de Box-behnken, lo cual accede obtener una ecuación polinómica de segundo orden, siendo los factores de estudio: % maltodextrina, % alginato sódico y % cloruro de calcio.

Estos resultados obtenidos de los tratamientos optimizados con la metodología de box-behnken, se pueden observar en la tabla 17.

Tabla 17

Solubilidad del extracto de betalainas encapsulados de cáscara de pitahaya (%)

Tratamiento	[Maltodextrina]	[Alginato Na]	[CaCl ₂]	Solubilidad (%)
T1	30	2,35	2,35	4,1
T2	25	1,20	2,35	4,8
T3	35	1,20	2,35	3,8
T4	25	3,50	2,35	4,4
T5	35	3,50	2,35	4,3
T6	25	2,35	1,20	4,5
T7	35	2,35	1,20	4,3
T8	30	2,35	2,35	4,4
T9	25	2,35	3,50	4,3
T10	35	2,35	3,50	4,1
T11	30	1,20	1,20	4,1
T12	30	3,50	1,20	3,4
T13	30	1,20	3,50	3,8
T14	30	3,50	3,50	3,8
T15	30	2,35	2,35	3,8

¹ En la figura 17 se analiza el diagrama de superficie de respuesta en función de variables % maltodextrina, % alginato de sodio y % cloruro de calcio, en ella se observa que a medida que se incrementa el porcentaje de alginato el tratamiento T12, nos exhibe que es factible alcanzar a menores valores de solubilidad de 3,4%.

Figura 17

Superficie de respuesta de la solubilidad del extracto de betalainas microencapsulado de cáscara de pitahaya.

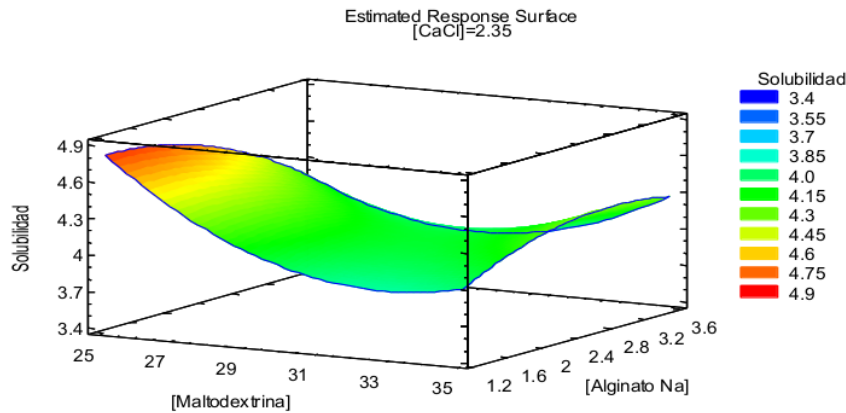
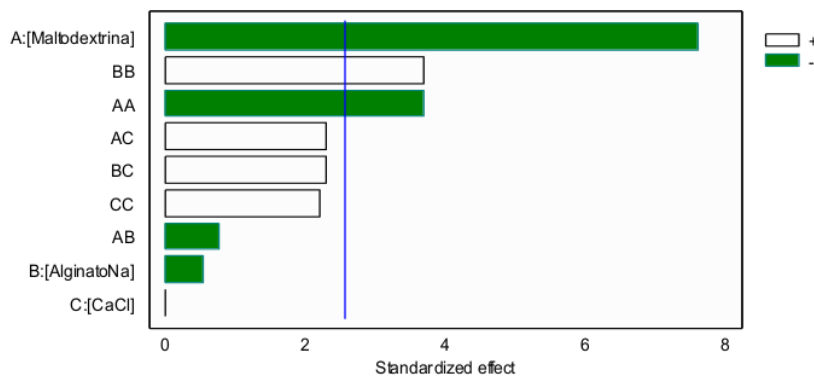


Figura 18

Diagrama de Pareto estandarizado de la solubilidad encapsulado de extracto de Pitahaya (%).



En la figura 18, muestra los efectos que influyen en los factores estudiados por encima del % de solubilidad de las microencapsulas de betalainas de pitahaya, define que el factor A maltodextrina influye negativamente, esto indica que hay mayor solubilidad de las microencapsulas, mientras que factor BB posee un efecto positivo, esto apunta que hay menor solubilidad de las betalainas microencapsuladas.

Figura 19

Efecto de la solubilidad en el extracto de pitahaya encapsulado (%).

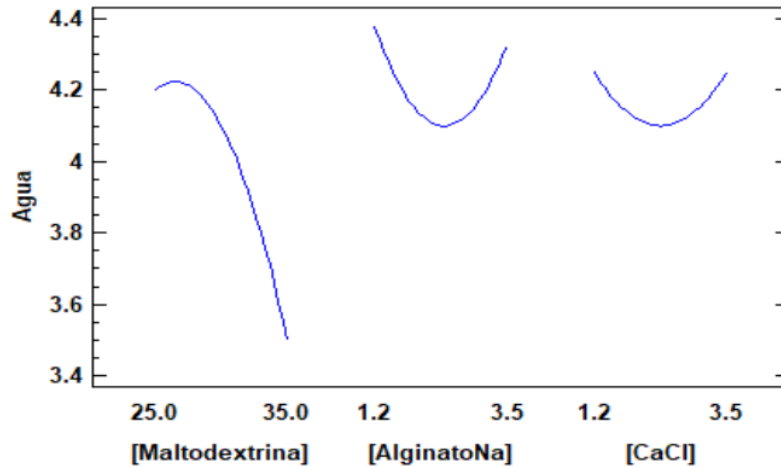


Tabla 18

ANVA de la variable solubilidad del extracto de betalainas encapsulado de cáscara de pitahaya

18 Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:[Maltodextrina]	0,0010	1	0,0010	0,00	0,9716
B:[AlginatoNa]	1,3203	1	1,3203	1,82	0,2349
C:[CaCl ₂]	2,2472	1	2,2472	3,10	0,1385
AA	10,2975	1	10,2975	14,21	0,0130
AB	0,0256	1	0,0256	0,04	0,8583
AC	0,5402	1	0,5402	0,75	0,4273
BB	0,0488	1	0,0488	0,07	0,8055
BC	0,1260	1	0,1260	0,17	0,6939
CC	0,0427	1	0,0427	0,06	0,8179
Total error	3,6229	5	0,7246		
Total (corr.)	18,3876	14			

En esta tabla 18 ANOVA, se examina que ¹ los resultados del % de solubilidad en relación con los factores independientes de estudio (% de Maltodextrina, % de Alginato sódico, % de Cloruro de calcio), donde se observa que A maltodextrina tiene un valor p mayor que

0,05, lo cual indica que la variable tiene un efecto no significativo, pero la variable AA tiene un valor p, menor que 0,05 tiene efecto significativo, lo cual influye en la solubilidad.

La ecuación polinomial de superficie de respuesta del % de solubilidad (% So), prosigue el siguiente modelo ajustado:

$$\text{Solubilidad} = 21.0872 - 1.0295[X1] - 1.0170[X2] + 0.2784[X3] + 0.015[X1]^2 + 0.0391[X1][X2] + 0.0[X1][X3] - 0.1134[X2]^2 + 0.1323[X2][X3] - 0.1323[X3]^2$$

Tabla 19

Valores óptimos del % de solubilidad del extracto de betalainas encapsulado de cáscara de pitahaya

Factor	Inferior	Mayor	Óptimo
X1 (% de maltodextrina)	25,0	35,0	29,75
X2 (% de Alginato de sodio)	1,2	3,5	3,5
X3 (% de Cloruro de calcio)	1,2	3,5	1,20

De acuerdo al resultado alcanzado el % de solubilidad debe contar con 29,75% de maltodextrina, 3,5% de alginato de sodio y 1,2% de cloruro de calcio, para lograr el valor mínimo de solubilidad de agua, obteniendo hasta un 3,56%.

4.1.2. Optimización de la variable solubilidad en betalainas microencapsuladas de cáscara de ayrampo

Los valores obtenidos de la solubilidad en betalainas microencapsulado de ayrampo, según los tratamientos aplicados, se adecuaron a una superficie de respuesta de segundo orden caracterizado por el método de Box-Behnken, lo cual concede ecuaciones polinómicas de segundo orden, siendo los factores de estudio: % maltodextrina, % alginato sódico y % cloruro de calcio.

Los resultados alcanzados de solubilidad de los tratamientos optimizados de microencapsulación de las betalainas obtenidas del extracto de la cáscara de ayrampo, se encuentra en la tabla 20.

Tabla 20

Solubilidad del extracto de betalainas encapsulado de cáscara de ayrampo (%)

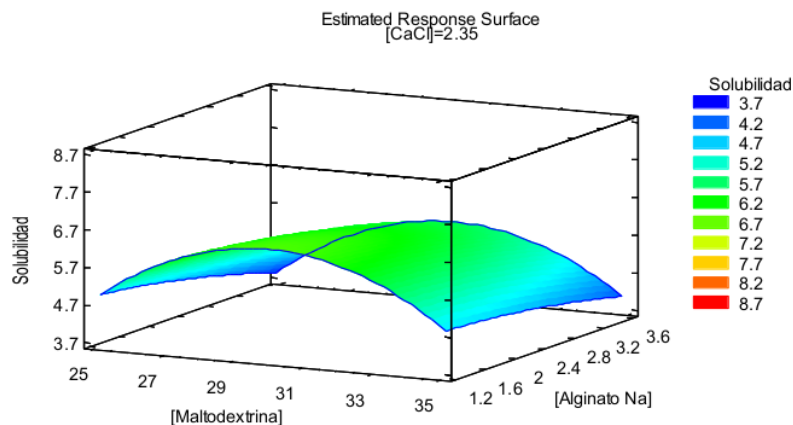
Tratamiento	[Maltodextrina]	[Alginato Na]	[CaCl ₂]	% solubilidad
T1	30	2,35	2,35	6,26
T2	25	1,20	2,35	4,91
T3	35	1,20	2,35	4,49
T4	25	3,50	2,35	4,30
T5	35	3,50	2,35	4,20
T6	25	2,35	1,20	4,81
T7	35	2,35	1,20	4,38
T8	30	2,35	2,35	6,26
T9	25	2,35	3,50	4,28
T10	35	2,35	3,50	5,32
T11	30	1,20	1,20	8,18
T12	30	3,50	1,20	6,65
T13	30	1,20	3,50	5,50
T14	30	3,50	3,50	4,68
T15	30	2,35	2,35	6,26

² De acuerdo a los resultados obtenidos de la tabla 20, se alcanza observar que el tratamiento T5 (35% maltodextrina, 3,50 % ¹³ de alginato de sodio y 2,35 % de cloruro de calcio resulto con menor solubilidad de 4,20 %.

2

Figura 20

Superficie de respuesta de la solubilidad del extracto de betalainas microencapsulado de cáscara de ayrampo.



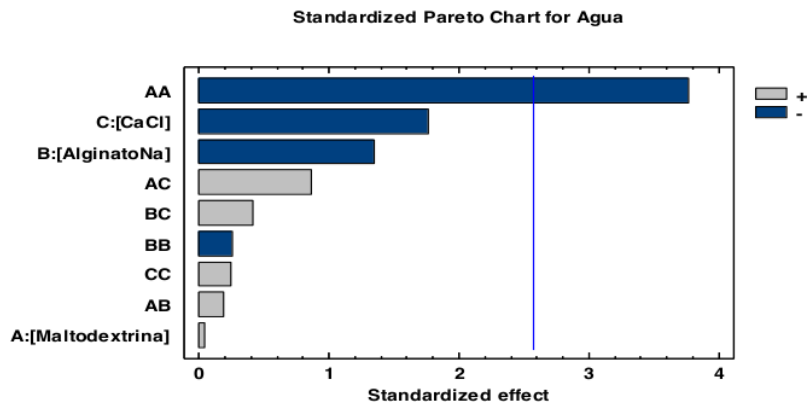
En la figura 20 se aprecia que a medida que se incrementa el porcentaje de maltodextrina la solubilidad de las microcápsulas se incrementa hasta cierta concentración, para luego declinar este efecto, a diferencia del alginato de sodio y del cloruro de calcio (CaCl_2), quienes actúan con sinergismo al proteger las microcápsulas de la solubilidad indicando que a medida que se incrementa su porcentaje de uso, este tiende a reducir la solubilidad, resultando el tratamiento T5 (35 % de $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{A}_5)_n$, 3,50 % de $\text{NaC}_6\text{H}_7\text{O}_6$ y 2,35 % de CaCl_2) como el tratamiento de menor solubilidad (4,20 %).

1

Los efectos de las variables en análisis se muestran en la figura 21.

Figura 21

Diagrama de Pareto estandarizado de la solubilidad encapsulado de extracto de ayrampo (%).



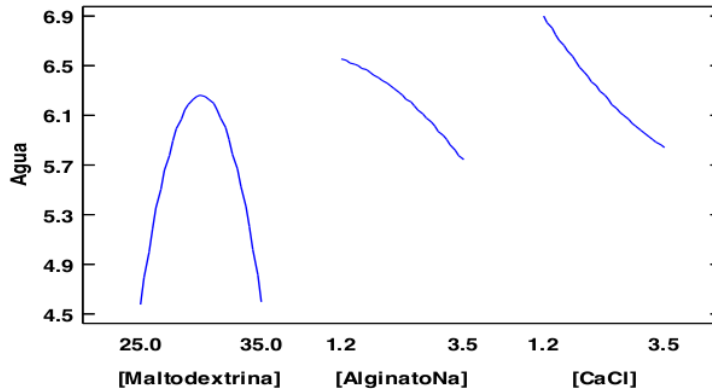
En la figura 21, se muestran los efectos que influyen en la variable respuesta estudiada que es la solubilidad de las microencapsulas de betalaínas de ayrampo, en ella se observa que la variable AA (maltodextrina cuadrática) influye negativamente en la solubilidad, esto indica que a mayor concentración, mayor solubilidad de las microcápsulas, mientras que factor AC (Maltodextrina y Cloruro de calcio) y el factor BC (Alginato de sodio y cloruro de calcio) posee un efecto positivo, es decir actúa sinérgicamente lo cual implica que su efecto es menor solubilidad de las microcápsulas de betalaínas de ayrampo.

Este comportamiento también se observa en la figura 22, donde se aprecia que a mayor concentración de maltodextrina este genera mayor solubilidad de las microcápsulas disminuyendo cuando excede los valores medios; sin embargo, en el caso del alginato de sodio y cloruro de calcio, estos a mayor concentración utilizado menor es la solubilidad de las microcápsulas.

El comportamiento de la maltodextrina en este estudio concuerda con lo indicado por (Azeredo et al., 2007), quienes indican que el uso de maltodextrina en buenas proporciones en la encapsulación aumenta su estabilidad; sin embargo, esta mejora si se utiliza la maltodextrina en sinergismo con la goma arábica, alginato de sodio y cloruro de calcio (Antigo et al., 2017).

Figura 22

Efecto de la solubilidad en el extracto de ayrampo encapsulado (%).



1 Para ver el efecto de significancia de las variables, los resultados se sometieron al análisis de variancia, de lo cual los resultados se pueden observar en la tabla 21.

Tabla 21

ANVA de la variable solubilidad del extracto de betalaínas encapsulado de cáscara de ayrampo

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:[Maltodextrina]	0,0010	1	0,0010	0,00	0,9716
B:[AlginatoNa]	1,3203	1	1,3203	1,82	0,2349
C:[CaCl ₂]	2,2472	1	2,2472	3,10	0,1385
25	10,2975	1	10,2975	14,21	0,0130
AB	0,0256	1	0,0256	0,04	0,8583
AC	0,5402	1	0,5402	0,75	0,4273
BB	0,0488	1	0,0488	0,07	0,8055
BC	0,1260	1	0,1260	0,17	0,6939
CC	0,0427	1	0,0427	0,06	0,8179
Total error	3,6229	5	0,7246		
Total (corr.)	18,3876	14			

1 En esta tabla 21 de ANOVA, se examina que los resultados del % de solubilidad en relación a factores independientes de estudio (% de Maltodextrina, % de Alginato sódico, % de Cloruro de calcio), donde se observa que el factor A (maltodextrina). El facto B (Alginato de sodio) y el factor C (Cloruro de calcio) tienen valores p mayores que 0.05, lo cual indica

que la variable tiene un efecto no significativo en la solubilidad; pero la variable AA (Maltodextrina cuadrática) tiene un valor p, menor que 0,05 por consiguiente tiene efecto significativo, es decir influye en la solubilidad.

¹ La ecuación polinomial de superficie de respuesta del % de solubilidad (% So), sigue el siguiente modelo ajustado:

$$\text{Solubilidad} = -45.82 + 3.83[X1] - 0.68[X2] - 3.08[X3] - 0.07[X1]^2 + 0.014[X1][X2] + 0.06[X1][X3] - 0.09[X2]^2 + 0.13[X2][X3] + 0.08[X3]^2$$

Esta ecuación determino con exactitud la combinación de variables para poder alcanzar una respuesta optimizada del % de solubilidad que se muestra en la tabla 22.

Tabla 22

Valores óptimos para la maximización del % de solubilidad.

¹ Factor	Inferior	Mayor	Óptimo
X1 (% de maltodextrina)	25.0	35.0	25.00
X2 (% de Alginato de sodio)	1.2	3.5	3.50
X3 (% de Cloruro de calcio)	1.2	3.5	3.47

Por lo tanto, los resultados obtenidos del % de solubilidad debe contar con 25.00% ² de maltodextrina, 3.50% de alginato de sodio y 3.47% de cloruro de calcio. para conseguir el valor óptimo de retención de agua obteniendo hasta un 3.37%.

Tabla 23

Valores comparativos de solubilidad de betalaínas microencapsuladas de pitahaya y de ayrampo

Tratamiento	[Maltodextrina]	[AlginatoNa]	[CaCl ₂]	% solubilidad	
				Pitahaya	Ayrampo
²⁴ T1	30	2.35	2.35	4,1	6.26
T2	25	1.20	2.35	4,8	4.91
T3	35	1.20	2.35	3,8	4.49
T4	25	3.50	2.35	4,4	4.30
T5	35	3.50	2.35	4,3	4.20
T6	25	2.35	1.20	4,5	4.81
T7	35	2.35	1.20	4,3	4.38
T8	30	2.35	2.35	4,4	6.26
T9	25	2.35	3.50	4,3	4.28
T10	35	2.35	3.50	4,1	5.32
T11	30	1.20	1.20	4,1	8.18
T12	30	3.50	1.20	3,4	6.65
T13	30	1.20	3.50	3,8	5.50
T14	30	3.50	3.50	3,8	4.68
T15	30	2.35	2.35	3,8	6.26

De acuerdo a los resultados de solubilidad en las microcápsulas de betalaínas. podemos indicar que en el valor de ayrampo alcanzó mayores valores (8.18%), mientras que las microcápsulas de los extractos de pitahaya lograron menores valores (4,80%), esto se puede fundamentar debido al mayor contenido de betacianinas de color púrpura, el cual presenta una mayor solubilidad en comparación con la betaxantinas de color mayor crema a amarillo (Alvares & Veliz, 2015).

4.1.3. Evaluación de la higroscopicidad de las betalaínas encapsulados de cáscara de pitahaya

Los resultados de la higroscopicidad del extracto de betalaínas microencapsuladas a partir de cáscara de pitahaya, se observa en la tabla 24.

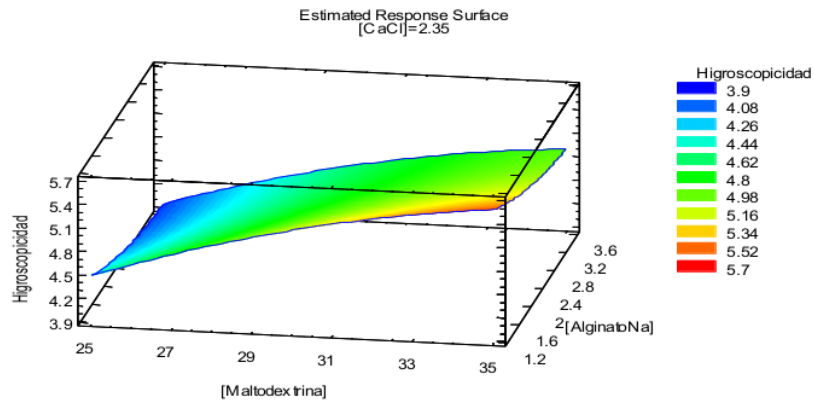
Tabla 24*Higroscopicidad del extracto de betalainas encapsuladas de cáscara de pitahaya (%)*

Tratamiento	[Maltodextrina]	[AlginatoNa]	[CaCl ₂]	% higroscopicidad
T1	30	2,35	2,35	5,49
T2	25	1,20	2,35	5,42
T3	35	1,20	2,35	4,23
T4	25	3,50	2,35	4,41
T5	35	3,50	2,35	5,23
T6	25	2,35	1,20	4,56
T7	35	2,35	1,20	4,12
T8	30	2,35	2,35	5,49
T9	25	2,35	3,50	5,48
T10	35	2,35	3,50	4,60
T11	30	1,20	1,20	5,49
T12	30	3,50	1,20	4,20
T13	30	1,20	3,50	4,81
T14	30	3,50	3,50	4,61
T15	30	2,35	2,35	5,49

En la tabla 24, se observa los resultados de la higroscopicidad del microencapsulado del extracto de betalainas de cáscara de pitahaya, en ella se muestra que el tratamiento T7 (35 % de maltodextrina, 2,35 % de Alginato de sodio y 1,20 % de cloruro de calcio) resulto con el menor porcentaje de higroscopicidad (4,12 %). El comportamiento de las tres variables se observar en la figura 21, en el modelo de superficie de respuesta.

Figura 23

Superficie de respuesta de la higroscopicidad del extracto de betalainas de cáscara de pitahaya encapsulada.

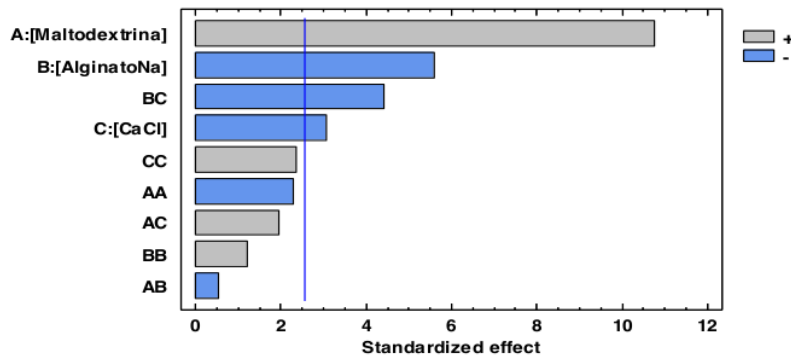


En esta figura 23, el diagrama de superficie de respuesta de esta investigación se analizó que las microcápsulas se pueden mostrar una variación en su higroscopicidad, esto se debe a la estructura de las mismas, especialmente cuando se utiliza menores concentraciones de maltodextrina, en nuestra investigación se obtuvo 4,12 % de higroscopicidad con el tratamiento T7.

¹ Los efectos de las variables en estudio se muestran en la figura 24.

Figura 24

Diagrama de Pareto estandarizado de la higroscopicidad del extracto de betalaínas de cáscara de Pitahaya encapsulada (%).

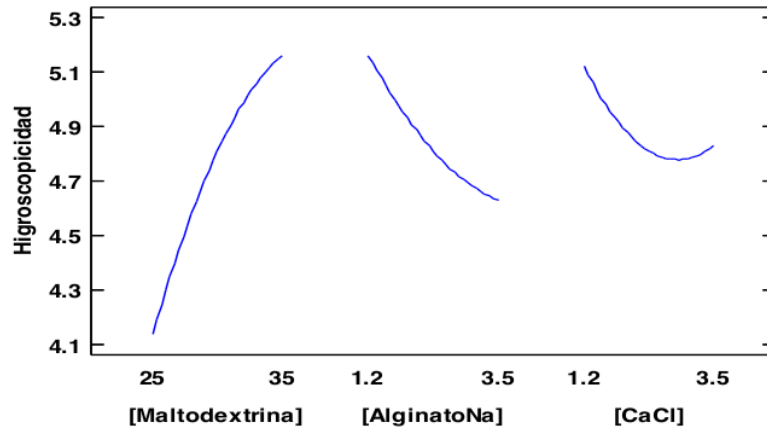


En la figura 24, se observa los efectos que aplican estos factores estudiados sobre la higroscopicidad de las betalaínas microencapsuladas, factor A (% Maltodextrina) afecta en forma negativamente en la higroscopicidad de betalaínas microencapsuladas, mientras que el factor B (% Alginato) y el factor BC (% Alginato y CaCl_2) influye de forma positiva en la higroscopicidad, es decir protegen a la microcápsulas de la adsorción de la humedad del medio, y su influencia es muy considerable en las betalaínas microencapsuladas.

El comportamiento de los efectos de las variables también se puede observar en la figura 25, conjeturando que a mayor % de maltodextrinas mayor higroscopicidad, generando lo contrario los factores B (% Alginato) y C (CaCl_2), quienes se puede considerar que, a mayores porcentajes, los valores porcentuales de higroscopicidad se reducen.

Figura 25

Efecto de la higroscopicidad en el extracto de betalainas de cáscara de pitahaya encapsulada (%).



Para ver el grado de significancia, los resultados de higroscopicidad obtenidos de los tratamientos en estudio lograron ser sometidos a un análisis de variancia, cuyos resultados se puede apreciar en la tabla 25.

Tabla 25

ANVA de la variable higroscopicidad del extracto de betalainas de cáscara de pitahaya encapsulada

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	P-Value
A:[Maltodextrina]	2,08080	1	2,0808	0,0001
B:[AlginatoNa]	0,56180	1	0,5618	0,0587
C:[CaCl ₂]	0,16820	1	0,1682	0,0682
AA	0,09452	1	0,0945	0,0705
AB	0,00490	1	0,0049	0,6241
AC	0,06760	1	0,0676	0,1104
BB	0,02668	1	0,0267	0,2778
BC	0,34810	1	0,3481	0,0070
CC	0,10052	1	0,1005	0,0645
Total error	0,09000	5	0,0180	
Total (corr.)	3,55944	14		

En esta tabla 25 ANOVA, se examina que ¹ los resultados del % de higroscopicidad en relación a los factores independientes de estudio X1: (% de Maltodextrina), X2(% de Alginato sódico) y X3(% de Cloruro de calcio), donde se observa que A maltodextrina tiene un valor p menor que 0.05, lo cual indica que la ² variable tiene un efecto significativo es decir influye en la higroscopicidad de las microcápsulas de betalainas de cáscara de pitahaya, pero la variable AA tiene un valor p, mayor que 0,05 y tiene un efecto no significativo, lo cual no influye en la higroscopicidad.

² La ecuación polinomial de superficie de respuesta del % de higroscopicidad (%H), sigue el siguiente modelo ajustado:

$$\%H = -2.20 + 0.45*[X1] + 0.17*[X2] - 0.87*[X3] - 0.01*[X1]^2 - 0.01*[X1]*[X2] + 0.02*[X1]*[X3] + 0.06*[X2]^2 - 0.22*[X2]*[X3] + 0.12*[X3]^2$$

²⁵ Esta ecuación calcula con exactitud la combinación de variables pudiendo alcanzar una respuesta optimizada del % de higroscopicidad que ¹ se muestra en la tabla 26.

Tabla 26

Valores óptimos del % de higroscopicidad.

Factor	Inferior	Mayor	Óptimo
¹ X1 (% de maltodextrina)	25.0	35.0	25.36
X2 (% de Alginato de sodio)	1.2	3.5	3.50
X3 (% de Cloruro de calcio)	1.2	3.5	3.50

De acuerdo a los resultados alcanzados el % de higroscopicidad resulta con 25.36% ¹ de maltodextrina. 3.50 % de alginato de sodio y 3.50 % de cloruro de calcio. para lograr el valor óptimo de retención de agua. alcanzando esta un 3.66 %.

4.1.4. Evaluación de la higroscopicidad de las betalainas encapsulados de cáscara de ayrampo

La evaluación de la higroscopicidad de las betalainas encapsuladas proveniente de la cáscara de ayrampo, se muestran en la tabla 27.

Tabla 27

Higroscopicidad del extracto de betalaínas encapsulado de cáscara de ayrampo (%).

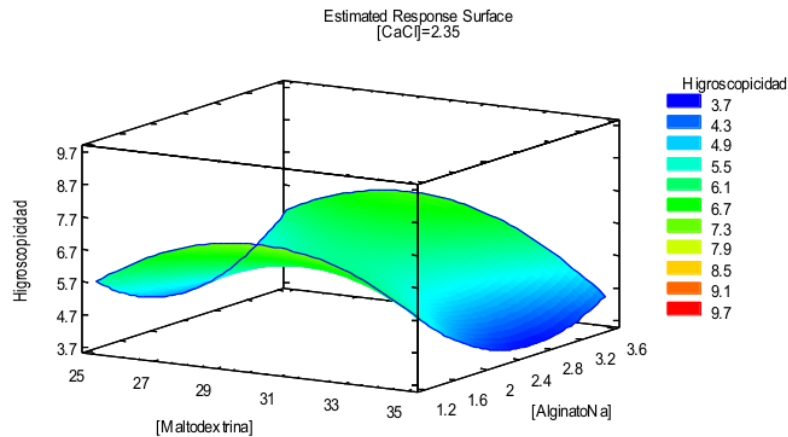
Tratamiento	[Maltodextrina]	[Alginato Na]	[CaCl ₂]	% higroscopicidad
T1	30	2,35	2,35	5,82
T2	25	1,20	2,35	5,71
T3	35	1,20	2,35	5,99
T4	25	3,50	2,35	5,60
T5	35	3,50	2,35	4,29
T6	25	2,35	1,20	5,05
T7	35	2,35	1,20	4,32
T8	30	2,35	2,35	5,82
T9	25	2,35	3,50	5,91
T10	35	2,35	3,50	4,97
T11	30	1,20	1,20	9,22
T12	30	3,50	1,20	6,94
T13	30	1,20	3,50	7,15
T14	30	3,50	3,50	8,55
T15	30	2,35	2,35	5,82

En la tabla 27, las variables % maltodextrina. % alginato de sodio y % cloruro de calcio fueron evaluadas experimentalmente, determinando que el tratamiento T5 (35 % maltodextrina, 3.50 % ¹³ de alginato de sodio y 2.35 % de cloruro de calcio) resulto con el menor porcentaje de higroscopicidad (4.29 %).

² En la figura 26 se observa en comportamiento de las tres variables en la superficie de respuesta.

Figura 26

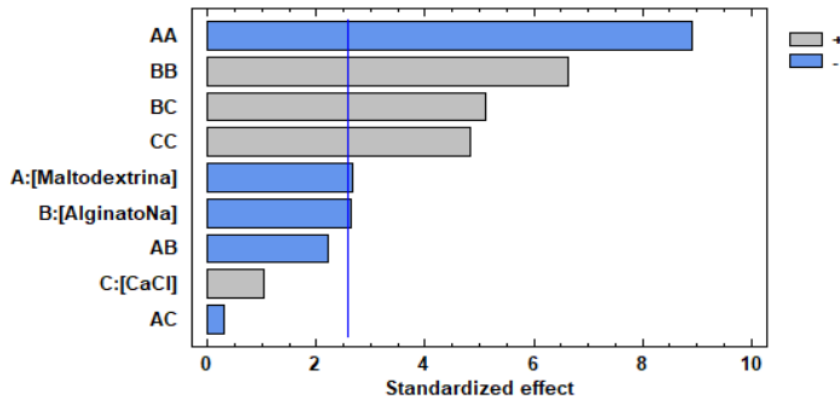
Superficie de respuesta de la higroscopicidad del extracto de betalainas microencapsulado de cáscara de ayrampo.



En esta figura 26, se verifica el diagrama de superficie de respuesta, en ella se puede mostrar una variación en la higroscopicidad, este comportamiento se debe básicamente a la presencia de maltodextrina que a medida que se incrementa su tasa porcentual, este incrementa la higroscopicidad, caso contrario a lo que sucede con el alginato de sodio y el cloruro de calcio. Ante este escenario se debe analizar los efectos de las variables contra la higroscopicidad, este comportamiento se contempla en la figura 27.

Figura 27

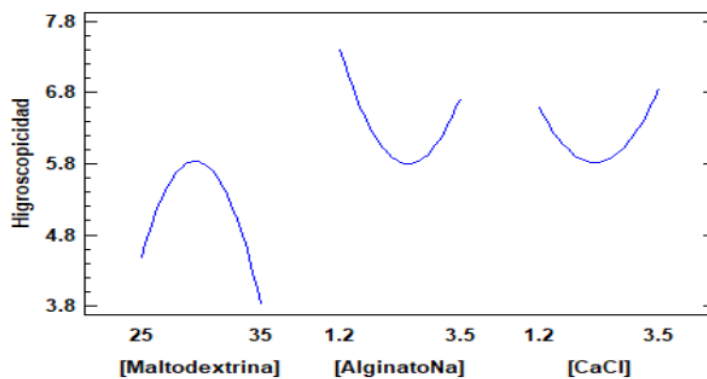
Diagrama de Pareto estandarizado de la higroscopicidad del encapsulado de extracto de ayrampo (%).



En esta figura 27, se observa los efectos que aplican estos factores estudiados sobre la higroscopicidad de las betalaínas microencapsuladas, factor AA (% Maltodextrina) afecta en forma negativa en la higroscopicidad de betalaínas microencapsuladas, por tanto, que el factor BB (% Alginato) implica de forma positiva en la higroscopicidad, su dominio es muy considerable en las betalaína microencapsuladas.

Figura 28

Efecto de la higroscopicidad del extracto de ayrampo encapsulado (%).



Para ver el grado de significancia, los resultados de higroscopicidad obtenidos de los tratamientos en estudio los cuales son sometidos a un análisis de variancia, de lo cual el resultado se puede apreciar en la tabla 28.

Tabla 28

ANVA de la variable higroscopicidad del extracto de betalainas de cáscara de ayrampo encapsulada

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
A:[Maltodextrina]	0,91125	1	0,91125	7,07	0,0449
B:[AlginatoNa]	0,90451	1	0,90451	7,02	0,0455
C:[CaCl ₂]	0,13781	1	0,13781	1,07	0,3485
AA	10,20520	1	10,20520	79,18	0,0003
AB	0,63203	1	0,63203	4,90	0,0777
AC	0,01103	1	0,01103	0,09	0,7817
BB	5,67729	1	5,67729	44,05	0,0012
BC	3,38560	1	3,38560	26,27	0,0037
CC	3,02409	1	3,02409	23,46	0,0047
Total error	0,64443	5	0,12889		
Total (corr.)	27,04670	14			

En esta tabla 28 ANOVA, se examina que los resultados del % de higroscopicidad con relación a los factores independientes de estudio X1: (% de Maltodextrina), X2(% de Alginato sódico) y X3(% de Cloruro de calcio), donde se observa que A maltodextrina tiene un valor p menor que 0,05, lo cual indica que la variable tiene un efecto significativo es decir influye en la higroscopicidad de las microcápsulas de betalainas de cáscara de pitahaya, pero la variable AA tiene un valor p, mayor que 0,05 y tiene un efecto no significativo, lo cual no influye en la higroscopicidad.

La ecuación polinomial de superficie de respuesta del % de higroscopicidad (% H), continua el siguiente modelo ajustado:

$$\%H = -44.30 + 4.11[X1] - 4.26[X2] - 4.46[X3] - 0.07[X2]^2 - 0.07[X1][X2] - 0.01[X1][X3] + 0.94[X2]^2 + 0.69[X2][X3] + 0.68[X3]^2$$

Esta ecuación determina exacto la combinación de variables para obtener una respuesta optimizada del % de higroscopicidad lo cual se muestra en la tabla 29.

Tabla 29

Valores óptimos del % de higroscopicidad

Factor	Inferior	Mayor	Óptimo
X1 (% de maltodextrina)	25.0	35.0	35.00
X2 (% de Alginato de sodio)	1.2	3.5	2.79
X3 (% de Cloruro de calcio)	1.2	3.5	2.07

De acuerdo a los resultados adquiridos el % de higroscopicidad debe alcanzar con 35.00% de maltodextrina, 2.79% de alginato de sodio y 2.07% de cloruro de calcio. para lograr el valor óptimo de retención de agua. alcanzando esta un 3.67%.

En la tabla 30 se muestra los valores de higroscopicidad de las microcápsulas de betalainas de pitahaya y ayrampo, en ella se aprecia que el porcentaje de higroscopicidad varia, siendo los porcentajes de higroscopicidad del ayrampo mayores en comparación con la pitahaya.

Tabla 30

Valores comparativos de higroscopicidad de betalaínas microencapsuladas de pitahaya y de ayrampo

Tratamiento	[Maltodextrina]	[AlginatoNa]	[CaCl ₂]	% higroscopicidad	
				Pitahaya	Ayrampo
24 T1	30	2,35	2,35	5,49	5,82
T2	25	1,20	2,35	5,42	5,71
T3	35	1,20	2,35	4,23	5,99
T4	25	3,50	2,35	4,41	5,60
T5	35	3,50	2,35	5,23	4,29
T6	25	2,35	1,20	4,56	5,05
T7	35	2,35	1,20	4,12	4,32
T8	30	2,35	2,35	5,49	5,82
T9	25	2,35	3,50	5,48	5,91
T10	35	2,35	3,50	4,60	4,97
T11	30	1,20	1,20	5,49	9,22
T12	30	3,50	1,20	4,20	6,94
T13	30	1,20	3,50	4,81	7,15
T14	30	3,50	3,50	4,61	8,55
T15	30	2,35	2,35	5,49	5,82

En el caso de las microcápsulas de betalaínas de ayrampo el porcentaje de higroscopicidad es mayor probablemente al mayor contenido de betacianinas de color púrpura, el cual presenta una mayor higroscopicidad en comparación con la betaxantinas de color mayor crema a amarillo (Alvares & Veliz, 2015).

4.2. Optimización del extracto de betalaínas de la cáscara de pitahaya y de ayrampo encapsulado

Las concentraciones de agentes encapsulantes utilizados es maltodextrina (25, 30 y 35%), alginato de sodio (1,20; 2,35 y 3,5 %) y cloruro de calcio (1,20; 2,35; 3,5 %).

Villacresis (2023), en su investigación utilizó como agente encapsulante maltodextrina 30%, del mismo modo (Quicaño & Moreno, 2023), utilizó maltodextrina 30%, a comparación con nuestros resultados obtenidos de agente encapsulante 35% maltodextrina hay una diferencia, (Santos Cubas & Santos Cubas, 2021) mencionó que los recubrimientos se suelen utilizar en combinación con todos los materiales, asimismo menciona que la baja concentración de maltodextrina 25 % y 30 %, hace que sea porosa y tiende a ser muy soluble.

Para betalaínas microencapsuladas de pitahaya, la concentración de alginato de sodio el mejor resultado es 3.50%, cloruro de calcio el mejor resultado es 1,20 % para la prueba de solubilidad, mientras para la prueba de higroscopicidad la concentración de alginato de sodio es 2,35% y cloruro de calcio es 1.20%, asimismo para las betalaínas de ayrampo microencapsulado la concentración de alginato de sodio el mejor resultado fue 3,5 % y la concentración de cloruro de calcio el resultado es 2,35 %, tanto para la prueba de solubilidad e higroscopicidad, estos resultados se contrasta con (Vasquez, 2019) en su investigación utilizó agentes encapsulantes, donde los mejores condiciones de uso fueron alginato de sodio al 1 % y 4 % de cloruro de calcio. Quicaño y Moreno (2023) utilizaron alginato de sodio 2 % y cloruro de calcio al 1 %, (Villacresis, 2023), alginato de sodio 1 % y cloruro de calcio al 1 %. Contreras y Torres (2022), evaluaron la eficiencia de encapsulación mediante por gelificación iónica, donde la que tiene mayor eficiente de encapsulación es alginato del 2% estos resultados son cercanos a nuestros datos.

La función del alginato en una mezcla del extracto más la maltodextrina, es recubrir formando esferas al contacto con una solución de iones de calcio (Ca^{2+}), en este punto es donde ocurre una metamorfosis del sólido a gel (Lupo et al., 2012).

En la prueba de la calidad de betalaínas microencapsuladas, se pudo observar que las concentraciones de agentes microencapsulantes, interviene en cada tratamiento, para lo cual se realizó una combinación de cada agente en distintas concentraciones, de estas concentraciones se obtuvo como resultado en la solubilidad de betalaínas de pitahaya microencapsulado 3,45% y la higroscopicidad 4,12% del mismo modo la solubilidad de betalaínas de ayrampo microencapsulado es 4,20% e higroscopicidad es 4,29%.

Villacresis (2023), en su prueba de calidad de las microencapsulas tuvo como resultado la solubilidad 3,02%, higroscopicidad 6,9% y (Quicaño & Moreno, 2023) tuvo la solubilidad 3,10% e higroscopicidad 4,33%, estos resultados son cercanos a nuestros datos obtenidos en la prueba de calidad de las microencapsulas. Santos Cubas y Santos Cubas (2021) en su investigación valoración del procedimiento de la microencapsulación, de la mora convertida en jugo usando un aditivo como la goma de algarrobo, la solubilidad 81% e higroscopicidad 18%, lo cual es muy lejano a nuestros resultados, sin embargo (Vidaurre et al., 2017); menciona que la prueba demuestra que cuando el microencapsulado es amorfo y la solubilidad es mayor por lo cual la disolución es más acelerada y lo contrario ocurre cuando están en forma cristalina la solubilidad es menor. Jarrín (2021), indica que la higroscopicidad de un material tiende a absorber o liberar en el aire, donde ocurre un equilibrio de humedad en el ambiente interior al exponer a un cambio, de acuerdo a estos

estudios y el resultado de la prueba podemos afirmar que las pruebas realizadas se acercaron a nuestros datos.

4.3. Aplicación de betalaínas microencapsuladas en yogur

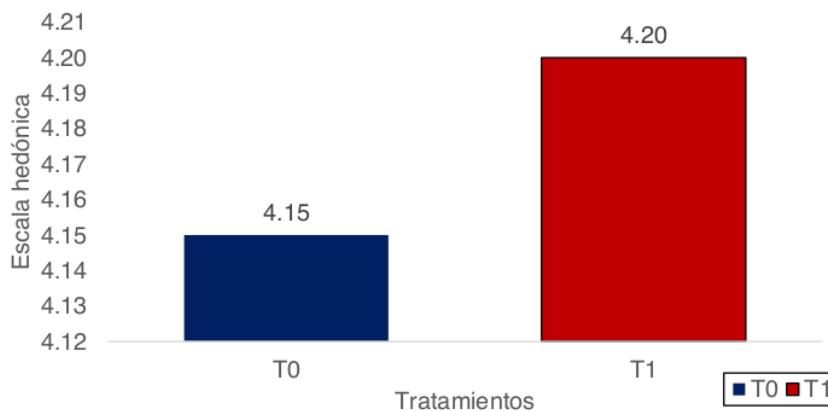
Luego de haber determinado el mejor tratamiento de la microencapsulación de las betalaínas obtenidas a partir extractos de pitahaya amarilla y ayrampo, se procedió a elaborar el yogur en el cual se incorporó las microcápsulas de betalaínas, posteriormente los resultados obtenidos se observan en los siguientes acápite.

4.3.1. Evaluación sensorial

¹ En el análisis sensorial de la aceptabilidad del yogurt se empleó a un grupo de 20 panelistas semi entrenados y elegidas al azar, con rango de edades de 20 a 30 años. Los resultados de la evaluación de aceptabilidad del yogurt con betalaínas microencapsuladas de pitahaya y ayrampo se pueden observar en la figura 29 e 30 y en el anexo 12.

Figura 29

Valores de aceptabilidad en yogurt con microcápsulas de betalaínas de cáscara de pitahaya.



En la figura 29 se aprecia que al comparar el testigo (T0) y el tratamiento (T1), el tratamiento T1 alcanzó mayor aceptabilidad con un valor de 4,20. Por consiguiente, podemos afirmar que el yogurt con microcápsulas de betalaínas de cáscara de pitahaya tiene buena aceptación entre los panelistas semientrenados. Para verificar el grado de significancia se realizó el ANVA, cuyos resultados se muestran en la tabla 31

Tabla 31

ANVA de la aceptabilidad del yogurt con microcápsulas de betalainas de cáscara de pitahaya

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	1	0,025	0,025	0,09	0,772
Bloque	19	4,275	0,225	0,78	0,702
Error	19	5,475	0,288		
Total	39	9,775			

En la tabla 31, se visualiza que el análisis de varianza (ANVA) de la aceptabilidad del yogurt con betalainas de pitahaya microencapsulado, en correlación a las variables de estudio de las concentraciones de agentes microencapsulado, los resultados adquiridos de ANOVA se visualiza que la variable de aceptabilidad, alcanzó valores mayores a ($p > 0,05$), esto indica que cada una de las variables posee un efecto no significativo a la variable respuesta (Aceptabilidad), para ello es imprescindible una prueba de ordenamiento de tuckey, esto se observa en la tabla 32.

Tabla 32

Comparación de tuckey en yogurt con betalainas de pitahaya encapsuladas.

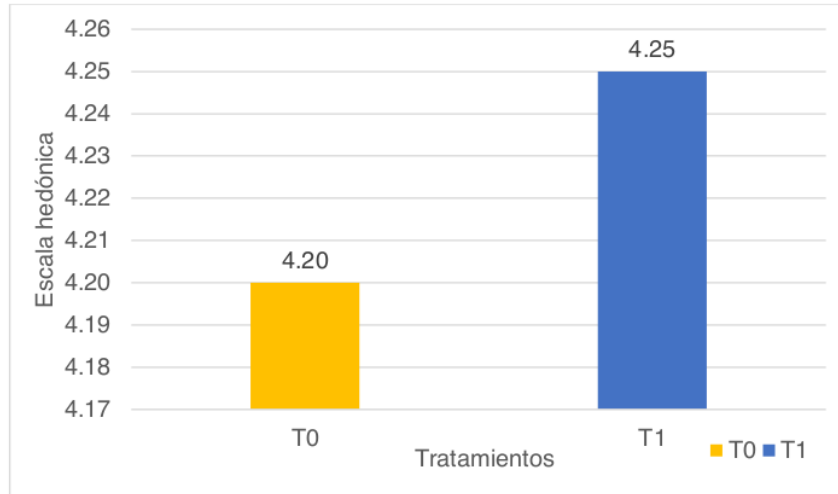
Tratamiento	N	Media	Agrupación
T1	20	4,20	A
T0	20	4,15	A

De acuerdo a la tabla 31, existe los tratamientos T1 y T0, es decir no afecta la incorporación de microcápsulas en el tratamiento T1, es decir que los tratamientos son estadísticamente iguales.

En la figura 30 se observa los resultados de aceptabilidad en yogurt con microcápsulas de betalainas de cáscara de ayrampo.

Figura 30

Aceptabilidad en yogurt con microcápsulas de betalainas de cáscara de ayrampo



En esta figura 30 se aprecia el resultado de la aceptabilidad del yogurt con betalainas microencapsuladas, donde el yogurt es tratamiento T0 sin microcápsulas que es menos aceptable y yogurt con microcápsulas de betalainas de ayrampo es T1 y es más aceptable.

Tabla 33

ANVA del atributo aceptabilidad en yogurt con betalainas de ayrampo encapsulado.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	1	0,025	0,025	0,09	0,772
Bloque	19	5,475	0,28816	1,00	0,500
Error	19	5,475	0,28816		
Total	39	10,975			

En la tabla 33, visualizamos que no hay diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$), para ello es obligatorio una prueba de ordenamiento de tuckey, esto se observa en la tabla 32. se visualiza que el análisis de varianza (ANVA) de la aceptabilidad del yogurt con betalainas de ayrampo microencapsulado, en correlación a las variables de estudio de las concentraciones de agentes microencapsulado, los resultados adquiridos de ANOVA se visualiza que la variable de aceptabilidad alcanza valores mayores a ($p > 0,05$), esto indica que cada una de las variables posee un efecto no significativo a la variable

respuesta (Aceptabilidad), por lo tanto es necesario ¹ una prueba de ordenamiento de tuckey, esto se observa en la tabla 34.

Tabla 34

Comparación de tuckey en yogurt con betalainas de ayrampo encapsuladas.

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T0	20	4,25	A
T2	20	4,20	A

De acuerdo a los resultados, se puede observar ² que los tratamientos T0 y T1 son estadísticamente iguales, es decir la incorporación de microcápsulas de betalainas no afecta en la aceptabilidad.

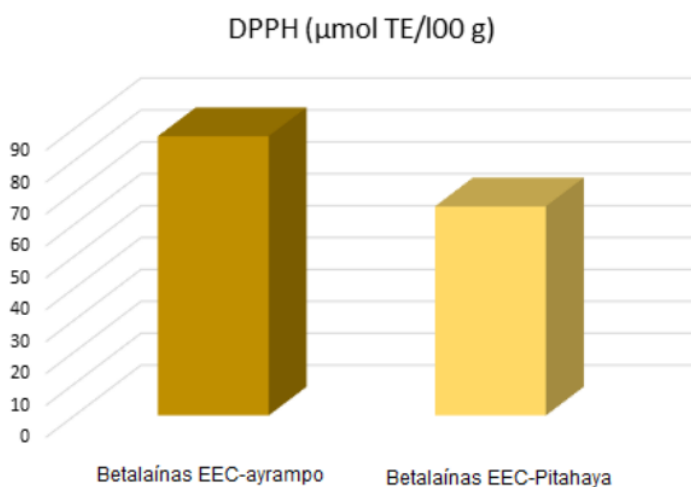
El yogurt con betalainas microcápsulas de pitahaya y ayrampo, donde las capsulas fueron ³⁶ agregados y estas no alteran las características. Acciarri (2017), en su investigación, estabilización de antioxidantes naturales por encapsulación y su incorporación a derivados lácteos con valor agregado, indica que el pH se mantuvo óptimo y asimismo en las características no hubo ningún cambio, de la misma manera el resultado de nuestra prueba de aceptabilidad fue recepcionado positivamente dentro de los panelistas. ³⁰ Chimbolema (2021), en su investigación utilizó betalainas de tuna roja y agrego al yogurt siendo aceptado por los consumidores, también menciona que no altera las propiedades sensoriales.

4.3.2. Capacidad antioxidante del yogurt con extracto de betalainas microencapsuladas de cáscara de pitahaya y cáscara de ayrampo

Los resultados de la capacidad antioxidante de las muestras de yogurt con microencapsulados de betalainas de cáscara de pitahaya y ayrampo, se muestra en la figura 31.

Figura 31

Actividad antioxidante del extracto de betalainas encapsuladas en yogurt.



En esta figura 31, se aprecia la actividad antioxidante la cual se analizó por el método DPPH, de acuerdo a este análisis el yogurt con betalainas microencapsuladas de cáscara de ayrampo fue $87,55 \pm 0,31 \mu\text{mol TE}/100\text{g}$, siendo mayor al yogurt con betalainas microencapsuladas de cáscara de pitahaya $65,55 \pm 0,21 \mu\text{mol TE}/100\text{g}$, esto se debe a que el ayrampo tiene además de las betalainas (betacianinas de color púrpura + betaxantinas de color crema) contiene polifenoles, lo que incrementa su actividad antioxidante (Garzón et al., 2021).

Para la determinación de antioxidante se tomó 1g de microencápsulas en 50 ml de muestra, esta relación se tomó de (Acciarri, 2017), los valores obtenidos de nuestra investigación de análisis de antioxidantes por el método de DPPH nos da un resultado en yogurt con betalainas microencapsuladas de ayrampo $87,55 \pm 0,31 \mu\text{mol TE}/100\text{g}$, esto a comparación con otros estudios. Jorge y Troncoso (2016) en su investigación determinaron

la capacidad antioxidante del fruto de la *Opuntia apurimacensis* con la técnica FRA, donde tuvo como resultado 68.5 $\mu\text{mol TE}/100\text{g}$, (Vidaurre et al., 2017) en su investigación analizaron antioxidantes a partir de la elaboración de alimentos enriquecidos con betalaínas del ayraimo aplicando el método DPPH obteniendo 289,29 mg/mL, (Guzmán, 2021) investigó el contenido de betalaínas, polifenoles totales y capacidad antioxidantes con el método ORAC en la cáscara de ayraimo 674.571 $\mu\text{mol ET/g}$ y (López Guerra, 2014) en su investigación de extracción y actividad antioxidante del colorante natural de la pulpa del tuna morada obtuvo 0,103 $\mu\text{mol/mL}$ de antioxidantes con el método DPPH, por otro lado el resultado de esta investigación en análisis de yogurt con betalaínas microencapsuladas de pitahaya fue $65,55 \pm 0.21 \mu\text{mol TE}/100\text{g}$, estos resultados se contrasta con (Torres-Valenzuela et al., 2020) en su investigación evaluación de condiciones de extracción asistida por ultrasonido de compuestos bioactivos de cáscara de pitahaya amarilla, su análisis de antioxidantes fue 106.95 $\mu\text{MET/g}$, (Huamani & Paucar, 2018) determino la capacidad de antioxidantes de los extractos de frutos liofilizados de pitahaya amarilla, utilizando tres métodos de extracción obteniendo valores 795 mgTE/100g por el método DPPH, 574 mgTE/100g por el método ABTS y 994 mgTE/100g por el método CUPRAC, asimismo (Inga, 2022), en su investigación comparación de método de deshidratado para obtener harina de cáscara de dos variedades de pitahaya con potencial activo, determinó capacidad de antioxidantes de pitahaya amarilla 111,160; 109,398; 108,045 $\mu\text{mol TE/L}$, a comparación con los resultados de análisis de antioxidantes que tuvimos tanto de betalaínas microencapsulados de pitahaya y ayraimo, podemos afirmar que existe diferencias, esto se debe a que durante el proceso de extracción y microencapsulación hubo intervención de factores que desestabiliza los antioxidantes, (Luna & Delgado, 2014), indica que ciertas operaciones de manejo alteran la concentración de micronutriente y compuestos de actividad antioxidante.

CONCLUSIONES

1. Se determinó los parámetros de extracción de pitahaya resultando como mejor tratamiento T5 donde el solvente óptimo es 96% de etanol a un tiempo de 24 h y a una temperatura 4°C siendo la concentración de betalaínas 2,983 mg/g; y de ayrampo el mejor estudio resultó el tratamiento T4, solvente óptimo etanol al 85% por un tiempo de 48 h y a una temperatura de 4°C y 1,4269 mg/g de betalaínas.
2. Se optimizó los parámetros de microencapsulación de betalaínas de pitahaya resultando para la variable higroscopicidad 25,36 % de maltodextrina, 3,50 % de alginato de sodio y 3,50 % de cloruro de calcio, para obtener el valor óptimo de retención de agua, alcanzando esta un 3,66; y para la variable solubilidad maltodextrina es 29,75%, alginato de sodio 3,50% y cloruro de calcio 1.20% para obtener el valor óptimo de retención de agua, alcanzando esta un 3,56; para la microencapsulación de betalaínas de ayrampo a los resultados obtenidos para la variable higroscopicidad debe contar con 35% de maltodextrina, 2,79% de alginato de sodio y 2,07% de cloruro de calcio, para obtener el valor óptimo de retención de agua de 3,67%, y para la variable solubilidad maltodextrina es 25%, alginato 3,50% y cloruro de calcio 3,47% para obtener el valor óptimo de retención de agua, alcanzando esta un 3,37%.
3. Se evaluó la capacidad antioxidante de microcápsulas de betalaínas de pitahaya en yogurt resultando $65,55 \pm 0,21 \mu\text{mol TE}/100\text{g}$ y para yogurt con betalaínas de ayrampo resultando $87,55 \pm 0,31 \mu\text{mol TE}/100\text{g}$.
4. Se determinó la aceptabilidad del yogurt con microcápsulas de betalaínas de ayrampo y pitahaya, resultando aceptable según los panelistas evaluadores.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda aumentar la eficiencia de la tecnología en la envoltura del microencapsulado y así para conseguir fragmentos con mayor protección y más pequeñas.
2. Se recomienda determinar si existen pérdidas en la concentración de betalainas durante las operaciones de microencapsulado
3. Se recomienda determinar y cuantificar las concentraciones de antioxidantes, polifenoles existentes en pitahaya y ayrampo.
4. Se recomienda investigar con distintos métodos de extracción y cuantificar el rendimiento de concentración de betalainas.
5. Se recomienda continuar la investigación al campo de conservación de bioactivos a partir de ayrampo y pitahaya y aplicados en otros alimentos.
6. Se recomienda investigar la estructura morfológica de las betalainas microencapsuladas de pitahaya y ayrampo.
7. Se recomienda realizar estudios de digestión de las microcápsulas de extracto de pitahaya y ayrampo.

Extracción y microencapsulación de betalaínas de pitahaya (Hylocereus megalanthus) y ayrampo (Opuntia apurimacensis) y su aplicación en yogurt

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

4%

2

repositorio.unsch.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

4

docplayer.es

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.uap.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

repositorio.uach.mx

Fuente de Internet

1%

7

repositorio.uncp.edu.pe

Fuente de Internet

1%

8

core.ac.uk

Fuente de Internet

1%

9	repositorio.unam.edu.pe Fuente de Internet	1 %
10	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	1 %
11	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
13	scielo.org.bo Fuente de Internet	<1 %
14	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.unica.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	www.yumpu.com Fuente de Internet	<1 %
18	123docz.net Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to Universidad Nacional de San Martín Trabajo del estudiante	<1 %
20	1library.co Fuente de Internet	

<1 %

21

repositorio.unjfsc.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

22

Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion

Trabajo del estudiante

<1 %

23

tesis.ipn.mx

Fuente de Internet

<1 %

24

Submitted to Lebanese American University

Trabajo del estudiante

<1 %

25

repositorio.unfv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

26

absortech.com

Fuente de Internet

<1 %

27

idoc.tips

Fuente de Internet

<1 %

28

congresos.cio.mx

Fuente de Internet

<1 %

29

www.scielo.org.co

Fuente de Internet

<1 %

30

dspace.esPOCH.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

31

Submitted to upec

Trabajo del estudiante

<1 %

32

es.scribd.com

Fuente de Internet

<1 %

33

Submitted to CONACYT

Trabajo del estudiante

<1 %

34

Submitted to Universidad Pedagogica y
Tecnologica de Colombia

Trabajo del estudiante

<1 %

35

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

36

bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080

Fuente de Internet

<1 %

37

lareferencia.info

Fuente de Internet

<1 %

38

recursosbiblio.url.edu.gt

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo