



Facultad de Ciencias Químicas BUAP

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Facultad de Ciencias Químicas
Licenciatura en Químico Farmacobiólogo
Departamento de Bioquímica-Alimentos

**Desarrollo y caracterización de una bebida
fermentada a base de pitahaya roja (*Hylocereus
polyrhizus*), *Lactobacillus rhamnosus* e inulina**

Tesis presentada para obtener el grado de licenciada en:
Químico Farmacobiólogo

Presenta

p. QFB Sandra Deustedith Pedraza Vázquez

Director de Tesis

Dra. Paola Hernández Carranza

Co-director de Tesis

Dr. Carlos Enrique Ochoa Velasco

Mayo 2024



OFICIO C.Q./CT 002P/2024

C. Sandra Deustedith Pedraza Vázquez
PRESENTE

Toda vez que se cuenta con la aprobación del Coordinador de la Licenciatura en Química Farmacobiólogo, le comunico que su anteproyecto de Tesis denominado:

"Desarrollo y caracterización de una bebida fermentada a base de pitahaya roja (*Hylocereus polyrhizus*), *Lactobacillus rhamnosus* e inulina"

ha sido autorizado, siendo:

Dra. Paola Hernández Carranza, Directora de Tesis
Dr. Carlos Enrique Ochoa Velasco, Co-Director de Tesis

Y con esta fecha se registra en los archivos de la Dirección de esta Facultad, para los fines legales que tenga lugar.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z., 11 de enero de 2024

Dr. Jorge Raúl Cerna Cortez
Director Facultad de Ciencias Químicas



c.c.p. Archivo

Cadena digital: 0ZP%Cu/Nn'Nt'Jd'Dr&Uj+Su%Ro/Hc(Vn.Kk+Lx+Rv.Hv+Rt!Wp+Xj-Mk.De''No''Qp'Lg!Yl&Da-Ac.Lc&Dz'Ei(Su,Fd''Yj''Tm#Jz\$Qp#Wg-Ns.Th-Ec&Hk.Wm\$Pv&Vw+Fw!Cf''Ar,Is)Cp-MirTt''A!#Gm/Zp''Hh(Zo&Pn''Tt&Sm''Al''Gf''Pc+By'Sh/Vq\$Ck)Tm!Wl''Fa' Cf-Vy!Nk'Nb)Ag#Nm''Gs(ILUL/Ki-Ad,Fw&Yq'Qw+Eb''Ub#Ut&Xb''Yv/Si\$Te''Gn)ix\$Qq'

Facultad
de Ciencias
Químicas

San Claudio No. 1, Edificio FCQ-9
Ciudad Universitaria, Col. San Manuel
Puebla, Pue. C.P. 72540
01 (222) 229 5500 Ext. 7390



OFICIO C.Q./CT 020CR/2024

Dra. Sandra Luz Cabrera Hilerio

Dra. Diana Milena Torres Cifuentes

Mes. Madai Gizeh Sánchez Arzubide

Con toda atención comunico a Ustedes que se les propone como integrantes de la Comisión Revisora del trabajo de Tesis que presenta el pasante de la Licenciatura en Químico Farmacobiólogo

Sandra Deustedith Pedraza Vázquez

cuyo título es:

"Desarrollo y caracterización de una bebida fermentada a base de pitahaya roja (*Hylocereus polyrhizus*), *Lactobacillus rhamnosus* e inulina"

Asimismo, les solicitamos que a la brevedad posible emitan el dictamen correspondiente.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z., 13 de marzo de 2024

Dr. Jorge Raúl Gerna Cortez
Director Facultad de Ciencias Químicas



c.c.p. Archivo

Cadena Digital: 6QZ-

Kx(Xl'Uq/Oq#Pb)Fr+Is%Gr\$Hh'Fh.Nz/Br*Yr#Dy#Rv)Mn'Lo%Oj&Yj"Ga#Yz/Ia%Al)Wm\$Uy.Yw\$Yh)Eh+QuIug.SfHz#Xz#Ly\$Fd'Pb
(Tr'Ab-Ii#Wo'Wk&Ny&Fa#M!Ie/Iz&Iy#Xx\$Us,He(Px*Qz)Mc,Ke/Vr*Cu(Sq/Qq%Nm%Jg.Qa*Dz\$Ds-
Zb/Dj+Hq%Iu*Fj(Ia"Cc&Xp.Pj!Sr)Eb)Oo(Jf+No.Xz#Pq'In"Ku&Oz+Hs,Yf,Pc*Fm,Ga'Qb)Wn&Of*Bf%

Facultad
de Ciencias
Químicas

San Claudio No. 1, Edificio FCQ-9
Ciudad Universitaria, Col. San Manuel
Puebla, Pue. C.P. 72540
01 (222) 229 55 00 Ext. 7390



OFICIO C.Q./CT 010A/2024

Dr. Jorge R. Cerna Cortez
Director Facultad de Ciencias Químicas
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Los que suscriben, integrantes de la Comisión Revisora de Tesis de la alumna de la Licenciatura en Químico Farmacobiólogo

Sandra Deustedith Pedraza Vázquez

comunican a Usted la autorización para la publicación del trabajo de tesis bajo la dirección de la Dra. Paola Hernández Carranza y del Dr. Carlos Enrique Ochoa Velasco, con el siguiente título:

“Desarrollo y caracterización de una bebida fermentada a base de pitahaya roja (*Hylocereus polyrhizus*), *Lactobacillus rhamnosus* e inulina”

Se extiende la presente, para los usos que al interesado convengan el día 19 de marzo de 2024.

Atentamente
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Z., a 19 de marzo de 2024


Dra. Sandra Luz Cabrera Hilerio, Presidente


Dra. Diana Milena Torres Cifuentes, Secretario


Mes. Madai Gizeh Sánchez Arzubide, Vocal

c.c.p. Archivo

Cadena digital: 2Vs'Hp*Ut'Wj%Do+No"Ka&Cj(Ew'Yk&Qk/Ee"Wz#He)Ur%Mk-Nm,Zs.Vr+Bc)Sh.Vk\$Sz(Ni-Eh"Hn'Lj&Mj/Bv/Al!Cw%Zl"Rc,Kp)Zq)Qa-lj,Dr-Dk+Nt,Nn"Rv/Rb+Xl)Np"Kj"GfYp!Pq-Ru+Lz,Qc"Br(Vh%Az+Ch"Wd+Yk"Xn"Rh"Kd'Ks/Xz+Ph!Hu-On"Uu-Xn+Az/Fy"Gc%De-He/Ng'Wn%Qy.Jb/Wc(Nl%Xi\$Rb(Pi%Kx%Yg+Xl.Bc'la-Kh'Eh/Nj%DI"Wn!

Facultad
de Ciencias
Químicas

San Claudio No. 1, Edificio FCQ-9
Ciudad Universitaria, Col. San Manuel
Puebla, Pue. C.P. 72540
01 (222) 229 5500 Ext. 7390

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	8
1. INTRODUCCIÓN	9
2. ANTECEDENTES	10
2.1. Pitahaya (<i>Hylocereus</i> spp.)	10
2.2. Pitahaya roja (<i>Hylocereus polyrhizus</i>)	13
2.3. Compuestos bioactivos	15
2.3.1. Compuestos fenólicos	15
2.3.2. Flavonoides	16
2.3.3. Betalaínas	16
2.3.3.1. Betacianinas	17
2.4. Bacterias ácido-lácticas (BAL)	18
2.4.1. Clasificación	18
2.4.1.1. BAL homofermentativas	19
2.4.1.2. BAL heterofermentativas	19
2.4.2. Género <i>Lactobacillus</i>	20
2.4.2.1 <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	20
2.5. Probióticos	21
2.5.1. Efectos beneficios que otorgan los probióticos a la salud	23
2.6. Prebióticos	23
2.7. Inulina	25
2.8. Suero de leche	27
2.9. Fermentación	28
3. JUSTIFICACIÓN	30
4. OBJETIVOS	31
4.1. Objetivo general	31
4.2. Objetivos particulares	31
5. DIAGRAMA DE TRABAJO	32
6. MATERIAL Y MÉTODOS	33
7. METODOLOGÍA	35
7.1. Caracterización fisicoquímica en la pitahaya roja	35
7.2. Caracterización químico-proximal en la pitahaya roja	35

7.3.	Caracterización de compuestos bioactivos en la pitahaya roja.....	35
7.3.1.	Determinación de compuestos fenólicos	36
7.3.2.	Determinación de la capacidad antioxidante	36
7.3.3.	Determinación de betalaínas totales	36
7.4.	Reactivación de la cepa <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	36
7.5.	Formulación de las bebidas	37
7.6.	Análisis químico-proximal de las bebidas fermentadas	37
7.7.	Análisis microbiológico de las bebidas fermentadas	37
7.8.	Evaluación sensorial	38
7.10	Análisis estadístico	38
8.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
8.1.	Evaluación de la caracterización fisicoquímica y bromatológica de la pitahaya roja en polvo	39
8.2.	Evaluación de compuestos bioactivos de la pitahaya roja (<i>Hylocereus polyrhizus</i>) en polvo	40
8.3.	Crecimiento de <i>Lactobacillus rhamnosus</i> en bebidas fermentadas	41
8.4.	Caracterización químico-proximal de las bebidas fermentadas	42
8.5.	Contenido de compuestos bioactivos en bebidas fermentadas	43
8.6.	Evaluación sensorial de las bebidas fermentadas	46
8.7.	Evaluación de la viabilidad y de los compuestos bioactivos de la bebida fermentada seleccionada durante el almacenamiento.	47
9.	CONCLUSIONES	50
10.	RECOMENDACIONES	51
11.	REFERENCIAS	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fruto de pitahaya blanca (tomada de Díaz, 2017).....	11
Figura 2. Fruto de pitahaya amarilla (tomada de Verona-Ruiz <i>et al.</i> , 2020).	12
Figura 3. Fruto de la pitahaya roja (tomada de Esquivel y Araya, 2012).	12
Figura 4. Estructura de betacianina, $R_1 = H$; $R_2 = H$ (tomada de Wong y Siow, 2015).	17
Figura 5. Estructura química de la inulina: con una molécula terminal de glucosa (β -D-glucopiranosil) (A) y con una molécula terminal de fructuosa (β -D-fructopiranosil) (B) (tomada de Madrigal y Sangronis, 2007)	26
Figura 6. Esquema de la metodología de trabajo	32
Figura 7. Crecimiento de <i>Lactobacillus rhamnosus</i> en las bebidas fermentadas con pitahaya roja, suero de leche e inulina.	42
Figura 8. Compuestos fenólicos de bebidas fermentadas con <i>L. rhamnosus</i>	44
Figura 9. Capacidad antioxidante de bebidas fermentadas con <i>L. rhamnosus</i>	45
Figura 10. Contenido de betalaínas totales de bebidas fermentadas con <i>L. rhamnosus</i>	46
Figura 11. Imagen de las bebidas fermentadas formuladas.	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la pitahaya (<i>Hylocereus</i> spp.)	10
Tabla 2. Composición fisicoquímica de la pulpa del fruto de <i>Hylocereus</i> spp.....	13
Tabla 3. Valor nutricional por 100 g de diferentes especies de <i>Hylocereus</i> spp.	14
Tabla 4. Microorganismos utilizados como probióticos	22
Tabla 5. Prebióticos utilizados en la industria alimenticia.	24
Tabla 6. Clasificación de los principales tipos de fermentación relacionados con la producción de alimentos.....	28
Tabla 7. Métodos y referencias que se utilizaron para la investigación	33
Tabla 8. Equipos que se utilizaron para la investigación	34
Tabla 9. Formulación de los sistemas que se trabajaron.	37
Tabla 10. Caracterización fisicoquímica y químico-proximal de pitahaya roja en polvo.	40
Tabla 11. Compuestos bioactivos de pitahaya roja en polvo.	41
Tabla 12. Composición químico-proximal de bebidas fermentadas con <i>L. rhamnosus</i>	43
Tabla 13. Evaluación sensorial de las bebidas fermentadas con <i>L. rhamnosus</i>	47
Tabla 14. Efecto del almacenamiento sobre la viabilidad de <i>L. rhamnosus</i> , los compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y betalaínas de la bebida.....	48

RESUMEN

La creciente demanda por llevar una vida más saludable y consumir alimentos que sean más beneficiosos para la salud ha ido en aumento. La industria de alimentos día con día se reinventa y una de las tendencias son las bebidas funcionales.

En el presente trabajo se desarrolló una bebida fermentada con *Lactobacillus rhamnosus* como probiótico, inulina de agave como prebiótico y polvo de pitahaya roja como fuente de compuestos bioactivos. Se realizó la caracterización químico-proximal, de los compuestos bioactivos (fenoles y betalaínas), así como la capacidad antioxidante de pitahaya en polvo. Por otro lado, se realizó la caracterización químico-proximal, la población del probiótico, los compuestos bioactivos y una prueba sensorial de las bebidas fermentadas. Por último, se seleccionó una bebida que se almacenó a 5°C durante 20 d y se analizó.

Los resultados mostraron que la pitahaya roja contiene como ingredientes funcionales: fibra dietética (5.83%), compuestos fenólicos (1044 mg EAG/100 g), betalaínas (115.9 mg/100 g) y capacidad antioxidante (5611 mg Trolox/100 g). Después de la fermentación la población de *L. rhamnosus* fue mayor a 7 CL en todas las bebidas formuladas. La adición de pitahaya en las bebidas incrementó el contenido de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y betalaínas. La evaluación sensorial mostró diferencias significativas en el color de las bebidas con un nivel de agrado de “Me gusta ligeramente”. Durante el almacenamiento los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante incrementaron en un 35.35 % y 4.66 %, respectivamente, mientras que las betalaínas se redujeron en un 31.3%, respecto a la viabilidad de *L. rhamnosus*, después de 20 d la población se mantuvo por arriba de 6 CL, cumpliendo con el número de células viables para ser considerado un ingrediente funcional.

Por lo tanto, el desarrollo de bebidas fermentadas a partir de frutas como fuente de compuestos bioactivos es una alternativa para la industria de bebidas.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la industria de alimentos ha ido evolucionando y para satisfacer las necesidades o demandas de los consumidores desarrolla productos con calidad nutrimental, sensorial, y también que ofrezcan beneficios a la salud, tales como los alimentos funcionales. Un alimento funcional no sólo aporta los nutrientes básicos, sino que contiene uno o más compuestos funcionales que mejoran las funciones fisiológicas del organismo que lo consume (Lamos *et al.*, 2018). El desarrollo de estos alimentos se da por la incorporación de prebióticos, probióticos, péptidos bioactivos, carotenoides, vitaminas, compuestos fenólicos, fitoestrógenos, ácidos grasos (Lamos *et al.*, 2018). Las bebidas son alimentos adicionados con algunos de los ingredientes antes mencionados, se elaboran a partir de leguminosas, cereales o frutas, estas últimas son ampliamente utilizadas debido a que contienen ingredientes funcionales, tales como: polifenoles, carotenoides, flavonoides, vitaminas, entre otros (Obregón La Rosa y Lozano Zanelly, 2021).

La pitahaya roja es considerada una fruta exótica, es muy valorada por los posibles beneficios que aporta a la salud, contiene vitamina C, carotenoides, compuestos fenólicos, taninos y betalaínas, que poseen capacidad antioxidante para eliminar los radicales libres e inhibir la peroxidación (Huda *et al.*, 2021; Miranda, 2016; Tenore *et al.*, 2012).

Otro ingrediente muy utilizado en la industria alimentaria, son los probióticos, estos son microorganismos vivos que brindan beneficios a la salud, además tienen la capacidad de preservar los alimentos, así como modificar las características sensoriales (Parra, 2010). Sin embargo, para mantener la viabilidad de los probióticos se utilizan sustancias prebióticas, mismas que contribuyen en el crecimiento, viabilidad y supervivencia de probióticos.

Es por esto, que el objetivo de este trabajo fue, desarrollar y caracterizar bebidas fermentadas a base de pitahaya roja (*Hylocereus polyrhizus*), *Lactobacillus rhamnosus* e inulina, así como conocer la estabilidad de las bebidas durante el almacenamiento.

2. ANTECEDENTES

2.1. Pitahaya (*Hylocereus* spp.)

La pitahaya es comúnmente llamada como la fruta del dragón, aunque también recibe diferentes nombres según el país donde se produce (Verona-Ruiz *et al.*, 2020); su nombre significa “fruta escamosa” y se refiere tanto a la planta como al fruto (Zee *et al.*, 2004) es una fruta exótica que posee un alto valor nutricional y características sensoriales que le otorgan un gran valor comercial en el mundo (Verona-Ruiz *et al.*, 2020).

La pitahaya es originaria del centro y Sur de América y también es cultivada en otras regiones tropicales y subtropicales del mundo (Shah *et al.*, 2023). En ciertos países como México, Venezuela, Colombia, Brasil, Costa Rica y Ecuador se puede encontrar en su estado silvestre. También en países como Bolivia, Panamá, Curazao, Uruguay, Perú y Vietnam se pueden encontrar especies de pitahaya (Santarrosa, 2013).

La pitahaya pertenece a la familia *Cactaceae* y prevalece en dos géneros separados, "*Hylocereus*" y "*Selenicereus*", siendo el primero con las variedades más cultivadas comercialmente (Bauer, 2003). En la Tabla 1 se presenta la clasificación taxonómica de la pitahaya.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la pitahaya (*Hylocereus* spp.)

Nivel organizacional	
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophita</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Caryophyllale</i>
Familia	<i>Cactaceae</i>
Tribu	<i>Hylocereeae</i>
Género	<i>Hylocereus</i>
Especies	<i>H. extensus</i> , <i>H. setaceus</i> , <i>H. tricae</i> , <i>H. minutiflorus</i> , <i>H. megalanthus</i> , <i>H. stenopterus</i> , <i>H. calcaratus</i> , <i>H. undatus</i> , <i>H. esculintlensis</i> , <i>H. ocamponis</i> , <i>H.</i>

guatemalensis, *H. purpusii* *H. costaricensis*, *H. trigonus*, *H. triangularis*, *H. monacanthus*.

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

El género *Hylocereus* tiene gran variedad de especies importantes para la alimentación humana y animal (Mejía *et al.*, 2013) cubriendo alrededor de 16 especies diferentes (Bauer, 2003). La variedad que existe de pitahaya en las zonas tropicales de América se debe a la dispersión de las aves, el movimiento humano y el intercambio de genes en pueblos locales desde las épocas precolombinas (Manzanero-Acevero *et al.*, 2014).

Existen tres especies principales de pitahaya:

- *Hylocereus undatus*, o pitahaya blanca (Figura 1), se caracteriza por tener una piel rosada y coriácea y una pulpa blanca llena de diminutas semillas negras (Marcel, 2021). Ésta especie presenta un alto polimorfismo. Es la de mayor demanda en el mercado y por lo tanto de importancia económica a nivel mundial (Manzanero-Acevero *et al.*, 2014).



Figura 1. Fruto de pitahaya blanca (tomada de Díaz, 2017).

- *Selenicereus megalanthus*, o pitahaya amarilla (Figura 2), tiene una piel amarilla y coriácea y una pulpa blanca llena de diminutas semillas negras (Marcel, 2021). Es una especie silvestre originaria de América Central y parte de Sudamérica. Sus semillas son comestibles y el aceite de éstas tienen efecto laxante también ayuda a disminuir el colesterol en la sangre (Sotomayor *et al.*, 2019).



Figura 2. Fruto de pitahaya amarilla (tomada de Verona-Ruiz *et al.*, 2020).

- *Hylocereus polyrhizus*, o pitahaya roja (Figura 3) presenta una piel rosada y coriácea y una pulpa roja llena de diminutas semillas negras. Cultivada, principalmente en México, Nicaragua y Vietnam (Sotomayor *et al.*, 2019). La pulpa es jugosa con un sabor ligeramente dulce (Wong y Siow, 2015).



Figura 3. Fruto de la pitahaya roja (tomada de Esquivel y Araya, 2012).

En general la planta de la pitahaya es perenne, epífita, trepadora en forma triangular, carnosa y de tallos verdes articulados (Verona- Ruiz *et al.*, 2020). Sus hojas se transforman en espinas agrupándose en areolas. Sus flores son las más grandes de la familia, suelen ser blancas y con aroma, presentan numerosos estambres con antesis nocturna y son de vida corta (Mejía *et al.*, 2013).

2.2. Pitahaya roja (*Hylocereus polyrhizus*)

La pitahaya roja es originaria de México y ha ido ganando gran popularidad en todo el mundo, debido a su atractivo color rojo púrpura, siendo considerada una fruta exótica, además de ser una fruta saludable, ya que contiene compuestos antioxidantes como vitamina C, betacianinas y fibra (Huda *et al.*, 2021; Miranda, 2016). Esta especie es considerada de gran valor gracias a su capacidad de almacenar gran cantidad de agua y su cubierta impermeable (Hernández y Salazar, 2017).

La pitahaya tiene un bajo valor calórico debido a que cuenta con pocas cantidades de hidratos de carbono 9 g/100 g de peso fresco (Rodríguez *et al.*, 2005), contiene entre 0.4 y 2.2 g de proteína, es rica en vitaminas (B1, B2, B3, C, niacina, piridoxina y cobalamina) y minerales (calcio, potasio, fósforo, sodio, hierro y zinc) (Attar *et al.*, 2022). La composición fisicoquímica de la pulpa del fruto de *Hylocereus* se muestra en la Tabla 2, mientras que la composición nutricional de las diferentes especies de la pitahaya se muestra en la Tabla 3, misma que puede diferir dependiendo de la ubicación geográfica y determinación de método de estudio (Shah *et al.*, 2023).

Tabla 2. Composición fisicoquímica de la pulpa del fruto de *Hylocereus* spp.

Característica	<i>Hylocereus</i> spp.
Valor de pH	4.3 – 4.7
Materia seca (%)	12 ± 1
Ácido málico (g/L)	6.2 – 8.2
Ácido cítrico (g/L)	0.95 – 1.2
Sólidos solubles totales (°Brix)	7.1 – 10.7
Ácido L-ascórbico (g/100 mL)	1.6 – 3.5
Ácido deshidroascórbico (g/100 mL)	1.1 3.6

Fuente: (Le Bellec y Vaillant, 2011)

Tabla 3. Valor nutricional por 100 g de diferentes especies de *Hylocereus* spp.

Componente nutricional	<i>H. undatus</i>	<i>H. polyrhizus</i>	<i>H. megalanthus</i>
Carbohidratos	6.26 g	5.97 g	13.07 g
Fibra dietética	0.83 g	1.01 g	1.27 g
Azúcar total	6.06 g	5.60 g	5.93 g
Proteína	0.94 g	0.89 g	0.40 g
Grasa	0.57 g	0.57 g	0.10 g
Hierro	0.87 mg	0.78 mg	21.07 mg
Zinc	0.34 mg	0.29 mg	4.35 mg
Sodio	4.50 mg	14.30 mg	1.43 mg
Niacina	0.43 mg	2.80 mg	0.20 mg
Potasio	193.0 mg	158.29 mg	98.41 mg
Fósforo	29.9 mg	29.2 mg	18.0 mg
Calcio	45.7 mg	31.2 mg	11.7 mg
Magnesio	45.9 mg	33.2 mg	16.1 mg
Glucosa	1.58 g	1.33 g	0.99 g
Fructuosa	2.15 g	2.0 g	3.25 g
Sacarosa	2.12 mg	2.54 mg	1.69 g
Sorbitol	2.61 mg	4.52 mg	NA
Vitamina C	5.64 mg	3.40 mg	11.34 mg
Vitamina D2	0.69 µg	0.58 µg	NA
Vitamina E	100.0 µg	140.0 µg	NA
Vitamina K1	30.05 µg	9.40 µg	NA

NA: no aplica

Fuente: Shah *et al.*, 2023.

En los últimos años la producción de *Hylocereus* spp. en México ha ido incrementando, en 2020 se reportó una superficie sembrada de 1,885 hectáreas, con una producción de 10,867 toneladas, lo que significó un valor económico de 165 miles de millones de pesos (SIAP, 2020).

La pitahaya se puede consumir como producto fresco y también como producto procesado, se utiliza para la elaboración de aguas frescas, nieve, jugos, helados, atole, yogurt, ate, pasteles, gelatina, licores, almíbar y mermeladas (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, 2017).

Como se mencionó anteriormente, la pitahaya es considerada una fruta saludable, debido a la presencia de compuestos bioactivos.

2.3. Compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos son metabolitos secundarios producidos por las plantas, que brindan beneficios a la salud, están presentes en los alimentos en pequeñas cantidades y consisten en una amplia gama de compuestos químicos con diferentes estructuras, actividades fisiológicas y masas moleculares entre 200 y 1000 Da. Algunos ejemplos son: carotenoides, flavonoides, fitoesteroles, glucosinolatos, polifenoles, entre otros. La mayoría de estos compuestos tienen capacidad antioxidante, anticancerígena, antiinflamatoria y antimicrobiana (Hamzalıoğlu y Gökmen, 2016; Conidi, 2016).

2.3.1. Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos son compuestos naturales que se encuentran en vegetales, frutas y bebidas (Gómez-Gómez *et al.*, 2018). Estructuralmente son moléculas que tienen uno o más grupos hidroxilo unidos a un anillo aromático, se producen mediante la vía del ácido shikímico a través de la metabolización de los fenilpropanoides (Lin *et al.*, 2016).

No hay una clasificación establecida de los compuestos fenólicos, pero se podrían clasificar en siete grupos: flavonoides, ácidos fenólicos, taninos simples y condensados, estilbenos, cumarinas, lignanos y ligninas (Luna-Guevara *et al.*, 2018).

Su ingesta en la dieta proporciona beneficios a la salud. Cuentan con actividad antioxidante debido a su capacidad de quelar metales, esto depende de las posiciones del grupo hidroxilo y del número que tengan, así como de la naturaleza de la sustitución de los anillos aromáticos (De la Rosa *et al.*, 2019).

2.3.2. Flavonoides

Los flavonoides son compuestos fenólicos diaril-propánicos, presentan dos anillos aromáticos bencénicos unidos por una cadena de 3 carbonos ciclada a través de un oxígeno. Estos son producidos por el metabolismo secundario de las plantas mediante una ruta biosintética mixta (Luengo, 2002).

Los productos ricos en flavonoides incluyen: bayas, frutas cítricas, uvas, cerezas, muelle, rúcula, cebollas, alcachofas, soja, caupí, frijoles negros, perejil, orégano y té. Es importante señalar que el contenido de flavonoides en frutas y vegetales puede variar significativamente según la variedad de cultivo, el procesamiento, el clima, la estacionalidad, la especie de planta, la preparación y el almacenamiento (Kozłowska y Szostak-Wegierek, 2018). Los flavonoides presentan capacidad antioxidante, antimicrobiana, antiinflamatoria, antitrombótica, entre otras (Pérez Trueba, 2003).

2.3.3. Betalaínas

Las betalaínas son pigmentos nitrogenados solubles en agua que usualmente se encuentran en las vacuolas de las plantas. Éstas están divididas en betacianinas y betaxantinas (Esquivel y Araya, 2012). El color rojo y violeta de las betalaínas son el resultado de diferentes patrones de sustitución que se da en las betacianinas, mientras que el color amarillo de las betaxantinas se debe a las cadenas laterales de aminoácidos o bien, a las cadenas laterales de amina (Esquivel, 2024).

Las betalaínas son estables en un amplio rango de pH, tienen altos coeficientes de extinción molar y no son tóxicas ni alergénicas, lo que las convierte en una alternativa a algunos colorantes sintéticos. Sin embargo, después del procesamiento o almacenamiento, se han observado degradaciones como isomerización, desglicosilación, hidrólisis, descarboxilación y deshidrogenación, lo que resulta en cambios de color y cambios de absorción (Esquivel, 2024).

Los factores que afectan la estabilidad de las betalaínas son la estructura química, el contenido de pigmento, la matriz, los aditivos, las enzimas, el pH, el tratamiento térmico, la actividad del agua, la exposición al oxígeno y la luz durante el almacenamiento y las temperaturas de almacenamiento (Esquivel, 2024).

Por otro lado, las betalaínas tienen grandes beneficios a la salud entre los cuales están un efecto positivo en contra de los trastornos relacionados con el estrés debido a su potencial de inhibir la oxidación y peroxidación lipídica (Kanner *et al.*, 2001). También se han observado efectos antiinflamatorios, antirradicales, actividad antioxidante y se ha descrito su efecto inhibidor en células del melanoma (Esquivel y Araya, 2012).

2.3.3.1. Betacianinas

Las betacianinas son glucósidos o acilglucósidos de betanidina, formados a partir de ácido betalámico y ciclo-DOPA (Strack *et al.*, 2003). Tienen efectos beneficiosos a los trastornos metabólicos, cuentan con capacidad antioxidante. Generalmente son muy utilizadas por la industria alimentaria como colorante natural (Gengatharan *et al.*, 2015). Las betacianinas son las responsables de otorgar el color púrpura/rojo a la pitahaya roja, así como también desempeñar un papel importante como principal antioxidante. Por otro lado, los compuestos fenólicos no betaláinicos desempeñan un papel menor. La pitahaya roja carece de betaxantinas y solo se pueden encontrar betacianinas (Wong y Siow, 2015). En la Figura 4 se presenta la estructura de la betacianina.

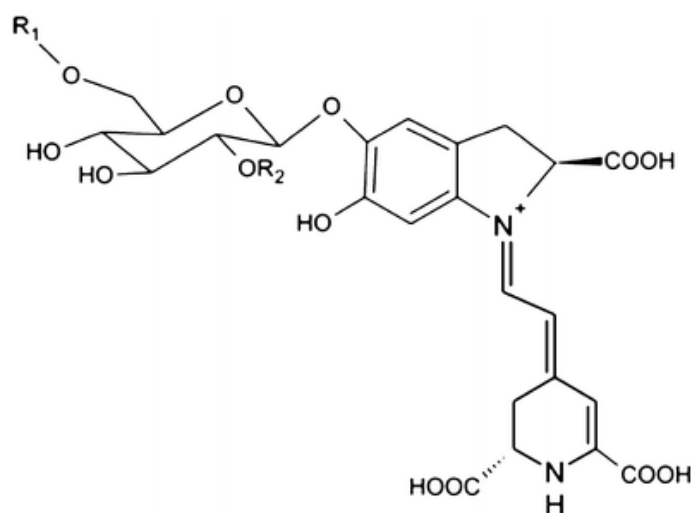


Figura 4. Estructura de betacianina, $R_1 = H$; $R_2 = H$ (tomada de Wong y Siow, 2015).

Como se había mencionado anteriormente, las betacianinas, se ven afectadas por varios factores extrínsecos como el calor, el oxígeno, la luz, el pH y la humedad pues ocasionan la decoloración del pigmento (Wong y Siow, 2015) y para mantener la

intensidad y las propiedades del color de las betalaínas, se recomienda reducir la exposición térmica, evitar la luz y el oxígeno, y agregar antioxidantes y agentes quelantes durante el procesamiento (Esquivel, 2024).

Por otro lado, existen compuestos funcionales que brindan beneficios a nivel gastrointestinal, entre estos están las bacterias lácticas.

2.4. Bacterias ácido-lácticas (BAL)

Las BAL son Gram positivas, inmóviles, mesófilas, catalasa negativa, no esporulantes y no pigmentadas. El rango de temperatura para su crecimiento es generalmente entre 5 y 50 °C, siendo el óptimo para la mayoría de las cepas alrededor de 35 ± 2 °C. Presentan formas variables, desde cocos hasta bacilococos. Aunque metabólicamente similares, existe una falta de homología de ADN entre ellos. Carecen de las vías para la reducción de nitrato, tienen un requerimiento nutricional complejo y variable, que difiere según la especie (Khalid y Hung, 2009).

Las BAL son microorganismos ubicuos, que se pueden encontrar en plantas, mucosa intestinal de mamíferos y también en alimentos fermentados (Teneva *et al.*, 2018). Son los principales microorganismos productores de ácido láctico. El ácido láctico se genera en condiciones anaeróbicas mediante la vía de la glucólisis y este metabolito se puede producir a partir de las vías del metabolismo de las hexosas y pentosas (Abedi y Hashemi, 2020).

Las BAL son ampliamente utilizadas en la industria como iniciadoras en la fabricación de productos lácteos como leche ácida, yogur, suero de leche, requesón, quesos duros y quesos blandos; también son comercialmente importantes en procesamiento de carnes, bebidas alcohólicas y vegetales (Carr *et al.*, 2002).

2.4.1. Clasificación

Las BAL se clasifican conforme a su morfología celular, la forma en que fermentan a la glucosa, la temperatura óptima que necesitan para crecer y la utilización de azúcares.

Los géneros más comunes incluyen: *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Aerococcus*, *Alloiococcus*, *Carnobacterium*, *Dolosigranulum*, *Enterococcus*, *Oenococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* y *Weissella* (Mokoena, 2017).

Los géneros más importantes son *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* (Khalid y Hung, 2009). Las cepas de *Lactobacillus* tienen gran importancia comercial debido a su alta tolerancia a los ácidos, alto rendimiento y productividad (Abedi y Hashemi, 2020).

De acuerdo a la forma en la que fermentan la lactosa, las BAL se clasifican en homofermentativas y heterofermentativas (Bertrand-Harb *et al.*, 2003).

2.4.1.1. BAL homofermentativas

Las BAL homofermentativas utilizan la vía de Embden-Meyerhoff-Parnas para fermentar a la glucosa en piruvato, el cual se transforma en ácido láctico, siendo el principal producto en esta fermentación, utilizan la enzima deshidrogenasa. Este proceso se da mediante ciertas condiciones de crecimiento como la limitación de carbono, etanol, CO₂ y lactato (Mozzi, 2016).

Entre los géneros que pertenecen a este grupo están: *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Enterococcus* y *Streptococcus*. Las bacterias de este grupo tienen las enzimas aldolasa y hexosa isomerasa y carecen de la enzima fosfocetolasa (Parra, 2010).

2.4.1.2. BAL heterofermentativas

En el caso de las bacterias heterofermentativas, fermenta un mol de glucosa para formar solamente un mol de ácido láctico, un mol de etanol y un mol de CO₂ (Parra, 2010). Las BAL heterofermentativas convierten las hexosas en pentosas mediante la enzima fosfocetolasa utilizando la vía alternativa de las pentosas monofosfato. Durante el proceso producen tanto aldehído como diacetilo, sustancias aromáticas y potenciadores de sabor muy deseables. Son los más utilizados en la industria láctea por ser mejoradores de sabor (Carr *et al.*, 2002).

Este grupo está conformado por: *Lactococcus*, *Lactobacillos*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc* y *Pediococcus*.

2.4.2. Género *Lactobacillus*

Pertenecen a la familia *Lactobacillaceae*, son psicrófilas, no formadoras de esporas, en forma de bastón, inmóviles, Gram positivas y anaerobias facultativas, no contienen la enzima catalasa (Feiner, 2006).

Al utilizar a la glucosa como fuente de carbono, los lactobacilos pueden ser homofermentativos produciendo más del 85% de ácido láctico, o heterofermentativos, produciendo ácido láctico, CO₂, etanol (y/o ácido acético) en cantidades equimolares (Parra, 2010).

Este género crece bien en medios ligeramente ácidos, con pH de 6.4 a 4.5, teniendo un óptimo crecimiento entre 5.5 y 6.2. Su crecimiento cesa cuando el pH alcanza valores de 3.6 a 4 en dependencia de las especies y disminuye notablemente en medios neutros o ligeramente alcalinos. Además, *Lactobacillus* es capaz de disminuir el pH del sustrato donde se encuentran por debajo de 4.0 mediante la formación de ácido láctico. De esta manera evita o al menos disminuye considerablemente el crecimiento de otros microorganismos competidores, exceptuando el de otras bacterias lácticas y el de levaduras (Samaniego y Sosa del Castillo, 2006).

2.4.2.1 *Lactobacillus rhamnosus*

Es una bacteria Gram positiva, no formadora de esporas, anaerobia facultativa o microaerófila, inmóvil y catalasa negativa. Pertenece al grupo de las bacterias mesófilas, pero dependiendo de la cepa esta puede crecer a temperaturas menores de 15°C y mayores de 40°C (Liptáková *et al.*, 2008).

Su crecimiento requiere de muchas vitaminas, incluido el ácido fólico, riboflavina, niacina, ácido pantoténico y calcio. El pH óptimo para su crecimiento va de 6.4 a 4.5. Crece en forma de bastoncillos o en cadenas cortos; su tamaño oscila entre 0.8 o 1.0 µm de ancho y de 2.0 a 4.0 µm de largo (Liptáková *et al.*, 2008).

La cepa Gorbach-Goldin de *L. rhamnosus* (LGG) se ha convertido en una de las bacterias probióticas más estudiadas en el mundo. En 1983 *L. rhamnosus* fue aislada del tracto gastrointestinal de un humano sano y registrada en el repositorio de la American Type Culture Collection (ATCC® 53103™) en 1989 y forma parte de la lista

de las especies microbianas más seguras para la industria alimentaria ya que cuenta con la clasificación QPS (Qualified Presumption of Safety) (Galego, 2019).

Una de las características que presenta esta bacteria es que no posee actividad antimicrobiana contra otras BAL y cuenta con una buena adhesión a las glicoproteínas de íleon humano y a los productos con fibra obtenida de la dieta. Además, diversos estudios *in vitro* han demostrado que *L. rhamnosus* presenta actividad antimicrobiana contra bacterias patógenas como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* y *Clostridium perfringens* (Calderón *et al.*, 2007).

También se ha demostrado que *L. rhamnosus* tiene efectos positivos sobre la inmunidad intestinal debido a que aumenta el número de células secretoras de inmunoglobulina A (IgA) y otras inmunoglobulinas en la mucosa intestinal (Gupta y Garg, 2009).

A nivel industrial *L. rhamnosus* cuenta con una excelente viabilidad en alimentos lácteos como yogurt, siendo útil en su producción debido a que puede crecer durante procesos fermentativos y además proporciona buenas características sensoriales a los alimentos (Calderón *et al.*, 2007).

Como se ha mencionado, las BAL son consideradas ingredientes funcionales debido a que poseen capacidad probiótica. A continuación, se define qué son los probióticos.

2.5. Probióticos

Williams (2010) define a los probióticos como microorganismos vivos no patógenos que al ser ingeridos mejoran el equilibrio microbiano en el tracto gastrointestinal. Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para Agricultura y la Alimentación (FAO) definen a los probióticos como “organismos vivos, que cuando son administrados a un huésped en cantidades adecuadas le proporcionan beneficios a su salud” (Villanueva-Flores, 2015). La cantidad de células que debe contener un producto con probióticos es entre 10^6 - 10^8 UFC/g o mL (Sánchez *et al.*, 2015).

La OMS y la FAO establecieron criterios para poder clasificar como probiótico a una cepa bacteriana. Entre estos criterios están:

- a) Identificación taxonómica mediante técnicas moleculares
- b) Registro en un repositorio internacionalmente reconocido
- c) Ausencia de genes transmisibles de resistencia a antibióticos
- d) Viabilidad persistente en el tracto gastrointestinal
- e) Que cuenten con beneficios a la salud demostrados experimental y clínicamente
- f) Seguridad de uso humano
- g) Persistencia de la viabilidad y actividad probiótica durante su producción, manipulación y almacenamiento (Galego, 2019)

Se han utilizado diversos géneros de bacterias consideradas como probióticos, entre ellos: *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Escherichia*, *Enterococcus*, *Bacillus* y *Streptococcus* y algunas levaduras como *Saccharomyces* también han sido utilizados. En la Tabla 4 se muestran los géneros y especies utilizadas como probióticos (Gupta y Garg, 2009).

Tabla 4. Microorganismos utilizados como probióticos

Género	Especie
<i>Lactobacillus</i>	<i>L. acidophilus</i> , <i>L. casei</i> , <i>L. rhamnosus</i> , <i>L. fermentum</i> , <i>L. gasseri</i> , <i>L. johnsonii</i> , <i>L. lactis</i> , <i>L. paracasei</i> , <i>L. plantarum</i> , <i>L. reuteri</i> , <i>L. salivarius</i> , <i>L. bulgaricus</i> .
<i>Bifidobacterium</i>	<i>B. bifidum</i> , <i>B. breve</i> , <i>B. lactis</i> , <i>B. longum</i> , <i>B. infantis</i> , <i>B. adolescentis</i> .
<i>Streptococcus</i>	<i>S. thermophilus</i> , <i>S. salivarius</i> subsp. <i>thermophilus</i> .
<i>Saccharomyces</i>	<i>S. boulardii</i>
	Otras:
	<i>Bacillus cereus</i> , <i>Escherichia coli</i> .
	<i>Enterococcus</i> , <i>Propionibacterium freudenreichii</i>

Fuente: Gupta y Garg, 2009

Los probióticos generalmente se encuentran en productos lácteos, pero actualmente se han ido incorporando en otros productos alimenticios como jugos, barras de granola, chocolates, cereales, entre otros (Villanueva-Flores, 2015).

2.5.1. Efectos beneficios que otorgan los probióticos a la salud

El equilibrio que hay entre la flora intestinal y los microorganismos que habitan en ella se puede modificar debido a la dieta, consumo de alcohol, antibióticos, estrés y el envejecimiento, así como por desórdenes digestivos y enfermedades. Es por ello que los probióticos tienen el propósito de ayudar a la flora intestinal para mejorar la salud intestinal y estimular la función inmunitaria al mantener la flora normal y equilibrada. También la presencia de los probióticos en el tracto intestinal ayuda a prevenir el aumento de bacterias patógenas (Villanueva-Flores, 2015).

De igual forma, estudios han demostrado que los probióticos reducen diversas condiciones clínicas que van desde la diarrea infantil, enterocolitis necrotizante, diarrea asociada a antibióticos, colitis recurrente por *Clostridium difficile*, infecciones por *Helicobacter pylori*, enfermedad inflamatoria intestinal hasta cáncer, infección urogenital femenina e infecciones quirúrgicas (Gupta y Garg, 2009).

Otro de los beneficios que presentan los probióticos es que facilitan la digestibilidad de la lactosa (Salazar y Montoya, 2003).

Sin embargo, para que se puedan mantener su viabilidad o supervivencia los probióticos necesitan de los prebióticos. A continuación, se aborda este tema.

2.6. Prebióticos

El prebiótico es un ingrediente alimentario no digerible que confiere beneficios al huésped al estimular selectivamente una bacteria o un grupo de bacterias en el colon con propiedades probióticas (Gupta y Garg, 2009). Los prebióticos están constituidos por carbohidratos de cadena corta no digeribles (oligocáridos) (Guillot 2018). No todos los carbohidratos son considerados como prebióticos (Davani-Davari *et al.*, 2019).

Para poder ser considerado como prebiótico, se utilizan los siguientes criterios para su clasificación:

- a) Ser resistente al pH ácido del estómago
 - b) No debe absorberse en el tracto gastrointestinal
 - c) Puede ser fermentado por la microbiota intestinal
 - d) Pueden estimular el crecimiento y actividad de las bacterias intestinales
- (Davani-Davari *et al.*, 2019).

Los prebióticos que se utilizan de forma normal en la dieta son: la lactulosa, los galactooligosacáridos, los fructooligosacáridos, la inulina y sus hidrolizados, los maltooligosacáridos y el almidón resistente. Los prebióticos se encuentran en alimentos como la cebolla, ajo, plátano, puerros, derivados del trigo, achicoria, espárragos y alcachofa, entre otros. La incorporación de prebióticos como ingrediente en los alimentos mejora las características sensoriales y también ayudan a la estabilización de espumas y emulsiones (Al-Sheraji *et al.*, 2013; Salazar y Montoya, 2003). En la Tabla 5 se describen brevemente los tipos de prebióticos más utilizados.

Tabla 5. Prebióticos utilizados en la industria alimenticia.

Prebiótico	Descripción	Efecto en la microbiota intestinal
Fructanos	Constituidos de inulina y fructooligosacáridos u oligofructuosa. Estructuralmente cuentan con una cadena lineal de fructuosa con enlace β (2-1).	Estimulan selectivamente a las BAL. Dependiendo la longitud de su cadena, los fructanos pueden promover la fermentación de otras bacterias.
Galactooligosacáridos	Son producto de la extensión de la lactosa y se clasifican en dos tipos:	Estimulan a las bifidobacterias y a los lactobacilos.

- a) GOS con exceso de galactosa en C₃, C₄ o C₆
- b) GOS fabricados a partir de lactosa mediante transglicosilación enzimática.

Oligosacáridos derivados del almidón y la glucosa

El almidón resistente (AS) tolera la digestión del intestino. AS produce una gran cantidad de butirato por lo que es considerado para clasificarlo como prebiótico. Por otro lado, la polidextrosa es derivado de la glucosa y está compuesto de glucano y enlaces glicosídicos.

Diversos grupos de Firmicutes incorporan una gran cantidad de AS para degradarlo. La polidextrosa puede estimular a las bifidobacterias.

Oligosacáridos no carbohidratos

Existen compuestos que no están clasificados como carbohidratos, pero se recomienda clasificarlos como prebióticos, entre ellos están los flavonoles derivados del cacao.

Se ha demostrado en estudios *in vivo* e *in vitro* que los flavonoles pueden estimular a las BAL.

Fuente: Davani-Davari *et al.*, 2019

En la actualidad uno de los prebióticos más utilizado como ingrediente en alimentos funcionales en la industria alimenticia es la inulina.

2.7. Inulina

La inulina es un polisacárido vegetal que pertenece a la familia de los fructanos (Umeonuorah y Uruella *et al.*, 2022).

Estructuralmente la inulina está constituida por moléculas de fructosa unidas por enlaces β -(2-1) fructosil-fructosa (Figura 5) (Madrigal y Sangronis, 2007).

La inulina se encuentra naturalmente en plantas como las raíces de achicoria, la alcachofa de Jerusalén, el agave, los cereales, las frutas y las verduras, incluidos el plátano, la cebolla, los espárragos, la okra, entre otros (Umeonuorah y Uruella *et al.*, 2022).

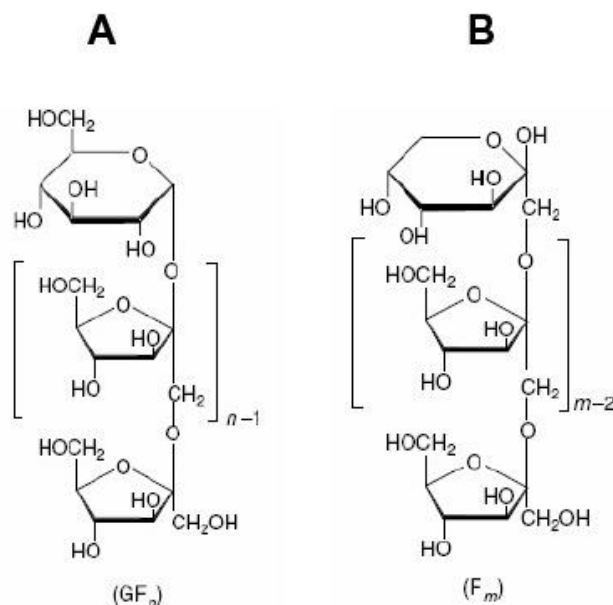


Figura 5. Estructura química de la inulina: con una molécula terminal de glucosa (β -D-glucopiranosil) (A) y con una molécula terminal de fructuosa (β -D-fructopiranosil) (B) (tomada de Madrigal y Sangronis, 2007)

La inulina tiene la capacidad de ser prebiótico debido a su capacidad selectiva de estimular el crecimiento de bifidobacterias y lactobacilos en el colon, trayendo como consecuencia la disminución de bacterias que pueden ser perjudiciales a la salud como son *Escherichia coli* y bacterias de la especie de *Clostridium* spp (Lara-Fiallos *et al.*, 2017).

La inulina no sólo otorga beneficios a la salud, sino que, también a nivel industrial farmacéutico y alimenticio. En el caso de la industria de alimentos se utiliza para mejorar las características sensoriales, como sustituto de grasas sin modificar la textura. Los alimentos en los que se utiliza son productos lácteos fermentados,

confites, chocolates, bebidas, postres congelados, cereales, barras energéticas, cárnicos, productos de baja cantidad en grasas o azúcares debido a la baja cantidad de calorías que proporciona, preparaciones de frutas y jarabe de fructosa (Lara-Fiallos *et al.*, 2017).

No sólo se utilizan a los prebióticos para estimular el crecimiento de probióticos, ingredientes como el suero de leche que es utilizado como sustrato para que estos microorganismos puedan desarrollarse. A continuación, se describe la importancia del suero de leche.

2.8. Suero de leche

Tanto los productos lácteos como la leche son alimentos de alto valor nutricional y funcional, gracias a sus ingredientes biológicamente activos, especialmente los productos lácteos en polvo, entre los que destacan la leche en polvo, suero de leche en polvo o lactosuero, concentrados de todas las proteínas de la leche y concentrado de proteína de suero, son utilizados como aditivos alimentarios por su gran cantidad de proteínas (Garczewska-Murzyn *et al.*, 2022).

Los tipos de suero se clasifican dependiendo de la eliminación de la caseína, el suero ácido resulta del proceso de fermentación o adición de ácidos orgánicos o minerales, que coagulan la caseína y generalmente no contiene grasa. El suero dulce está basado en la coagulación por la enzima renina a pH 6.5 y su composición varía según su origen (Parra, 2009).

El suero de leche es un ingrediente muy utilizado en la industria de alimentos (Sodini *et al.*, 2006) pues contiene componentes importantes como proteínas, lactosa y minerales (Garczewska-Murzyn *et al.*, 2022). Las proteínas del lactosuero son proteínas lácteas solubles, que representan aproximadamente el 20% de las proteínas lácteas totales. La β -lactoglobulina, la α -lactoalbúmina cuentan con características funcionales, que las convierten en un ingrediente ideal para el crecimiento de probióticos.

2.9. Fermentación

La fermentación es un proceso bioquímico que consiste en transformar moléculas grandes en otras más pequeñas, se ha utilizado por varias décadas y permite conservar alimentos. Generalmente, utiliza microorganismos y enzimas. La fermentación también es útil para obtener alimentos saludables y nutricionales (Carboni *et al.*, 2023). Es importante diferenciar entre una fermentación espontánea y una inducida, la primera ocurre cuando existen las condiciones favorables para que los microorganismos propios del alimento sean capaces crecer y metabolizar los sustratos; mientras que la fermentación inducida va a requerir de la adición de cultivos denominados “iniciadores” debido a que van a generar un cambio deseado en el sustrato del alimento (Šikić *et al.*, 2022).

Se han identificado cuatro tipos de fermentación: láctica, acética, alcohólica y alcalina, tal y como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de los principales tipos de fermentación relacionados con la producción de alimentos.

Tipo	Vía biosintética	Microorganismos responsables	Ejemplos de alimentos fermentados
Láctica	Los azúcares se convierten en ácido láctico	Bacterias de ácido-lácticas	Yogurt y kimchi
Acética	Varios sustratos como alcoholes y azúcares se convierten en ácido acético	Acetobacterias	Kéfir de agua y vinagre
Alcohólica	Los azúcares se convierten en alcoholes y CO ₂	Levaduras	Vino y cerveza
Alcalina	Las proteínas se convierten en aminoácidos, péptidos y amoníaco	Bacilos <i>Staphylococcus spp</i>	Nattu japonés

Fuente: Manna *et al.*, 2021.

Las BAL son uno de los grupos de microorganismos más utilizados en los procesos fermentativos, debido a su capacidad de producir ácido láctico y otros compuestos que contribuyen en la conservación de los alimentos, una de las mayores aplicaciones de las BAL son los productos lácteos fermentados, sin embargo, se ha reportado que las BAL pueden crecer en otras matrices como frutas, vegetales y cereales (Rodzi y Lee, 2021).

El interés de consumir cada vez más bebidas fermentadas ha ido en constante aumento, debido a la percepción del consumidor sobre el efecto positivo que estas proporcionan en la salud humana y va relacionado principalmente con el contenido de compuestos bioactivos y la presencia de BAL con potencial probiótico (Keş̇a *et al.*, 2021).

3. JUSTIFICACIÓN

La industria alimentaria ha evolucionado a través de los años, hoy en día no sólo basta con ofrecer alimentos nutritivos y de características sensoriales aceptables, sino que además aporten beneficios a la salud de los consumidores. En este sentido, los ingredientes funcionales están siendo utilizados para el desarrollo de alimentos.

Las frutas, cereales y leguminosas son de los ingredientes usados para el desarrollo de bebidas funcionales. Frutos como la pitahaya roja posee azúcares, fibra, vitaminas, minerales y pigmentos con capacidad antioxidante, ingredientes que pueden ser usados para el desarrollo de bebidas fermentadas. La fermentación es un proceso que se puede realizar con bacterias lácticas, sin embargo, la viabilidad de estos microorganismos se puede afectar durante los procesos de elaboración, almacenamiento o la propia digestión, por lo que, el uso de prebióticos puede contribuir en la viabilidad.

Por lo tanto, este proyecto busca desarrollar bebidas fermentadas no alcohólicas a partir de ingredientes funcionales como la pitahaya roja, inulina y el probiótico *Lactobacillus rhamnosus*.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Desarrollar y caracterizar una bebida a partir de pitahaya roja (*Hylocereus polyrhizus*), *Lactobacillus rhamnosus* e inulina.

4.2. Objetivos particulares

- Realizar el análisis fisicoquímico, químico-proximal y de compuestos bioactivos en pitahaya roja liofilizada.
- Formular bebidas con inulina, suero de leche y pitahaya roja, fermentadas con *Lactobacillus rhamnosus*.
- Determinar la composición químico-proximal, crecimiento de *L. rhamnosus* y compuestos bioactivos de las bebidas fermentadas.
- Realizar una evaluación sensorial de las bebidas fermentadas para conocer su aceptación.
- Seleccionar la bebida más aceptada sensorialmente y evaluar la viabilidad de *L. rhamnosus* y estabilidad de los compuestos bioactivos durante el almacenamiento.

5. DIAGRAMA DE TRABAJO

El esquema de trabajo que se utilizó para la realización de este proyecto se muestra en la Figura 6 y se describe con más detalles en la metodología.

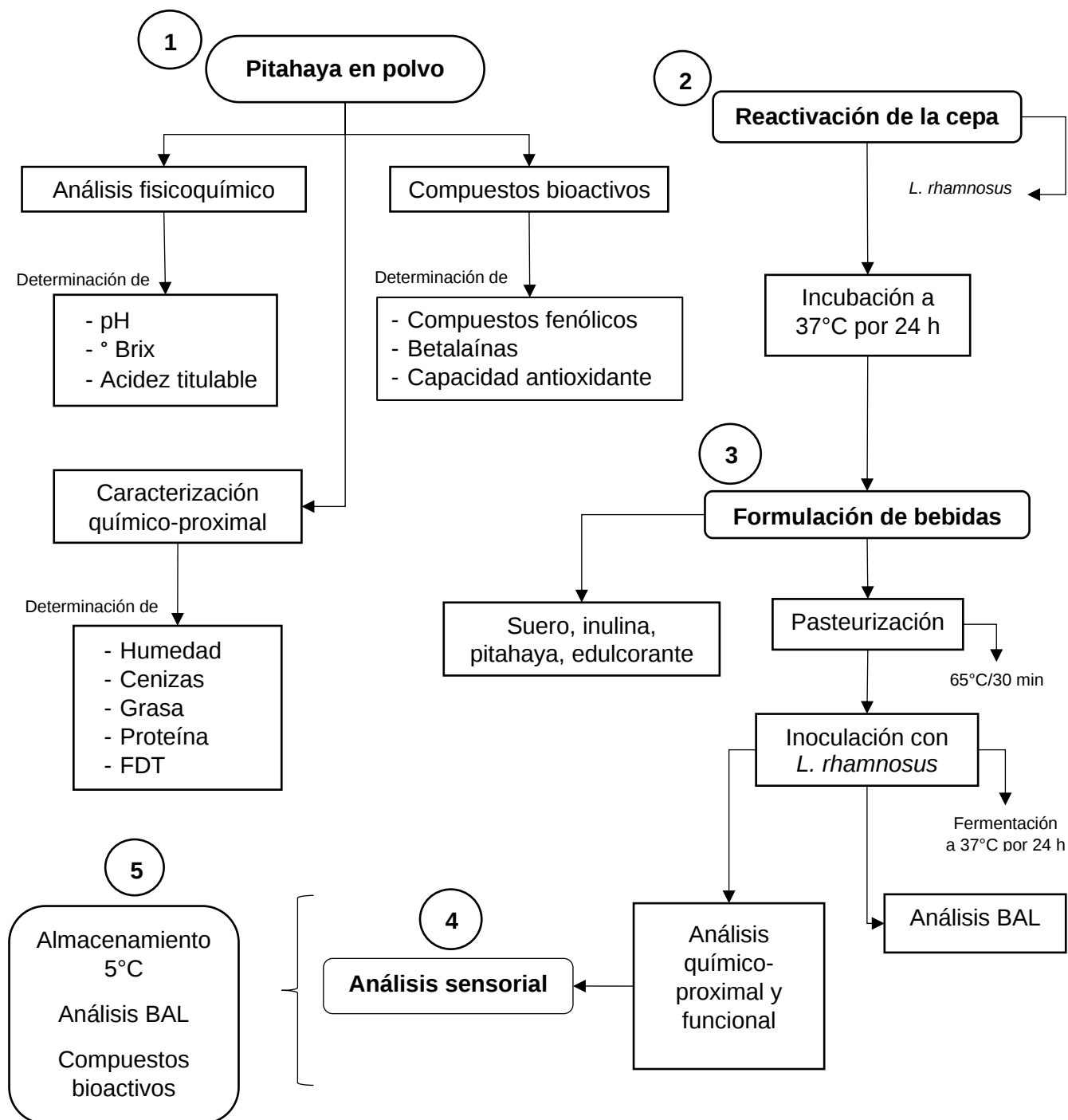


Figura 6. Esquema de la metodología de trabajo

6. MATERIAL Y MÉTODOS

Material de vidrio: El necesario para cada determinación.

Material biológico: Pitahaya roja (*Hylocereus polyrhizus*) liofilizada, suero de leche en polvo, inulina, edulcorante y cepa de *Lactobacillus rhamnosus* NRRL-B-442.

Reactivos: Los necesarios para cada determinación grado analítico o grado alimenticio.

En la Tabla 7 se muestran las técnicas que se utilizaron y en la Tabla 8 los equipos con los que se trabajó.

Tabla 7. Métodos y referencias que se utilizaron para la investigación

Determinación	Técnica	Referencia
Humedad	Secado en estufa	AOAC, 2000
Ceniza	Calcinación en mufla	AOAC, 2000
Proteína	Método de Kjendahl	AOAC, 2000
Grasa	Método de Soxhelt	AOAC, 2000
°Brix	Refractometría	NMX-F-103-NORMEX-2009
pH	Potenciometría	NOM-F-317-S-1978.
Acidez titulable	Volumetría	NMX-F-102-NORMEX-2010
Compuestos fenólicos	Método espectrofotométrico Folin-Ciocalteu	Aparicio-Fernández <i>et al.</i> , 2018
Capacidad antioxidante	DPPH	Aparicio-Fernández <i>et al.</i> , 2018
Betalaínas	Espectrofotometría	Castellanos-Santiago y Yahia, 2008

Tabla 8. Equipos que se utilizaron para la investigación

Equipo	Marca	Modelo
Autoclave	CISA	AS-25
Balanza analítica	Ohaus – Serie Pioneer	PA 224C
Baño de agua AquaBath	Barnstead Lab-Line	18005AQ
Contador de colonias	SOL-BAT	Q-20
Incubadora orbital	Prendo	INO-650
Medidor de pH portátil	Conductronic	PH10
Parrilla digital	Fisher Scientific	Isotemp
Refractómetro	HANNA instruments	Hi 96801
Refrigerador	MABE	RMT510
Analizador ultrasónico de leche	LACTOSCAN	---

7. METODOLOGÍA

De acuerdo con lo mostrado en el esquema de trabajo, a continuación, se describe la metodología con la que se trabajó.

7.1. Caracterización fisicoquímica en la pitahaya roja

Se preparó una solución acuosa al 5% y se procedió a la medición de pH por potenciometría, los sólidos solubles se midieron con un refractómetro y la acidez titulable se llevó al tomar una alícuota de la solución y se tituló con NaOH al 0.1 N hasta llegar a un pH de 8.2.

7.2. Caracterización químico-proximal en la pitahaya roja

Se emplearon las técnicas de la AOAC (2000). La humedad se determinó por el método de secado en estufa a $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 4 h, se registraron los pesos y se realizaron los cálculos correspondientes. Las cenizas se determinaron por calcinación en una mufla a 525°C durante 4 h. La determinación de grasa se realizó mediante el método de Soxhlet, utilizando éter de petróleo como disolvente y para la proteína se determinó por el método Kjeldahl el cual constó de tres partes: digestión, neutralización y titulación. Los carbohidratos se estimaron por diferencia.

Para la determinación de la fibra dietética total, se utilizó el método gravimétrico-enzimático, utilizando las enzimas α -amilasa, proteasa y amiloglucosidasa, se obtuvo un residuo el cual se llevó a secado durante 24 h en una estufa y posteriormente, se analizó el contenido de cenizas y proteína, mediante las técnicas previamente descritas.

7.3. Caracterización de compuestos bioactivos en la pitahaya roja

Para la determinación de los compuestos bioactivos en la pitahaya en polvo se realizaron técnicas espectrofotométricas, se aplicó la metodología descrita por Aparicio-Fernández et al. (2019) con modificaciones, se preparó una solución acuosa al 1% con la pitahaya en polvo, misma que fue utilizada para la determinación de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y betalaínas.

7.3.1. Determinación de compuestos fenólicos

Se tomó una alícuota de la solución y se colocó en un tubo de ensayo oscuro, posteriormente se les añadió 1 mL del reactivo Folin-Ciocalteu (0.1 N), se mezcló y se dejó reposar durante 3 min a temperatura ambiente. Se adicionó 1 mL de Na_2CO_3 (0.5%), se mezcló nuevamente y se dejó reposar durante 30 min a temperatura ambiente, finalmente, se realizó la lectura de la absorbancia a una longitud de onda de 765 nm utilizando un espectrofotómetro UV-visible. El contenido de compuestos fenólicos se expresó como mg equivalentes de ácido gálico EGA/100 g.

7.3.2. Determinación de la capacidad antioxidante

Se colocó una alícuota de la solución en un tubo de ensayo oscuro y se le añadió 1 mL de la solución de DPPH al 0.004%. Se mezcló, se dejó reposar a temperatura ambiente por 30 min. Finalmente, se midió la absorbancia a 517 nm utilizando un espectrofotómetro UV-visible. Los resultados se expresaron como mg Trolox/100 g.

7.3.3. Determinación de betalaínas totales

Se tomó una alícuota de la solución y se le adicionó 5 mL de buffer McIlvaine, posteriormente se centrifugó a 4000 rpm durante 10 min. Para la cuantificación de las betalaínas se midió la absorbancia a las longitudes de onda de 535 nm para betacianinas y 483 nm para betaxantinas utilizando un espectrofotómetro UV-visible. La lectura de estos compuestos se debía encontrar entre 0.9 y 1.1. Los resultados se expresaron como mg betalaínas/100 g.

7.4. Reactivación de la cepa *Lactobacillus rhamnosus*

La reactivación del microorganismo se llevó a cabo preparando caldo MRS, mismo que se esterilizó a 121°C por 15 min, el caldo MRS se inoculó con la cepa de *L. rhamnosus* al 1% y se incubó a 37°C por 24 h.

Para comprobar la viabilidad de la cepa se realizó siembra en agar MRS por la técnica de vertido en placa.

7.5. Formulación de las bebidas

La Tabla 9 muestra las formulaciones que se elaboraron. Se prepararon 100 mL de cada bebida y fueron identificadas de acuerdo al número de sistema correspondiente (S1, S2, S3, S4 y S5); éstas se pasteurizaron a 65°C durante 30 min, el edulcorante fue adicionado antes de la pasteurización, una vez pasteurizados los sistemas fueron enfriados a temperatura ambiente y se inocularon con la cepa de *L. rhamnosus* al 1% previamente reactivado. Para la fermentación los sistemas fueron incubados a 37°C durante 24 h y 50 rpm. Al término de la incubación, las bebidas fueron colocadas en refrigeración a 5°C y posteriormente, se realizó su caracterización.

Tabla 9. Formulación de los sistemas que se trabajaron.

Sistema	Suero de leche 2%	Inulina 1%	Pitahaya roja en polvo 2%	Agua (mL)
1	X			98
2	X	X		97
3	X		X	96
4		X	X	97
5	X	X	X	95

Nota: A cada sistema se le agregaron 0.5 g de edulcorante por cada 100 mL

7.6. Análisis químico-proximal de las bebidas fermentadas

Se caracterizó a las bebidas mediante el analizador ultrasónico de leche lactoscan. Se tomaron 20 mL de las bebidas para su análisis y se colocaron en el tubo aspirador del equipo; el equipo automáticamente realizó la lectura y después de 5 min se obtienen los resultados de grasa, agua, ceniza y proteína. Los carbohidratos se estimaron por diferencia. Para la determinación de la FDT se realizó el procedimiento descrito en el apartado 7.2

7.7. Análisis microbiológico de las bebidas fermentadas

Se determinó la población de *L. rhamnosus* en las bebidas fermentadas. Este análisis fue por el método de vertido en placa en agar MRS. Las placas se incubaron a 37°C

durante 24 h en condiciones de anaerobiosis. Posteriormente, se realizó el conteo de colonias y se expresó como UFC/mL.

7.8. Evaluación sensorial

Se realizó una prueba hedónica a 50 personas, se les proporcionaron 5 muestras correspondientes a las fórmulas descritas en la Tabla 9. En la prueba se evaluarán los parámetros de color, olor, sabor y aceptación general. La escala tuvo 7 niveles de aceptación que fue desde “me gusta mucho” siendo la puntuación más alta (7) a “no me gusta nada” siendo la puntuación más baja (1). Los criterios de inclusión fueron: edad, sexo, nivel de escolaridad (licenciatura). Las muestras fueron evaluadas a 5°C.

7.9 Evaluación durante el almacenamiento

Se seleccionó la bebida de mayor aceptación sensorial y se almacenó en refrigeración (5°C), se evaluaron los compuestos fenólicos, la capacidad antioxidante y la viabilidad de *L. rhamnosus*. Como se describió en los apartados 7.3 y 7.7, respectivamente. La bebida se almacenó por 20 días y cada 5 días se hizo la evaluación.

7.10 Análisis estadístico

Las determinaciones se realizaron dos veces con su respectiva replica. Los resultados obtenidos fueron analizados mediante la comparación de medias (ANOVA) mediante la prueba estadística de Tukey, empleando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, utilizando el software de Minitab.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Evaluación de la caracterización fisicoquímica y bromatológica de la pitahaya roja en polvo

En la Tabla 10 se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos y químico-proximal evaluados de la pitahaya roja liofilizada. El valor obtenido de los sólidos solubles fue de 98/100 g muestra, este valor representa los sólidos secos presentes en la pitahaya, lo cual coincide con el valor de humedad obtenido, ya que esta corresponde al 2.52%, la obtención de valores de humedad bajos permite que los alimentos se conserven por más tiempo, prolongando su vida útil y estabilidad (Badui, 2006). Por otro lado, el valor de pH fue de 3 lo que nos indica que el fruto pertenece a los alimentos ácidos; en ese sentido el valor de la acidez titulable (expresada como ácido ascórbico) fue de 1.28%. El valor obtenido de la acidez fue diferente al reportado por Arivalagan et al. (2021), quienes mencionan que la acidez titulable para pitahaya roja es de 0.10 a 0.17%, esto puede deberse a la madurez en la que se encontraba el fruto en ese momento. Además, mencionan que este fruto posee compuestos funcionales como la vitamina C, la cual posee una potencial antioxidante.

Respecto al análisis químico-proximal se observa que la pitahaya es un alimento bajo en ceniza, grasa y proteína, pero con alto contenido de carbohidratos. Generalmente las frutas se caracterizan por presentar bajos contenidos de ceniza, grasa y proteína. Ruzainah et al. (2009) evaluaron la composición química de pulpa de pitahaya roja y mencionaron que posee de 1.23 a 3.58 % bs de grasa y 0.94 a 1.35 % bs de proteína, valores similares a los obtenidos en este trabajo. Por otro lado, Arivalagan et al. (2021) reportan que el contenido de cenizas en pitahaya roja es de 0.71%, el cual es similar al obtenido. Respecto a la fibra dietética analizada en este trabajo, el valor es ligeramente mayor al reportado por Verona-Ruiz et al. (2020), quienes mencionan que la pitahaya de pulpa rosa es de 3.3%, lo que indica que el contenido de fibra varía según la variedad y especie.

Por último, se observa que los carbohidratos son los componentes que más predominaron en el polvo de pitahaya. Arivalagan et al. (2021) mencionan que en la

pitahaya existen carbohidratos disponibles entre 5.42 a 7.32%, la diferencia de los valores obtenidos en el trabajo con los reportados son dependientes del fruto, así como de su origen y metodologías utilizadas.

Tabla 10. Caracterización fisicoquímica y químico-proximal de pitahaya roja en polvo.

Parámetro	Valores (%)
Sólidos solubles totales	98.0 ± 0.00
pH	2.71 ± 0.01
Acidez (% ácido ascórbico)	1.28 ± 0.00
Humedad (%)	2.52 ± 0.06
Cenizas (% bs)	0.68 ± 0.29
Grasa (% bs)	1.80 ± 0.26
Proteína (% bs)	0.87 ± 0.01
Fibra dietética (% bs)	5.83 ± 0.37
Carbohidratos*	88.30 ± 0.10

*Los carbohidratos fueron calculados por diferencia

8.2. Evaluación de compuestos bioactivos de la pitahaya roja (*Hylocereus polyrhizus*) en polvo

En la Tabla 11 se observan los resultados obtenidos del análisis de los compuestos bioactivos presentes en la pitahaya, entre ellos compuestos fenólicos (CF), capacidad antioxidante (CA) y betalaínas totales. Los valores obtenidos de CF en este trabajo fueron de 1044.32 mg EAG/100 g. Maigoda et al. (2017) trabajaron con polvo de pitahaya roja y reportaron un contenido de CF de 386.09 mg EAG/100 g. Por otra parte, Arivalagan et al. (2021) reportan valores de 48.3 mg EAG/100 g en pitahaya roja fresca, la variación puede deberse al origen del cultivo y la metodología empleada.

Con respecto a la CA se obtuvo un valor de 5611.51 mg Trolox/100 g. Mora et al. (2018) reportaron valores de 2826.344 mg Trolox/100 g en *Hylocereus undatus* y de 2385.704 mg Trolox/100 g en *Hylocereus megalanthus*, ambas especies analizadas

en polvo mediante proceso de liofilización lo que nos indica que la variación de los resultados se debe al tipo de especie demostrando que la pitahaya roja es la de mayor contenido de CA debido a la presencia de polifenoles, vitamina C, betalaínas, compuestos bioactivos que otorgan una alta CA (Attar et al., 2022).

Por último, los valores que se obtuvieron de las betalaínas fueron de 115.92 mg betalaínas/100 g. García-Cruz et al. (2012) reportaron que el contenido de betalaínas en pulpa fresca fue de 347.30 mg betalaínas/100 g, mientras que Wu et al. (2006) reportaron que la pulpa de pitahaya roja tiene valores de 10.3 mg betalaínas/100 g. Las betalaínas obtenidas en este trabajo fueron superiores a las reportadas de Wu et al. (2006) pero inferiores a las reportadas por García-Cruz et al. (2012). Es importante mencionar que las diferencias se pueden deber a las metodologías usadas, así como el origen del fruto y la parte del fruto analizada.

Tabla 11. Compuestos bioactivos de pitahaya roja en polvo.

Parámetro	Valores
Compuestos fenólicos (mg EAG/100 g)	1044.32 ± 30.12
Capacidad antioxidante (mg Trolox/100 g)	5611.51 ± 207.35
Betalaínas totales (mg betalaínas/100 g)	115.92 ± 0.18

8.3. Crecimiento de *Lactobacillus rhamnosus* en bebidas fermentadas

En la Figura 7 se presenta el crecimiento de *L. rhamnosus* a las 24 h de incubación de los sistemas presentados en la Tabla 9. Se observa que no existe diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los sistemas, la formulación de los sistemas, no influyó para que el microorganismo creciera más de 7 CL. La población de *L. rhamnosus* en los sistemas fue 7.2 – 8.2 CL, estos valores son mayores a los reportado por Corrales et al. (2007), en donde se menciona que, para ser considerado como probiótico, se debe contar con mínimo una población de 1×10^6 UFC/g de microorganismos viables. Los sistemas que mayor crecimiento presentaron fueron S3, S4 y S5, estos fueron formulados con el polvo de pitahaya roja, además contaban con el prebiótico que fue la inulina, así como la fuente proteica otorgada por el suero de leche. Velázquez-López

et al. (2016) reportaron un recuento similar de 1×10^7 UFC/mL de *Lactobacillus casei* en bebidas fermentadas a base de lactosuero y adicionadas con mermelada de piña - coco. Guerra et al. (2023) evaluaron la población de *L. rhamnosus* en bebidas con proteína de suero aislada y fruta de la pasión, determinando que la población después de la fermentación fue >7.7 CL. Por lo que, los ingredientes usados para la formulación de bebidas en este trabajo: suero, inulina y pitahaya, pueden ser considerados un vehículo para el crecimiento de probióticos.

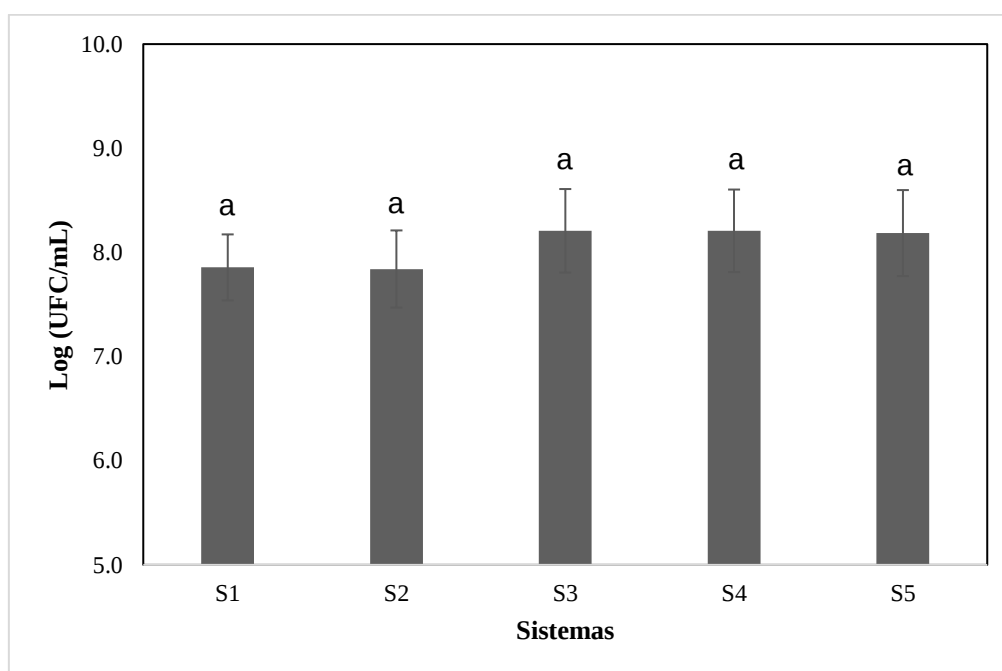


Figura 7. Crecimiento de *L. rhamnosus* en las bebidas fermentadas con pitahaya roja, suero de leche e inulina.

8.4. Caracterización químico-proximal de las bebidas fermentadas

La Tabla 12 muestra los resultados de la caracterización químico-proximal de las bebidas fermentadas. Se observa que el componente mayoritario fue el agua, en la Tabla 9 se indicó que la composición de agua en los sistemas fue entre 95 y 96 %. Resultados similares fueron reportados por Paz-Gamboa et al. (2019), quienes determinaron el contenido de agua en bebidas lácteas adicionadas con jugo de pitaya y *Lactobacillus reuteri*, obteniendo valores entre 86 – 92%. El valor de grasa de todos los sistemas fue menor del 0.5%. Respecto a los otros componentes de la bebida, se

observa que el S3 y S5 presentaron el mayor contenido de proteína y ceniza, esto puede deberse al suero de leche, debido a que es un producto rico en minerales y proteínas de alto valor biológico (Navas, 2012). Valores similares fueron reportados por Paz-Gamboa et al. (2019) mencionando un contenido de proteína en bebidas lácteas entre 2.7 – 4.8 %, mientras que el contenido de cenizas se encuentra entre 0.5 - 0.9%, los valores reportados se deben a la adición de la leche en la formulación, mientras que los elaborados en este trabajo se deben a la adición de suero, así como a la pitahaya. Por otro lado, las bebidas fermentadas presentaron fibra dietética, este es un ingrediente funcional con beneficios a la salud. Los valores de fibra fueron aportados por la pitahaya roja y la inulina (Arivalagan et al., 2021). Por último el contenido de carbohidratos fue menor al 2%.

Tabla 12. Composición químico-proximal de bebidas fermentadas con *L. rhamnosus*.

Componente (%)	S1	S2	S3	S4	S5
Agua	96.18 ± 0.17b	96.93 ± 0.11a	96.07 ± 0.13b	96.88 ± 0.01a	95.03 ± 0.02c
Grasa (bh)	0.05 ± 0.01d	0.05 ± 0.01d	0.17 ± 0.00b	0.10 ± 0.00c	0.22 ± 0.01a
Proteína (bh)	1.11 ± 0.08b	0.77 ± 0.01c	1.53 ± 0.01a	0.10 ± 0.00d	1.56 ± 0.01a
Cenizas (bh)	0.17 ± 0.01b	0.12 ± 0.01c	0.23 ± 0.00a	0.08 ± 0.01c	0.24 ± 0.00a
FDT	0.79 ± 0.08c	1.47 ± 0.08a,b	1.51 ± 0.10a,b	1.74 ± 0.01a	1.31 ± 0.07b
Carbohidratos*	1.70	0.66	0.49	1.10	1.64

*Los carbohidratos fueron calculados por diferencia. Letras diferentes en fila indican diferencia significativa $\alpha = 0.05$.

8.5. Contenido de compuestos bioactivos en bebidas fermentadas

En la Figura 8 se presenta el contenido de compuestos fenólicos de las bebidas fermentadas, se observa que hay diferencia significativa entre las bebidas formuladas, siendo mayor el contenido de fenoles en los S3, S4 y S5, mientras que el S1 y S2 presentaron los valores más bajos (7.94 y 7.99 mg EAG/100 mL), respectivamente, este valor bajo se debe a que no se les adicionó la pitahaya. Por otro lado, los valores obtenidos de los S3, S4 y S5 fueron 15.32, 15.16 y 15.20 mg EAG/100 mL, respectivamente, demostrando que la adición de la pitahaya en polvo aumenta considerablemente los compuestos fenólicos. Ochoa-Velasco et al. (2012) reportaron valores de 45.31 mg de EAG/100 mL en jugo de pitahaya roja, 32.1 mg de EAG/100 mL en jugo de pitahaya rosa y 24.6 mg de EAG/100 mL en jugo de pitahaya blanca fermentados con *Saccharomyces cerevisiae*, demostrando que, de las tres especies

de pitahaya, la pitahaya roja es la que presenta más compuestos fenólicos. También lo que nos indica que el tipo de microorganismo influye en el contenido de CF en mayor o menor cantidad

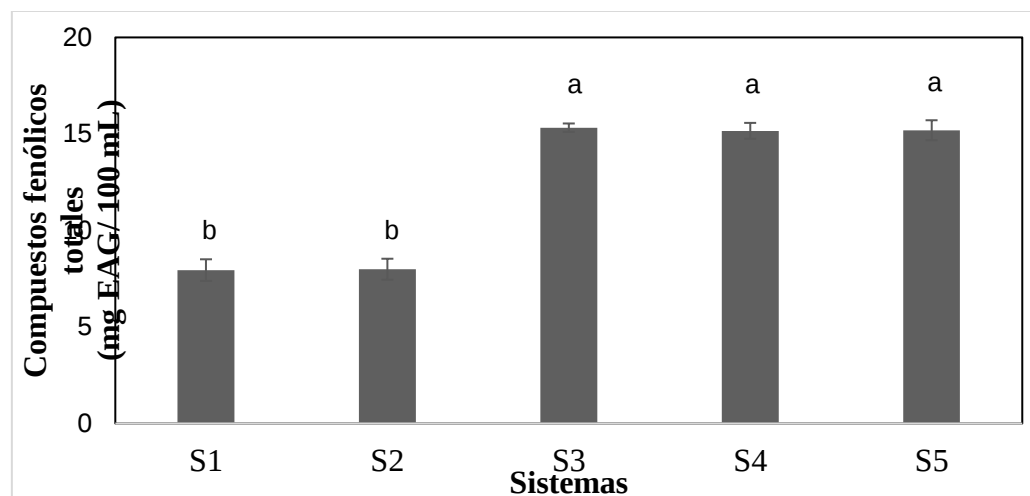


Figura 8. Compuestos fenólicos de bebidas fermentadas con *L. rhamnosus*.

En la Figura 9 se presenta la capacidad antioxidante de las bebidas fermentadas, se observa que hay diferencias significativas entre los sistemas elaborados, los sistemas S3, S4 y S5, presentan los contenidos más altos de capacidad antioxidante (43.07, 42.22 y 43.87 mg Trolox/100 mL), respectivamente, lo cual se debe a la adición de pitahaya roja, algunos autores mencionan que este fruto presenta una alta capacidad antioxidante debido a la presencia de betacianinas, las cuales están en mayor concentración en la pitahaya roja y es superior a la de otras cactáceas como la tuna (Verona-Ruiz *et al.*, 2020). Ochoa-Velasco *et al.* (2012) reportaron valores de 160.84 mg de Trolox/100 mL de capacidad antioxidante en jugo de pitahaya roja fermentado con *Saccharomyces cerevisiae*. Probablemente, la variabilidad de los resultados se debe al microorganismo utilizado en los procesos fermentativos, la propia formulación de las bebidas, así como a las metodologías utilizadas. Agustina *et al.* (2022) mencionan que la capacidad antioxidante de bebidas fermentadas con pitahaya roja y *Lactobacillus paracasei* incrementa, debido a que las bacterias ácido-lácticas producen compuestos antioxidantes, además, durante el proceso de fermentación la presencia de metabolitos por parte de estos microorganismos causa un incremento en la actividad antioxidante.

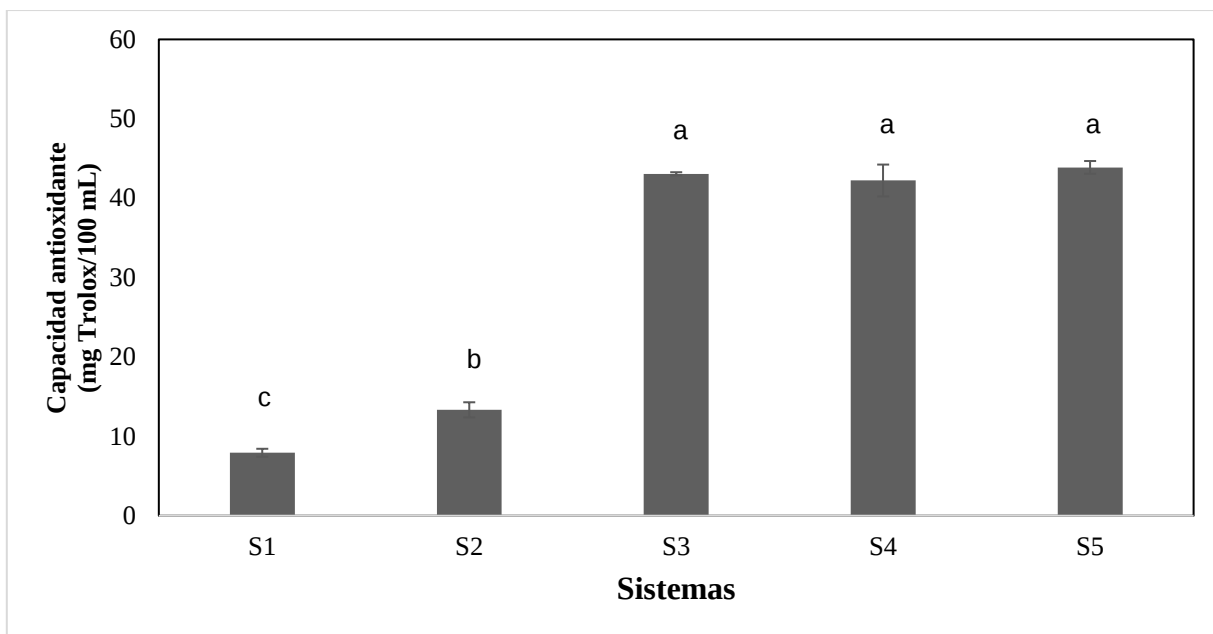


Figura 9. Capacidad antioxidante de bebidas fermentadas con *L. rhamnosus*.

Por último, en la Figura 10 se muestran el contenido de betalaínas totales de las bebidas S3, S4 y S5, en donde no se observaron diferencias significativas en el contenido de betalaínas ($p > 0.05$). Guadarrama (2018) trabajó con jugo de xoconostle liofilizado y reportó valores 2.49 mg betalaínas/100 mL. Por otro lado, Choo et al. (2018) elaboraron una bebida con pitahaya roja fermentada con la microbiota presente en el fruto reportando un contenido de betanina de 16.53 g/L, las diferencias pueden atribuirse al origen de la fruta, así como también a la presencia de *L. rhamnosus*, el cual como se mencionó anteriormente puede tener una influencia sobre los compuestos bioactivos.

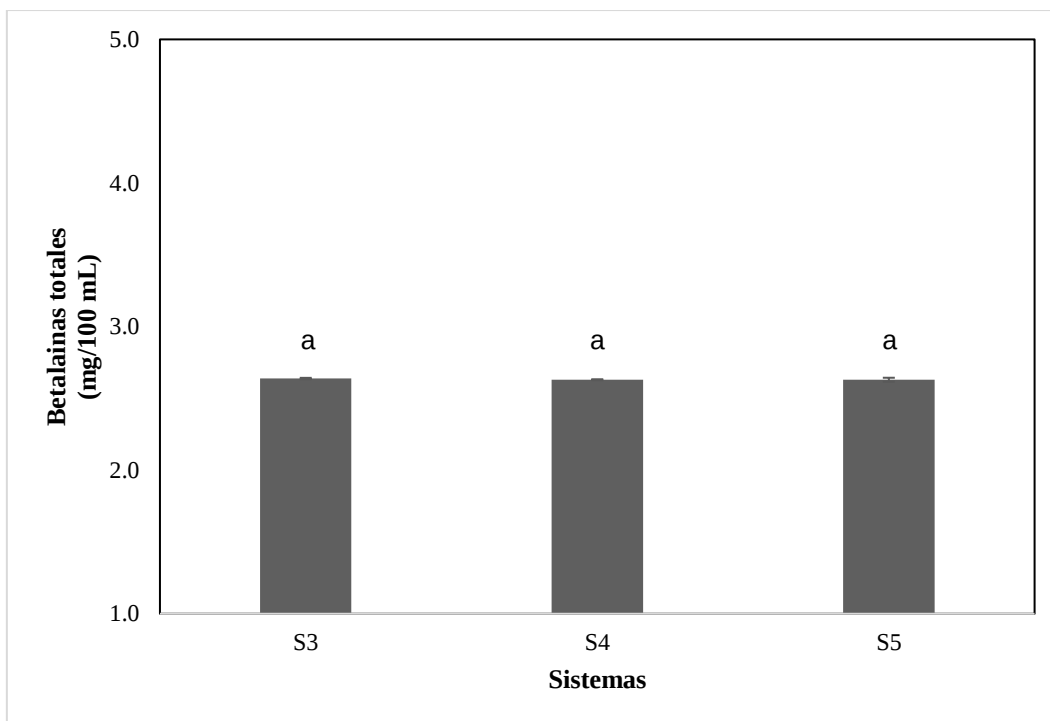


Figura 10. Contenido de betalaínas totales de bebidas fermentadas con *L. rhamnosus*.

8.6. Evaluación sensorial de las bebidas fermentadas

En la Figura 11 se presenta la imagen de las bebidas fermentadas con suero, inulina, pitahaya roja y *L. rhamnosus*. Y en la Tabla 13 se muestran los resultados de la evaluación sensorial con los atributos evaluados en las bebidas, mismos que fueron: color, olor, sabor y aceptación general. Se observó que, el color fue el que presentó un mayor puntaje (5.4 a 5.6) en los sistemas S3, S4 y S5, lo que significa “me gusta moderadamente”, esta preferencia en la aceptación puede ser atribuida al color rojo-rosado que presentaron estos sistemas y que puede ser debido a las betalaínas del fruto, los cuales son compuestos que no solo otorgan capacidad antioxidante, sino que dan un color rojo. Resultados similares respecto a la aceptación de bebidas con pitahaya roja fueron reportados por Choo et al. (2022), quienes mencionan que el color de la pitahaya influye en la aceptación de bebidas, en cuanto al atributo de olor y aceptación general, no se presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$), mientras que el sabor si presentó diferencia significativa ($p < 0.05$) esto debido a que los consumidores no tenían conocimiento sobre que esperar del sabor de la pitahaya.



Figura 11. Imagen de las bebidas fermentadas formuladas.

Tabla 13. Evaluación sensorial de las bebidas fermentadas con *L. rhamnosus*.

Sistema	Atributos			
	Color	Olor	Sabor	Aceptación general
1	4.42 ± 0.99 b	4.06 ± 1.13 a	3.98 ± 1.49 a,b	4.08 ± 1.32 a
2	4.36 ± 0.88 b	4.38 ± 1.01 a	4.34 ± 1.25 a	4.32 ± 1.17 a
3	5.40 ± 0.99 a	4.36 ± 1.06 a	3.44 ± 1.46 b	3.76 ± 1.36 a
4	5.76 ± 1.39 a	4.20 ± 1.03 a	4.00 ± 1.62 a,b	4.14 ± 1.58 a
5	5.46 ± 1.05 a	4.66 ± 1.49 a	4.24 ± 1.66 a	4.32 ± 1.68 a

*Promedio ± desviación estándar. Letras diferentes en columna indican diferencia significativa $\alpha = 0.05$.

Se decidió seleccionar a la bebida del sistema 5, porque fue la bebida que contenía tanto el probiótico como el prebiótico, así como los compuestos bioactivos de la pitahaya roja, esta bebida fue la que se analizó durante el almacenamiento.

8.7. Evaluación de la viabilidad y de los compuestos bioactivos de la bebida fermentada seleccionada durante el almacenamiento.

En la Tabla 14 se muestra la viabilidad de *L. rhamnosus*, los compuestos fenólicos, la actividad antioxidante y el contenido de betalaínas de la bebida S5 durante el almacenamiento en refrigeración durante 20 d. Respecto a la viabilidad del microorganismo, se puede observar que hubo diferencia significativa en la población

microbiana ($p < 0.05$), sin embargo, la viabilidad de *L. rhamnosus* se mantuvo por arriba de los 6 CL. Lo que se puede atribuir a la adición de la inulina, misma que promueve la viabilidad y supervivencia de los probióticos al servirle como alimento durante el almacenamiento. Obando et al. (2010) mencionan sobre la viabilidad de microorganismos probióticos en queso cottage durante el almacenamiento, diciendo que la viabilidad de los probióticos depende no sólo del producto al cual se han adicionado, sino que también a ciertos parámetros como lo son la acidez, fuentes de nitrógeno, actividad de agua, entre otros (Hayes et al., 2006).

Tabla 14. Efecto del almacenamiento sobre la viabilidad de *L. rhamnosus*, los compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y betalaínas de la bebida.

Parámetros evaluados durante el almacenamiento				
Tiempo (d)	Viabilidad Log (UFC/mL)	Compuestos fenólicos (mg EAG/100 mL)	Capacidad antioxidante (mg Trolox/100 mL)	Betalaínas totales (mg /100 mL)
0	7.74 ± 0.06a	15.70 ± 0.53a	97.89 ± 2.16a	2.52 ± 0.00a
5	7.67 ± 0.02a	16.81 ± 0.09a	86.33 ± 1.34a	1.94 ± 0.12b
10	7.50 ± 0.01b	22.76 ± 0.05a	93.70 ± 6.59a	2.06 ± 0.08b
15	7.50 ± 0.02b	22.05 ± 1.25a	101.73 ± 4.98a	2.04 ± 0.19b
20	7.38 ± 0.01c	21.25 ± 4.48a	102.46 ± 18.65a	1.73 ± 0.04b

*Promedio ± desviación estándar. Letras diferentes en columna indican diferencia significativa $\alpha = 0.05$.

Por otro lado, los CF incrementaron en un 35.35 %, así como la CA que también incrementó un 4.66 %, mientras que, las betalaínas se redujeron un 31.3 %. Estos incrementos o reducciones en los compuestos bioactivos pueden ser promovidos por las enzimas sintetizadas por los probióticos, Valenzuela (2020) reportaron que las bacterias lácticas propician cambios en la matriz alimentaria tanto nutricional del alimento, como de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

Moreno et al. (2007) mencionan que la estabilidad de bebidas cítricas acondicionadas con betalaínas provenientes de tuna y remolacha se reducen durante el almacenamiento, reportando valores de 0.86 – 0.93 mg/100mL al tiempo 0, y después de 21 d hubo una disminución del 19 y 27% de las betalaínas. Este comportamiento

de inestabilidad de las betalaínas se ve influenciado por diversos factores tales como la temperatura, pH, luz, actividad de agua y enzimática, así como a la presencia de oxígeno y/o metales (Flores *et al.*, 2019). Moreno-Álvarez *et al.* (2003) menciona que este tipo de comportamiento se ha observado en otro tipo de bebidas y que esto puede ser debido a la presencia del oxígeno presente en los espacios de cierre en la boquilla de los envases, al igual que la acción de los radicales libres y trazas de minerales causan una degradación acelerada de estos compuestos.

9. CONCLUSIONES

- La pitahaya roja se considera un fruto con ingredientes funcionales como: fibra dietética, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y betalaínas.
- Después de la fermentación la población de *L. rhamnosus* fue mayor a 7 CL en todas las bebidas formuladas.
- La adición de pitahaya en las bebidas S3, S4 y S5 incrementó el contenido de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante y betalaínas en comparación a las bebidas S1 y S2 que no contenían pitahaya.
- La evaluación sensorial mostró diferencias significativas en el color de las bebidas S3, S4 y S5, con un nivel de agrado de “Me gusta ligeramente”.
- La viabilidad de *L. rhamnosus* en la bebida 5 (suero de leche, inulina y pitahaya) se mantuvo por arriba de los 6 CL durante el almacenamiento a 5°C por 20 d.
- Hubo un aumento en los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, mientras que las betalaínas se redujeron en la bebida 5 después del almacenamiento.

10. RECOMENDACIONES

- Evaluar los microorganismos indicadores de calidad en las bebidas después del almacenamiento para asegurar la inocuidad de la bebida.
- Evaluar el comportamiento de los nutrientes y compuestos funcionales mediante procesos de simulación gástrica.
- Realizar una prueba sensorial después del almacenamiento para conocer su aceptabilidad.

11. REFERENCIAS

- Abedi, E. & Hashemi, S.M.B. (2020). Lactic acid production—producing microorganisms and substrates sources-state of art. *Heliyon*. 6 (10).
- Agustina, A., Elida, M., Putri, M. A., & Elviati, E. (2023). Chemical properties of dragon fruit probiotic drink produced by biocapsules *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei* M1. 3 isolated from “Dadih” traditional fermented food West Sumatra. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1160: 012042
- Al-Sheraji, S.H., Ismail, A., Manap, M.Y., Mustafa, S., Yusof, R. M., & Hassan, F. A. (2013). Prebiotics as functional foods: A review. *Journal of Functional Foods*. 5(4): 1542-1553.
- AOAC. (2000). Official Methods of Analysis. 14a edition. Association of Official Analytical Chemists, Inc. Washington D.C., EUA.
- Aparicio-Fernández, X., Vega-Ahuatzin, A., Ochoa-Velasco, C.E., Cid-Pérez, S., Hernández-Carranza, P., & Ávila-Sosa, R. (2018). Physical and antioxidant characterization of edible films added with red prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) cv. San Martín peel and/or its aqueous extracts. *Food and Bioprocess Technology*. 11: 368-379.
- Arivalagan, M., Karunakaran, G., Roy, T. K., Dinsha, M., Sindhu, B. C., Shilpashree, V. M., & Shivashankara, K. S. (2021). Biochemical and nutritional characterization of dragon fruit (*Hylocereus* species). *Food Chemistry*. 353: 129426.
- Attar, Ş., Gündeşli, M.A., Ürün, I., Kafkas, S., Kafkas, N.E., Ercişli, S., Ge, C., Mlček, J., & Adámková, A. (2022). Nutritional analysis of red-purple and white-fleshed pitaya (*Hylocereus*) species. *Molecules*. 27(3): 808.
- Badui, D.S. (2006). Capítulo 2: Hidratos de Carbono. En el libro: Química de Alimentos. Pearson Educación. (pp. 29-109).
- Bauer, R. (2003). A synopsis of the tribe Hylocereeae F. Buxb. *Cactaceae Systematics Initiatives* 17: 3-63.

- Bertrand-Harb, C., Ivanova, I. V., Dalgalarrrondo, M., & Haertllé, T. (2003). Evolution of β -lactoglobulin and α -lactalbumin content during yoghurt fermentation. *International Dairy Journal*. 13(1): 39-45.
- Calderón, O., Padilla, C., Chaves, C., Villalobos, L., & Laura Arias, M. (2007). Evaluación del efecto del cultivo probiótico *Lactobacillus rhamnosus* adicionado a yogurt natural y con probióticos comerciales sobre poblaciones de *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* O157: H7, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella enteritidis*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 57(1): 51-56.
- Carboni, A.D., Martins, G.N., Gómez-Zavaglia, A., & Castilho, P.C. (2023). Lactic acid bacteria in the production of traditional fermented foods and beverages of Latin America. *Fermentation*. 9: 315.
- Carr, F.J., Chill, D., & Maida, N., (2002). The lactic acid bacteria: a literature survey. *Critical Reviews in Microbiology*. 28 (4): 281-370
- Castellanos-Santiago, E., & Yahia, E. M. (2008). Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56(14): 5758-5764.
- Choo, K. Y., Kho, C., Ong, Y. Y., Thoo, Y. Y., Lim, R. L. H., Tan, C. P., & Ho, C. W. (2018). Studies on the storage stability of fermented red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) drink. *Food Science and Biotechnology*. 27: 1411-1417.
- Conidi, C. (2016). Bioactive Compounds. *Encyclopedia of Membranes*. 167-169
- Corrales, A., Henderson, M., & Morales, I. (2007). Sobrevivencia de microorganismos probióticos en helado batido *Lactobacillus acidophilus* Y *Bifidobacterium lactis* en helado batido. *Revista chilena de nutrición*. 34: 157-163.
- Davani-Davari, D., Negahdaripour, M., Karimzadeh, I., Seifan, M., Mohkam, M., Masoumi, S. J., & Ghasemi, Y. (2019). Prebiotics: definition, types, sources, mechanisms, and clinical applications. *Foods*. 8(3): 92.

- De La Rosa, L.A., Moreno-Escamilla, J.O., Rodrigo, J., & Alvarez-Parrilla, E. (2019). Phenolic Compounds. En Elsevier eBooks (pp. 253-271).
- Díaz, C.J.R. (2017). ¿Pitaya o pitahaya? Ni son lo mismo, ni son iguales. Desde El Herbario CICY. 9: 63–65.
- Esquivel, P. (2024). Betalains. In Handbook on natural pigments in food and beverages (pp. 147-167). Woodhead Publishing.
- Esquivel, P., & Araya, Y. (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* spp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 3(1): 113-129.
- Feiner, G. (2006). The microbiology of specific bacteria. En Elsevier eBooks (pp. 595-615).
- Flores, M.M.A., Rentería, M.A.L., Sánchez, V.R., & Chávez, M.A. (2019). Estructura y estabilidad de las betalaínas. Interciencia. 44: 318-325.
- Galego, J. (2019). *Lactobacillus rhamnosus* GG (LGG), 30 años de beneficios y evidencia. El farmacéutico: profesión y cultura. (578): 37-40.
- García-Cruz, L., Salinas-Moreno, Y., & Valle-Guadarrama, S. (2012). Betalaínas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.). Revista fitotecnica mexicana. 35(5): 01-05.
- Garczewska-Murzyn, A., Smoczyński, M., Kotowska, N. (2022). Effect of buttermilk and skimmed milk powder on the properties of low-fat yoghurt. Journal Food Science Technology. 59: 2160–2167.
- Gengatharan, A., Dykes, G., & Choo, W. (2015). Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. LWT-Food Science and Technology. 64: 645-649.
- Gómez-Gómez, H.A., Borges, C.V., Minatel, I.O., Luvizon, A.C., & Lima, G.P.P. (2018). Health benefits of dietary phenolic compounds and biogenic amines. Bioactive Molecules in Food: 1-25.

- Guadarrama, A.H. (2018). Protección de betalaínas de xoconostle (*Opuntia matudae*) mediante su inclusión en complejos polisacárido-polisacárido. [Tesis para obtener el grado de maestro en ciencia y tecnología agroalimentaria]. Universidad Autónoma Chapingo
- Guerra, A.C., Martins, E. M. F., Paula, D.D.A., Leite Júnior, B.R.D.C., Silva, R.R.D., Franco, F.S.L.C., Martins, M.L. & Oliveira, G.H.H.D. (2023). Viability and resistance of *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG to passion fruit beverages with whey protein isolate. *Brazilian Journal of Food Technology*. 26: e2022051.
- Guillot, C. C. (2018). Actualización en prebióticos. *Revista Cubana de Pediatría*. 90(4): e648
- Gupta, V., & Garg, R. (2009). Probiotics. *Indian Journal of Medical Microbiology*. 27(3): 202-209.
- Hamzalıoğlu, A., & Gökmen, V. (2016). Interaction between bioactive carbonyl compounds and asparagine and impact on acrylamide. En Elsevier eBooks (pp. 355-376).
- Hayes, M., Coakley, M., O'Sullivan, L., Stanton, C., Hill, C., Fitzgerald, G.F., & Murphy, J.J. (2006). Cheese as a delivery vehicle for probiotics and biogenic substances. *Australian Journal Dairy Technology*. 61 (2): 132-141.
- Hernández, G. P., & Salazar, M. B. (2017). Efecto de las betalaínas y fenoles solubles totales de pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) como antioxidantes en yogur (Tesis doctoral, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana).
- Huda, A. R., Kee, Y. S., Wong, K., Zakaria, L., & Mohd, M. H. (2021). Diaporthe species causing stem gray blight of red-fleshed dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) in Malaysia. *Scientific Reports*. 11(1): 3907.
- Kanner, J., Harel, S., & Granit, R. (2001). Betalains a new class of dietary cationized antioxidants. *Journal of Agricultural and Food chemistry*. 49 (11): 5178-5185.
- Keşa, A., Pop, C., Mudura, E., Salanță, L.C., Pasqualone, A., Darab, C., Burja-Udrea, C., Zhao, H., & Coldea, T. E. (2021). Strategies to improve the potential functionality of fruit-based fermented beverages. *Plants*. 10(11): 2263.

- Khalid, K. & Hung K, L. (2009). Screening lactic acid bacteria for antimicrobial compound production. *Nature Precedings*. Consultado: 02 marzo 2024. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/npre.2009.3326.1>
- Kozłowska, A., & Szostak-Wegierek, D. (2018). Flavonoids—food sources, health benefits, and mechanisms involved. *Bioactive Molecules in Food*. Cham Springer: 1-27.
- Lamos, D. A., Díaz, L. N. M., Sánchez, M. A. V., & Girón, J. M. (2018). Alimentos funcionales: avances de aplicación en agroindustria. *Tecnura*. 22(57): 55-68.
- Lara-Fiallos, M., Lara-Gordillo, P., Julián-Ricardo, M.C., Pérez-Martínez, A., & Benítez-Cortés, I. (2017). Avances en la producción de inulina. *Tecnología Química*. 37(2): 352-366.
- Le Bellec, F., & Vaillant, F. (2011). Pitahaya (*Hylocereus* spp.). In *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits* (pp. 247-273e). Woodhead Publishing.
- Lin, D., Xiao, M., Zhao, J., Li, Z., Xing, B., Li, X., Kong, M., Li, L., Zhang, Q., Liu, Y., Chen, H., Qin, W., Wu, H., & Chen, S. (2016). An overview of plant phenolic compounds and their importance in human nutrition and management of type 2 Diabetes. *Molecules*. 21(10): 1374.
- Liptáková, D., Valík, L., & Medveďová, A. (2008). Characterization of the growth of *Lactobacillus rhamnosus* GG in milk at suboptimal temperatures. *Journal of Food and Nutrition Research*. 47: 60-67.
- Luengo, M.T.L. (2002). Flavonoides. *Offarm: Farmacia y Sociedad*. 21 (4): 108-113.
- Luna-Guevara, M. L., Luna-Guevara, J. J., Hernández-Carranza, P., Ruíz-Espinosa, H., & Ochoa-Velasco, C. E. (2018). Phenolic compounds: A good choice against chronic degenerative diseases. *Studies In Natural Products Chemistry*. 59: 79-108.
- Madrigal, L., & Sangronis, E. (2007). La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *Activos Latinoamericanos de Nutrición*. 57(4): 387-396.
- Maigoda, T.C., Rizal, A.D., Yuliantini, E., Mahyuddin, K.M., Wahyuni, E., Heryati, K., Lubis, & Y., PS. (2017). Red dragon fruit powder as a basic ingredient for functional foods

- rich in bioactive compounds, nutritional substances and antioxidants. *Pakistan Journal of Nutrition*. 16: 714-718.
- Mannaa, M., Han, G., Seo, Y., Park, I. (2021). Evolution of food fermentation processes and the use of multi-omics in deciphering the roles of the microbiota. *Foods*. 10 (11): 2861.
- Manzanero-Acevero, L.A., Márquez, R.I., Zamora-Crescencio, P., Rodríguez-Canché, L. G., Ortega-Haas, J.J., & Benito-Bernardo, D.C. (2014). Conservación de la pitahaya [*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose] en el estado de Campeche, México. *Foresta Veracruzana*. 16(1): 9-16.
- Marcel, B.S. (2021). Dragon fruit. CINAHL Nutrition Guide EBSCO Publishing. Consultado: 03 de marzo de 2024. Disponible en: <https://ebSCO.bibliotecabuap.elogim.com/login.aspx?direct=true&db=nuc&AN=T906621&lang=es&site=ehost-live>.
- Mejía, H.A., Muriel Ruiz, S.B., Montoya, C.A., & Reyes Sequeda, C. (2013). Caracterización morfológica *in situ* de genotipos de *Hylocereus spp.* (Fam.: *Cactaceae*) de Antioquia y Córdoba (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 66 (1): 6845-6854.
- Miranda, S. P. (2016). Application of chitosan in fresh and minimally processed fruits and vegetables. En Elsevier eBooks (pp. 67-113).
- Mokoena, M. P. (2017). Lactic acid bacteria and their bacteriocins: classification, biosynthesis and applications against uropathogens: A Mini-Review. *Molecules*. 22(8): 1255.
- Moreno, M., Betancourt, M., Pitre, A., García., D., Belén., D., & Medina., C. (2007). Evaluación de la estabilidad de bebidas cítricas acondicionadas con dos fuentes naturales de betalaínas: tuna y remolacha. *Bioagro*. 19(3): 149-159.
- Moreno-Álvarez, M. J., Medina, C., Antón, L., García, D., & Belén Camacho, D. R. (2003). Uso de pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) en la elaboración de bebidas cítricas pigmentadas. *Interciencia*. 28(9): 539-543.

- Mozzi, F. (2016). Lactic acid bacteria. En B. Caballero, P.M. Finglas, & F. Toldrá (Eds.), Encyclopedia of Food and Health. 501-508.
- Navas, J.S.R. (2012). Aprovechamiento industrial de lactosuero mediante procesos fermentativos. Publicaciones e investigación. 6: 69-83.
- Norma Mexicana NMX-F-102-NORMEX-2010. Alimentos-Determinación de acidez titulable en alimentos. Método de ensayo (prueba).
- Norma Mexicana NMX-F-103-NORMEX-2009. Alimentos-Determinación de grados Brix en alimentos y bebidas método de ensayo (prueba).
- Norma Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.
- Norma Oficial Mexicana NOM-F-317-S-1978. Determinación de pH en Alimentos.
- Obando, C.M., Brito, C.C.S., Schöbitz, T.R.P., Baez, M.L.A., & Horzella, R.M.Y. (2010). Viabilidad de los microorganismos probióticos *Lactobacillus casei* 01, *Lactobacillus acidophilus* La-5, *Bifidobacterium* BB12 durante el almacenamiento de queso cottage. VITAE, Revista De La Facultad De Química Farmacéutica. 17: 141-148.
- Obregón La Rosa, A. J., & Lozano Zanelly, G. A. (2021). Compuestos nutricionales y bioactivos de tres frutas provenientes de la sierra y la selva de Perú como fuente potencial de nutrientes para la alimentación humana. Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 22(2): e1835.
- Ochoa-Velasco, C.E.; García-Vidal, V.; Luna-Guevara, J.J., Luna-Guevara, M.L., Hernández-Carranza, P., & Guerrero-Beltrán., J.A. (2012). Características antioxidantes, fisicoquímicas y microbiológicas de jugo fermentado y sin fermentar de tres variedades de pitahaya (*Hylocereus* spp). Scientia Agropecuaria 3: 279-289.
- Parra, R.A. (2009). Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. 62(1): 4967-4982.

- Parra, R.A. (2010). Review. Bacterias ácido lácticas: papel funcional en los alimentos. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 8 (1): 93-105.
- Paz-Gamboa, E., Aurelio-Hernández, D., Vivar-Vera, M.A., Pérez-Silva, A., & Martínez-Sánchez, C.E. (2019). Aprovechamiento del jugo de pitaya (*Stenocereus stellatus*) en una bebida láctea probiótica de pitaya. *Revista de Coloquio de Investigación Multidisciplinaria*. 7: 1715-1722
- Pérez Trueba, G. (2003). Los flavonoides: antioxidantes o prooxidantes. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, Consultado: 04 de marzo de 2024, Disponible: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03002003000100007&lng=es&tlng=es.
- Rodríguez, D.M., Del Pilar, M., Lasprilla, D.M., Fischer, G., & Vanegas, J.D.O. (2005). Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento en postcosecha de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía*. 58(2): 2837-2857.
- Rodzi, N.A.R.M. & Lee, L.K. (2021). Traditional fermented foods as vehicle of non-dairy probiotics: Perspectives in South East Asia countries. *Food Research International*. 150: 110814.
- Ruzainah, A.J., Ahmad, R., Nor, Z., & Vasudevan, R. (2009). Proximate analysis of dragon fruit (*Hylecereus polyhizus*). *American Journal of Applied Sciences*. 6(7): 1341-1346.
- Salazar, B.C., & Montoya, O.I. (2003). Importancia de los probióticos y prebióticos en la salud humana. *Vitae*. 10(2): 20-26.
- Samaniego, L. M., & Sosa del Castillo, M. (2000). *Lactobacillus* spp.: Importantes promotores de actividad probiótica, antimicrobiana y bioconservadora. *Universitaria. Cuba. En eBooks* (pp. 1-21).
- Sánchez, M.T., Ruiz, M.A., & Morales, M.E. (2015). Microorganismos probióticos y salud. *Ars pharmaceutica* (Internet). 56(1): 45-59.

- Santarrosa, Q.V.P. (2013). Evaluación nutricional comparativa de pitahaya (*Hylocereus triangularis*) deshidratada en deshidratador de bandejas con la liofilizada. (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación De Semillas, S. N. (2017). Pitahaya (*Hylocereus* spp). Consultado: 28 febrero 2024. Disponible en: <https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/pitahaya-hylocereus>
- Shah, K., Chen, J., Chen, J., & Qin, Y. (2023). Pitaya nutrition, biology, and biotechnology: A review. *International Journal of Molecular Sciences*. 24(18): 13986.
- SIAP. (2020). Consultado: 19 abril 2024. Disponible en: [https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/pitahaya-hylocereus#:~:text=En%20cuanto%20a%20Pitahaya%20se,pesos%20\(SIAP%2C%202015\)](https://www.gob.mx/snics/acciones-y-programas/pitahaya-hylocereus#:~:text=En%20cuanto%20a%20Pitahaya%20se,pesos%20(SIAP%2C%202015)).
- Šikić, M., Turk, D., Fiján, S. (2022). Knowledge of fermentation and health benefits among general population in North-eastern Slovenia. *BMC Public Health*. 1695.
- Sodini, I., Morin, P., Olabi, A., & Jiménez-Flores, R. (2006). Compositional and functional properties of buttermilk: A comparison between sweet, sour, and whey buttermilk. *Journal of Dairy Science*. 89(2): 525-536.
- Sotomayor, A., Pitzaca, S., Sánchez, M., Burbano, A., Díaz, A., Nicolalde, J., Viera, W., Caicedo, C., & Vargas, Y. (2019). Evaluación físico química de fruta de pitahaya *Selenicereus megalanthus* en diferentes estados de desarrollo. *Enfoque UTE*. 10(1): 89-96.
- Strack, D., Vogt, T., & Willibald, S. (2003). Recent advances in betalain research. *Phytochemistry*. 62(3): 247-269.
- Teneva, T., Hristova, I., Pavlov, A., & Beshkova, D. (2018). Lactic acid bacteria—from nature through food to health. *Advances in Biotechnology for Food Industry*. 91-133.

- Tenore, G.C., Novellino, E., & Basile, A. (2012). Nutraceutical potential and antioxidant benefits of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) extracts. *Journal of Functional Foods*. 4(1): 129-136.
- Umeonuorah, U.C., & Arueya, G.L. (2022). Characterization of inulin, a prebiotic fiber sourced from okra (*Abelmoschus esculentus* L.) pod and its quality compared to chicory (*Cichorium intybus* L.) inulin. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 16(6): 4364-4371.
- Valenzuela, G.J.L. (2020). Bioaccesibilidad *in vitro* de compuestos fenólicos presentes en galletas a base de masas de sorgo fermentadas y su efecto sobre los atributos sensoriales. [Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias]. Universidad de Sonora.
- Velázquez-López, A., Covatzin-Jirón, D., Toledo-Meza, M. D., & Vela-Gutiérrez, G. (2018). Bebida fermentada elaborada con bacterias ácido lácticas aisladas del pozol tradicional chiapaneco. *CienciaUAT*. 13(1): 165-178.
- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. M. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*. 11(3): 439-453.
- Villanueva-Flores, R. (2015). Probióticos: una alternativa para la industria de alimentos. *Ingeniería Industrial*. 33: 265-275.
- Williams, N. T. (2010). Probiotics. *American Journal of Health-System Pharmacy*. 67(6): 449-458.
- Wong, Y.M., & Siow, L.F. (2015). Effects of heat, pH, antioxidant, agitation and light on betacyanin stability using red-fleshed dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) juice and concentrate as models. *Journal of Food Science and Technology*. 52: 3086-3092.
- Wu, L. C., Hsu, H. W., Chen, Y. C., Chiu, C. C., Lin, Y. I., & Ho, J. A. A. (2006). Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. *Food Chemistry*. 95(2): 319-327.
- Zee, F., Yen, C. R., & Nishina, M. (2004). Pitaya (dragon fruit, strawberry pear). Consultado 29 febrero 2024. Disponible en:

<https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/server/api/core/bitstreams/85b8250d-3b81-422f-97b2-c3518f1b3fa5/content>