



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Título del Proyecto:

Desarrollo y evaluación de la estabilidad de microencapsulados de una mezcla a base de extractos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) y fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) adicionados con probióticos microencapsulados por secado por aspersión.

P R E S E N T A:

Sandra González Meneses

DIRECTOR (a) Y CODIRECTOR (a) DE TESIS:

Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez

Dra. Reyna Nallely Falfán Cortés

14 de abril del 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Institute of Agricultural Sciences

Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos

Academic Area of Agroindustrial engineering and Food Engineering

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 14 de abril de 2026

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado

Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado a la pasante de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos, **Sandra González Meneses**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **“Desarrollo y Evaluación de la Estabilidad de Microencapsulados de una Mezcla a Base de Extractos de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) y fresa (*Fragaria ananassa* Duch.) Adicionados con Probióticos Microencapsulados por Secado por Aspersión”**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

PRESIDENTE	Dra. Heidi María Palma Rodríguez
SECRETARIO	Dra. Reyna Nallely Falfán Cortés
VOCAL 1	Dr. Ricardo Omar Navarro Cortez
SUPLENTE 1	Dr. Juan Pablo Hernández Uribe

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
“Amor, Orden y Progreso”

Dra. Beatriz del Carmen Coutiño Laguna
Coordinadora Ingeniería en Alimentos

“Amor, Orden y Progreso”



Av. Universidad No. 133, Col. San Miguel Huatengo, Santiago
Tulantepec. C.P. 43775. Hidalgo, Mexico.
Teléfono: 7717172000 Ext. 42021
ricardo_navarro@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

A mi papá, por su trabajo y esfuerzo incansable apostado en todos mis sueños. Por ser pilar incondicional que cree siempre en mí y ser mi mejor ejemplo de que la disciplina, responsabilidad y humildad son el camino al éxito.

A mi mamá, por ser el corazón que con entrega y fortaleza sostiene todo. Por ser mi guía y motivación enseñándome que la voluntad es la fuerza transformadora que dirige mi vida. Y por ser mi constante refugio con sus oraciones.

A Ilce y Ana, por ser la red que me sostiene cuando todo se me viene abajo y mi mejor abrigo cuando todo va bien.

A Aldo, por hacer suyos mis sueños, compartir mis metas y ser mi cómplice en todo momento.

A Enedina, por entregarme todo lo que hay en su corazón sin esperar nada a cambio.

A Edgar y Rosy, por el aprendizaje compartido a través de la amistad.

A la Doctora Nallely y al Doctor Ricardo por ser liderazgo, paciencia y disciplina en equipo.

Y mi gratitud infinita a Dios, por siempre ponerme en el lugar al que pertenezco.

DEDICATORIAS

“A todas las niñas pequeñas que encuentran en la ciencia una forma nueva de ver el mundo.”

ÍNDICE

ÍNDICE	4
ÍNDICE DE TABLAS	1
ÍNDICE DE FIGURAS	2
RESUMEN.....	1
I. INTRODUCCIÓN.....	2
II. MARCO TEORICO	3
2.1 Enfermedades de interés prioritario en México.....	3
2.2 Enfermedades no transmisibles (ENT)	3
2.3 Compuestos bioactivos.....	4
2.4 Compuestos bioactivos y su beneficio en la salud humana	5
2.4.1 Fitoquímicos	5
2.5 Jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L).....	6
2.5.1 Generalidades	6
2.5.2 Fitoquímicos en la jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L).....	8
2.5.3 Beneficios de la jamaica en la salud humana	9
2.6 Fresa (<i>Fragaria ananassa</i> Duch).....	9
2.6.1 Generalidades	10
2.6.2 Fitoquímicos en la fresa (<i>Fragaria ananassa</i> Duch)	10
2.6.3 Beneficios de la fresa en la salud humana.....	11
2.7 Probióticos.....	12
2.8 Beneficios de los probióticos en la salud	13
2.9 Microencapsulación	14
2.9.1 Métodos y materiales de pared para la microencapsulación de compuestos bioactivos.....	14
2.10 Microencapsulación y estabilidad de compuestos bioactivos.....	16
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
IV. HIPÓTESIS.....	19
V. OBJETIVOS	20
5.1 Objetivo general	20
5.2 Objetivos específicos.....	20
VI. METODOLOGÍA.....	21
6.1 Materiales.....	21
6.2 Obtención de polvo de jamaica y fresa	21

6.3 Mezcla de polvo jamaica-fresa	21
6.4 Obtención de extractos de polvo jamaica-fresa	22
6.5 Determinación de compuestos bioactivos presentes	22
6.5.1 Cuantificación de fenoles totales.....	22
6.5.2 Actividad antioxidante por el método ABTS	23
6.5.3 Actividad antioxidante por el método DPPH	23
6.5.4 <i>Lacticaseibacillus paracasei</i> (L20)	24
6.5.5 Microencapsulación por secado por aspersión	25
6.6 Caracterización de microencapsulados.....	26
6.6.1 Estabilidad de microencapsulados a condiciones controladas	26
6.6.2 Viabilidad del probiótico en microcapsulados almacenados a distintas condiciones.	27
6.6.3 Microscopía electrónica de barrido	28
6.6.4 Actividad antimicrobiana.....	28
VI. RESULTADOS	30
7.1 Estabilidad de fenoles totales en microencapsulados y en polvo sin microencapsular	30
7.2 Actividad antioxidante por método ABTS en microencapsulado y en polvo sin microencapsular	35
7.3 Actividad antioxidante por método DPPH en microencapsulado y en polvo sin microencapsular.	44
7.4 Viabilidad de <i>Lacticaseibacillus paracasei</i> microencapsulado con jamaica-fresa.....	54
7.5 Actividad antimicrobiana en microencapsulado	57
7.6 Microscopia electrónica de barrido en microencapsulado.....	60
VIII. CONCLUSIONES	63
IX. BIBLIOGRAFÍA	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. División taxonómica de la jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L).....	7
Tabla 2. División taxonómica de la fresa (<i>Fragaria ananassa</i> Duch).....	10
Tabla 3. Concentración de fenoles totales en polvo sin microencapsular y en polvo microencapsulado de jamaica-fresa con probiótico L20 <i>Lacticaseibacillus paracasei</i> a condiciones controladas.....	32
Tabla 4. Concentración de actividad antioxidante por método ABTS en polvo sin microencapsular y en polvo microencapsulado de jamaica-fresa con probiótico L20 <i>Lacticaseibacillus paracasei</i> a condiciones controladas.....	37
Tabla 5. Porcentaje de inhibición de actividad antioxidante por método ABTS (%) en polvo sin microencapsular y en polvo microencapsulado de jamaica-fresa con probiótico L20 <i>Lacticaseibacillus paracasei</i> a condiciones controladas.....	41
Tabla 6. Concentración de actividad antioxidante por método DPPH en polvo sin microencapsular y en polvo microencapsulado de jamaica-fresa con probiótico L20 <i>Lacticaseibacillus paracasei</i> a condiciones controladas.....	46
Tabla 7. Porcentaje de inhibición de actividad antioxidante por método DPPH en polvo sin microencapsular y en polvo microencapsulado de jamaica-fresa con probiótico L20 <i>Lacticaseibacillus paracasei</i> a condiciones controladas.....	50
Tabla 8. Viabilidad por el método de vaciado en placa de las BAL L-20 en microencapsulados almacenados a distintas condiciones durante seis semanas..	55
Tabla 9. Halos de inhibición (mm) de actividad antimicrobiana en extractos de polvo sin microencapsular y microencapsulado de jamaica-fresa con probiótico L20 <i>Lacticaseibacillus paracasei</i> frente a bacterias patógenas.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa L</i>).....	4
Figura 2. Principales fitoquímicos en la planta de jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa L</i>).3	
Figura 3. Planta de fresa (<i>Fragaria ananassa Duch</i>).....	5
Figura 4. Principales fitoquímicos en la fresa (<i>Fragaria ananassa Duch</i>).....	11
Figura 5. Procedimiento para la obtención de polvo.....	20
Figura 6. Procedimiento para obtención de extractos.....	21
Figura 7. Stock de <i>Lacticaseibacillus paracasei</i> (L20).....	23
Figura 8. Obtención de paquete celular.....	24
Figura 9. Proceso de microencapsulación de extracto por secado por aspersion.25	
Figura 10. Almacenamiento a condiciones controladas.....	27
Figura 11. Procedimiento de viabilidad de bacteria en microencapsulado.....	27
Figura 12. Procedimiento de actividad antimicrobiana.....	28
Figura 13. Concentración de fenoles totales en microencapsulado de jamaica-fresa con BAL L-20 y polvo sin microencapsular analizados en condiciones controladas durante 6 semanas. A) Condición 75 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura, B) condición 75 % de humedad relativa a 7 °C, C) condición de 32 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura y D) condición de 32 % de humedad relativa a 7 °C de temperatura.....	30
Figura 14. Concentración de actividad antioxidante por método ABTS en polvo microencapsulado de jamaica-fresa con BAL L-20 y en polvo sin microencapsular analizados en condiciones controladas durante seis semanas. A) Condición 75 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura, B) condición 75 % de humedad relativa a 7 °C, C) condición de 32 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura y D) condición de 32 % de humedad relativa a 7 °C de temperatura.....	35
Figura 15. Porcentaje de inhibición del radical ABTS sobre microencapsulados de jamaica-fresa con BAL L-20 y en polvo sin microencapsular analizados en condiciones controladas durante seis semanas. A) Condición 75 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura, B) condición 75 % de humedad relativa a 7 °C, C) condición de 32 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura y D) condición de 32 % de humedad relativa a 7 °C de temperatura.....	39

Figura 16. Concentración de actividad antioxidante por método DPPH en polvo microencapsulado de jamaica-fresa con BAL L-20 y en polvo sin microencapsular analizados en condiciones controladas durante seis semanas. A) Condición 75 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura, B) condición 75 % de humedad relativa a 7 °C, C) condición de 32 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura y D) condición de 32 % de humedad relativa a 7 °C de temperatura.....44

Figura 17. Porcentaje de inhibición del radical DPPH en polvo microencapsulado de jamaica-fresa con BAL L-20 y en polvo sin microencapsular analizados en condiciones controladas durante seis semanas. A) Condición 75 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura, B) condición 75 % de humedad relativa a 7 °C, C) condición de 32 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura y D) condición de 32 % de humedad relativa a 7 °C de temperatura.....48

Figura 18. Concentración de microorganismos por el método de vaciado en placa de las BAL L-20 en microencapsulados almacenados durante seis semanas a la condición de 32 % de humedad relativa y 7 °C de temperatura.....53

Figura 19. Micrografía de microencapsulado de mezcla jamaica-fresa (25%-75%) y almidón N-Lok obtenido mediante secado por aspersion observado a un aumento de 1000x con medición de diámetro.....58

Figura 20. Micrografía de microencapsulados mezcla jamaica-fresa (25%-75%) y almidón N-Lok obtenidos mediante secado por aspersion observados a un aumento de 500x: a) condición de almacenamiento de 32 % de humedad relativa a 7 °C de temperatura, b) condición de almacenamiento de 75 % de humedad relativa a 7 °C de temperatura, c) condición de almacenamiento de 32 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura y d) condición de almacenamiento de 75 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura.....59

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue microencapsular extracto de mezcla de polvo de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L) y fresa (*Fragaria ananassa* Duch), y *Lactocaseibacillus percasei* L20 como probiótico, utilizando el método de secado por aspersión y evaluar la estabilidad del polvo microencapsulado y sin microencapsular, almacenados a cuatro condiciones controladas de humedad y temperatura. Se evaluó la actividad antimicrobiana de los microencapsulados frente a patógenos como: *Escherichia coli* (O157:H7 E09), *Salmonella typhimurium* (ATCC 14028), *Listeria monocytogenes* (ATCC 19115) y *Staphylococcus aureus* (ATCC25923). Para microencapsular el extracto acuoso de fresa y jamaica se utilizó como material pared almidón comercial N-Lok (Ingredion, México). Después de la microencapsulación se cuantificaron compuestos bioactivos como fenoles totales y la actividad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH, durante el almacenamiento en condiciones controladas a dos temperaturas (7°C y 30°C) y a dos humedades relativas (75% y 32%) durante seis semanas. También se obtuvo la morfología de los microencapsulados con microscopía electrónica de barrido (MEB). Los microencapsulados presentaron concentraciones de fenoles totales de hasta 3.61 mg EAG/g. En el estudio de la estabilidad los microencapsulados presentaron mayor estabilidad a humedades relativas de 32 % y a temperatura de 7 °C, manteniendo su morfología íntegra y teniendo una lenta disminución de degradación de compuestos bioactivos. La concentración de probióticos en los microencapsulados fue > 9 Log UFC/g al final del almacenamiento después de seis semanas. Los microencapsulados presentaron actividad antimicrobiana frente a *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Listeria monocytogenes* (ATCC 19115), *Escherichia coli* (O157:H7 E09) y *Salmonella typhimurium* (ATCC 14028) en una dilución de 100 mg con halos regularmente de >20 mm. Finalmente se obtuvieron microencapsulados con alta concentración de fenoles totales, actividad antioxidante, y actividad antimicrobiana, los cuales representan una alternativa tecnológica a partir de materias primas como la fresa y la jamaica con probióticos en concentraciones adecuadas para un posible efecto benéfico en la salud.

I. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades no transmisibles (ENT) reciben esta denominación debido a que estas no desaparecen de manera espontánea y provocan alteraciones que afectan órganos, sin que exista hasta el momento una cura definitiva, por lo que únicamente pueden ser controladas. Sin embargo, la Organización Mundial de la Salud (OMS), sugiere que una dieta adecuada puede contribuir de forma eficiente a la prevención y manejo de diversos padecimientos, los alimentos ricos en compuestos bioactivos y probióticos en cantidades apropiadas aportan a la dieta humana muchos beneficios a la salud. Los probióticos son seguros para el consumo humano siempre que cumplan con los criterios específicos de sanidad, eficacia, pureza y concentración (OMS/FAO, 2001). Los cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L) son valorados a nivel comercial, ya que de ellos se obtienen extractos concentrados con aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica. La fresa (*Fragaria ananassa* Duch) es otro alimento rico en compuestos fenólicos y vitamina C, por lo que al incluirla en mezcla con la jamaica ambas hacen un extracto prometedor. No obstante, los compuestos bioactivos, tanto de origen vegetal como microbiano, pueden ser afectadas sus propiedades benéficas, cuando se exponen a diferentes condiciones ambientales, debido a su gran sensibilidad a factores físicos y químicos como temperatura, radiación y pH, y paso a través del tracto gastrointestinal, cuando son consumidos, lo cual impacta negativamente en su funcionalidad. Ante esta problemática, se ha utilizado la microencapsulación, como una técnica que permite proteger los componentes bioactivos, preservando su estabilidad y viabilidad. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo obtener microencapsulados con potencial funcional y probiótico elaborados a partir de extractos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L) y fresa (*Fragaria ananassa* Duch) adicionados con probióticos.

II. MARCO TEORICO

2.1 Enfermedades de interés prioritario en México

Según el IMSS (2024) se ha establecido una lista numerosa de enfermedades de interés prioritario, haciendo énfasis en aquellas que representan la mayor carga de morbilidad y mortalidad entre la población. Cabe resaltar que estas enfermedades son objeto de atención integral mediante diferentes protocolos clínicos, estrategias preventivas y programas de investigación que ayudan a llevar un control estructurado y enfocado en cada una de estas enfermedades y sus generalidades.

Para abordar las enfermedades de interés prioritario es importante identificar cada una de ellas y poder implementar protocolos de atención integral, los cuales dan un enfoque preventivo y de detección oportuna; así como, para su investigación científica y medica con mayor precisión para una mejor salud pública. Entre las principales enfermedades de interés proritario se encuentran la diabetes mellitus, la obesidad y el sobrepeso, hipertensión arterial sistemática, cáncer, infarto agudo al miocardio, enfermedades cerebrovasculares, insuficiencia cardiaca, trasplantes de corazón, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), hemofilia hereditaria y ahora también COVID-19 (IMSS, 2025).

Es importante destacar que estas enfermedades han sido constantemente las principales causas de muerte en los últimos años, con un registro del 20.8% las enfermedades del corazón (con 97,187 defunciones) y 14.3% diabetes mellitus (con 55,885 defunciones) del total de defunciones registradas en el país (INEGI, 2023).

2.2 Enfermedades no transmisibles (ENT)

Según la OMS (2024) las enfermedades no transmisibles son afecciones de larga duración y progresión lenta que no se transmiten de persona a persona. Estas enfermedades son la principal causa de muerte a nivel mundial, representando aproximadamente el 74% de todas las defunciones.

Las enfermedades no transmisibles son muchas, las cuales podemos encontrar dentro de las de interés prioritario, debido a que estas no son causadas por virus ni bacterias; si no que, suelen estar relacionadas con el estilo de vida poco saludable, común en nuestro país conformado por mala alimentación, tabaquismo,

sedentarismo, consumo de alcohol, entre otros (The Lancet Regional Health-Europe, 2025). De acuerdo con la OMS (2023) estas enfermedades son consecuencias de una combinación de factores biológicos, genéticos, ambientales y conductuales, ocupando como número uno la mala alimentación.

2.3 Compuestos bioactivos

A lo largo de los últimos años, ha surgido un interés notable por estos compuestos; ya que, han mostrado potenciales efectos positivos en la salud, lo que ha llevado tanto a la industria alimentaria como a la comunidad científica a enfocar sus estudios en productos que los contengan (Banožić *et al.*, 2020; Tangarife *et al.*, 2021). El término bioactivo está formado por dos palabras: bio y activo. Etimológicamente, bio proviene del griego *bios*, que significa vida, mientras que –activo tiene su origen en el latín *activus*, cuyo significado se asocia con dinamismo, energía o la realización de actividad. Dándole significado a esta actividad como la manifestación de vida o un funcionamiento (Guadaaoui *et al.*, 2014).

La mayoría de compuestos bioactivos son metabolitos secundarios extraídos de fuentes naturales como plantas, animales, hongos y microorganismos. Según su función, se clasifican en dos categorías: (a) los que actúan en los sistemas alimentarios, desempeñando roles como antioxidantes, antimicrobianos, potenciadores del sabor, colorantes o estabilizantes; y (b) los que ejercen efectos beneficiosos en la salud del consumidor, incluyendo propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antidiabéticas, antihipertensivas, anticancerígenas; entre otras (Mehta *et al.*, 2022). Es por eso que ahora logramos comprender por qué la industria alimentaria dirige a centrar su investigación en productos naturales, la razón primordial se debe a los beneficios fisiológicos prometedores para la salud (Gámez-Villasana, 2020). Resaltando que una dieta a base de compuestos bioactivos impacta positivamente la condición médica (Guadaaoui *et al.*, 2014).

En México se tiene como fuente de compuestos bioactivos gran diversidad de alimentos que podemos utilizar en nuestra dieta diaria como; zanahorias con betacarotenos, tomates con licopenos, brócoli, col rizada, coles de bruselas fuentes importantes de glucosinolatos, cerezas, uvas, fresas, jamaica, arándanos ricos en

compuestos fitoquímicos con actividad antioxidante, entre otros (Alejandra *et al.*, 2023; Sauri-Duch *et al.*, 2025).

2.4 Compuestos bioactivos y su beneficio en la salud humana

Los compuestos bioactivos han sido ampliamente reconocidos por sus propiedades nutricionales, diversos estudios respaldan su contribución tanto en la prevención de enfermedades como en el fortalecimiento de la salud. Por ejemplo, se ha comprobado que compuestos antioxidantes ayudan a mitigar el estrés oxidativo y la inflamación, lo que reduce el riesgo de padecer enfermedades crónicas, incluyendo afecciones cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer (Gasa-Falcon *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2022).

Así mismo, los probióticos desempeñan un papel importante en la salud digestiva, promoviendo la simbiosis de la microbiota intestinal, lo cual es fundamental para mejorar la digestión, el funcionamiento del sistema inmunológico y el bienestar general (Hussain *et al.*, 2024).

2.4.1 Fitoquímicos

Los fitoquímicos son compuestos bioactivos de origen vegetal, estos se agrupan en cuatro categorías; compuestos fenólicos, terpenoides, compuestos azufrados y compuestos nitrogenados como los alcaloides. Entre estos, los tres primeros son los más relevantes desde el punto de vista agroindustrial; ya que, forman parte esencial de frutas y hortalizas que tienen un impacto significativo en la dieta humana (Tomás-Berberán, 2003).

De acuerdo con Martínez-Navarrete *et al.* (2008) los compuestos fenólicos, especialmente abundantes en frutas de tonos rojos, morados y en cítricos, se dividen en varias subclases. Estas incluyen flavonoides (como antocianinas, flavonoles, flavonas, flavanonas, chalconas, dihidrochalconas), también los fenilpropanoides (como ácido cafeico, ferúlico, sinápico y p-cumárico), estilbenos (resveratrol y piceatanol) y compuestos derivados del ácido benzoico (como los ácidos gálico y elágico).

Existe evidencia que respalda el papel esencial de la dieta en la salud humana, destacando la influencia de estas pequeñas moléculas bioactivas sobre múltiples procesos metabólicos y sobre el sistema inmunológico (Alasavar *et al.*, 2020).

Con el fin de obtener compuestos medicinales seguros y eficaces, se ha intensificado la investigación enfocada en fitoquímicos de origen vegetal, particularmente aquellos presentes en alimentos reconocidos como funcionales. En este contexto, es importante destacar que, además de los macronutrientes fundamentales, existen muchas otras sustancias químicas, tanto orgánicas como inorgánicas, que pueden generar efectos positivos a nivel físico y psicológico (Cruzado & Cedrón, 2012).

2.5 Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L)

El cáliz de la jamaica representa una parte fundamental de esta planta, debido a su amplio uso en la industria alimentaria para la elaboración de diversos productos como bebidas, infusiones, jarabes azucarados, licores, jaleas, mermeladas, encurtidos, rodajas de fruta, yogures y colorantes (Juhari *et al.*, 2021).

Esta planta también ha sido utilizada en la medicina tradicional para el tratamiento de diversas afecciones a lo largo de la historia. Es por eso que ha sido objeto de estudio, en donde se ha comprobado que sus extractos poseen propiedades bioactivas con potencial en la prevención de enfermedades crónicas, como la hipertensión, enfermedades hepáticas, cardiovasculares y también diabetes. Inclusive estos extractos pueden actuar como agentes antimutágenos, anticancerígenos y antiproliferativos, favoreciendo del sistema inmunológico en organismos vivos (Sindi *et al.*, 2014).

2.5.1 Generalidades

Es un subarbusto anual, erecto y frondoso, que puede alcanzar los 2.4 metros de altura. Se caracteriza por sus tallos cilíndricos, casi lisos de color rojo. Sus hojas, alternas y con una longitud ente 7.5 y 12.5 cm, son verdes con nervaduras rojizas y pueden presentar pecíolos de distinta longitud. Las hojas de las plántulas jóvenes y las superiores de las plantas adultas son simples, mientras que las inferiores están divididas en 3 a 5, o incluso 7 lóbulos profundos (Rodríguez-Figuera *et al.*, 2021).

Las flores, que crecen de manera individual en las axilas de las hojas, pueden alcanzar un diámetro de hasta 12.5 cm y presentan tonalidades amarillas o beige con un centro rosado, adquiriendo un tono rosado más intenso al madurar. En este punto, el cáliz, generalmente rojo, comienza a expandirse y se vuelve carnososo, crujiente y jugoso, con una longitud entre 3.2 y 5.7 cm. A medida que madura y se seca, la cápsula adquiere una tonalidad marrón y se abre. Tanto el cáliz como los tallos y las hojas tienen un sabor ácido, similar al del arándano (Sindi *et al.*, 2014; Vasavi *et al.*, 2021).

Tabla 1. División taxonómica de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L).

División taxonómica	
Dominio	<i>Eukarya</i>
Reino	<i>Plantae</i>
Filo	<i>Espermatofita</i>
Subfilo	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Dicotyledonae</i>
Orden	<i>Malvales</i>
Familia	<i>Malvaceae</i>
Genero	<i>Hibiscus</i>
Especie	<i>Hibiscus sabdariffa</i>

Fuente: Vasalvi *et al.*, 2021.



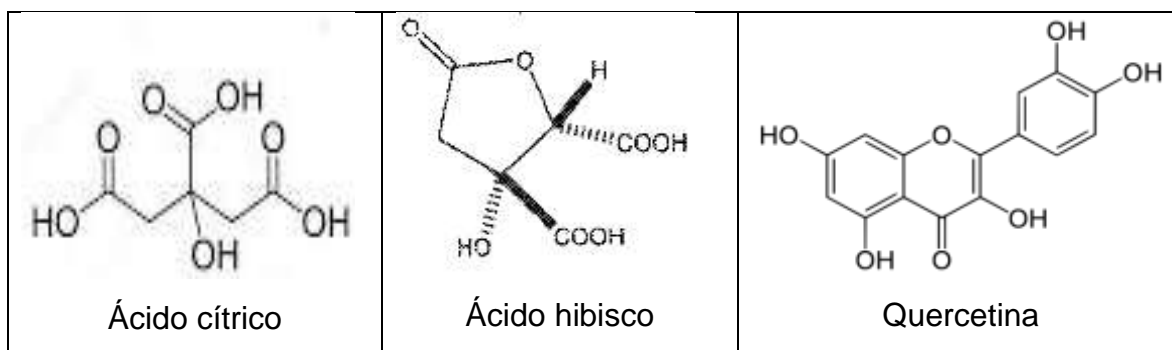
Figura 1. Planta de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L).

Fuente: <https://teixidor.com/blog/hibiscus-propiedades-y-beneficios>

2.5.2 Fitoquímicos en la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L)

Los cálices de jamaica presentan una gran variedad de compuestos bioactivos, entre ellos ácidos orgánicos como el ácido hibisco, ácido cítrico, ácido málico y ácido tartárico, también podemos encontrar polifenoles y flavonoides, los cuales han mostrado propiedades reductoras de colesterol, antihipertensivas, antimicrobianas, anticancerígenas, antidiabéticas, antiinflamatorias y antioxidantes. Esta última gracias a la presencia de kaempferol (polifenol) y quercetina (flavonoide) que llevan a cabo su funcionalidad que inhibe la oxidación de lípidos (Izquierdo-Vega *et al.*, 2020; Zulkurnain *et al.*, 2023). En distintas partes de esta planta se han identificado compuestos relevantes como taninos, saponinas, glucósidos, antocianinas y terpenoides en diferentes partes de esta (Dabelo *et al.*, 2023).

Según Zulkurnain *et al.* (2023) la cantidad de fenoles presentes en la jamaica es de 0.68 ± 0.14 %, de taninos es de 8.9 ± 0.21 %, la cantidad de alcaloides es del 0.51 ± 0.16 % demostrando su rica composición en compuestos bioactivos.



Ácido cítrico

Ácido hibisco

Quercetina

Figura 2. Principales compuestos fitoquímicos encontrados en la planta de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L). **Fuente:** Carvajal *et al.* (2012).

2.5.3 Beneficios de la jamaica en la salud humana

La jamaica presenta múltiples beneficios en la salud humana, gracias a sus compuestos presentes como flavonoides, saponinas y esteroides que ejercen su acción antiinflamatoria (Ajiboye *et al.*, 2025). En países como India y México la implementación de la jamaica en la dieta diaria varía en presentaciones de infusiones, tés o extractos. Y estos son utilizados de forma medicinal para aliviar o prevenir algunos síntomas patológicos. La jamaica además de sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antihipertensivas, también ha demostrado actuar como anticancerígeno, antibacteriano, antidiabético y por consecuencia de este último se relaciona con la prevención de la obesidad y sobrepeso (Edo *et al.*, 2023). Banda *et al.* (2018) reportó la reducción de los niveles plasmáticos de glucosa en un estudio con ratas inducidas a diabetes mellitus, como resultado de un tratamiento de extractos de jamaica.

2.6 Fresa (*Fragaria ananassa* Duch)

La fresa es una fruta de textura blanda y de gran valor económico en el mundo, ampliamente consumida por millones de personas debido a sus cualidades sensoriales y su riqueza en compuestos fitoquímicos. Es una fuente importante de vitamina C, compuestos fenólicos y antioxidantes, lo que la convierte en un alimento altamente nutritivo. Su sabor y aroma característicos la hacen una de las frutas más apreciadas a nivel mundial. En el mercado internacional, el consumo promedio de fresa, tanto en su forma fresca como procesada, alcanza los 3.9 kg por persona al año (López-Valencia *et al.*, 2018).



Figura 3. Planta de fresa (*Fragaria ananassa Duch*).

Fuente: <https://www.arvensis.com/es/blog-bacterias-para-producir-fresas-arvensis-agro/harvesting-of-fresh-ripe-big-red-strawberry-fruit-in-dutch-greenhouse/>

2.6.1 Generalidades

La fresa cultivada es un híbrido de origen natural que surge de la combinación de dos especies silvestres: *Fragaria chiloensis*, nativa de América del Sur y *Fragaria virginiana*, proveniente de América del Norte. Este cruce dio como resultado la fresa moderna, valorada por su gran tamaño, sabor característico y su actividad de adaptarse a diversas condiciones climáticas (Davis *et al.*, 2007).

Tabla 2. División taxonómica de la fresa (*Fragaria ananassa Duch*).

División taxonómica	
Dominio	<i>Eukarya</i>
Reino	<i>Plantae</i>
Filo	<i>Magnoliophyta</i>
Subfilo	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Rosales</i>
Familia	<i>Rosaceae</i>
Genero	<i>Fragaria</i>
Especie	<i>Fragaria ananassa Duch</i>

2.6.2 Fitoquímicos en la fresa (*Fragaria ananassa Duch*)

La fresa contiene compuestos polifenólicos y vitamina C, compuestos que le otorgan propiedades antioxidantes. Los compuestos fenólicos presentes en las fresas, incluidos ácidos fenólicos tienen una amplia gama de efectos biológicos, que van desde anticancerígenos hasta antiinflamatorios, neuroprotectores y antioxidantes (Sierra *et al.*, 2019). Por otro lado, se han identificado ácidos orgánicos; como el málico, tartárico, cítrico, succínico, oxálico, gálico y cumárico. No obstante, los ácidos presentes en mayor concentración son el ácido málico y el ácido cítrico. Las

fresas contienen flavonoides, como flavonoles, flavanoles y antocianinas. Los flavanoles incluyen compuestos como la catequina y la epicatequina, mientras que los flavonoles comprenden el kaempferol y la quercetina. Estos flavonoides tienen un papel protector en la prevención del cáncer al reducir la disponibilidad de carcinógenos. Las antocianinas son el grupo más relevante de flavonoides en las fresas, representado aproximadamente el 70% de la actividad antioxidante total, lo que resalta su importancia entre los metabolitos secundarios vegetales. La concentración de antocianinas en la fruta incrementa a medida que madura. Hablando de los ácidos fenólicos los más significativos presentes en esta fruta son los elagitaninos y los glucósidos del ácido elágico, que se descomponen en ácido elágico puro (Newerli-Guz *et al.*, 2024).

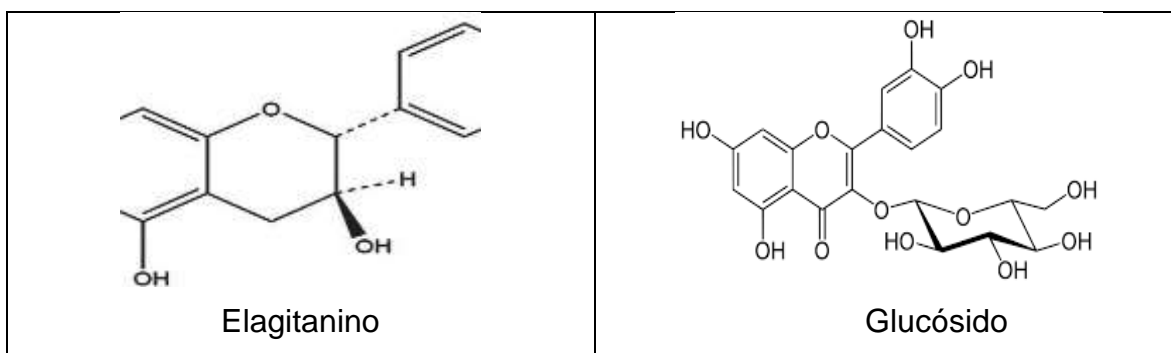


Figura 4. Principales compuestos fitoquímicos reportados en la fresa (*Fragaria ananassa Duch*). **Fuente:** Sierra *et al.* (2019).

2.6.3 Beneficios de la fresa en la salud humana

Las fresas son frutas altamente nutritivas que brindan distintos beneficios para la salud gracias a su riqueza en antioxidantes, fibra, vitaminas y compuestos bioactivos. Su consumo, se ha relacionado con la protección cardiovascular, gracias a su actividad para disminuir la presión arterial y mejorar el perfil lipídico. Además, poseen propiedades antiinflamatorias y antioxidantes que contribuyen a la prevención del envejecimiento celular. También favorecen la regulación de glucosa

en sangre, mejoran la salud digestiva mediante su aporte de fibra y fortalecen el sistema inmunológico gracias a su alto contenido de vitamina C. Estos efectos combinados hacen de la fresa un alimento funcional con un impacto positivo en la salud general del consumidor (Meiners *et al.*, 2025).

2.7 Probióticos

Hoy en día la definición de probióticos ha sido establecida por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura junto con la Organización Mundial de la Salud (FAO/OMS, 2001) y posteriormente revisada por la Asociación Científica Internacional para Probióticos y Prebióticos (ISAPP) con el siguiente concepto; los probióticos son microorganismos vivos, que al ser ingeridos en cantidades apropiadas (10^8 y 10^9 UFC por día) proporcionan beneficios para la salud del organismo que los recibe (Hill *et al.*, 2014). Según Feng *et al.* (2020) los probióticos más conocidos y utilizados pertenecen principalmente a grupos de bacterias benéficas; como las bacterias de ácido láctico, las bifidobacterias y algunas levaduras. También se usan algunas variedades de *Streptococcus* y *Enterococcus*. Entre los géneros más estudiados se encuentra *Lactobacillus*, el cual posee un papel fundamental debido a su amplia presencia en los alimentos fermentados y a su actividad para sobrevivir al tránsito gastrointestinal, adherirse al epitelio intestinal y producir metabolitos con actividad antimicrobiana como ácidos orgánicos y bacteriocinas. Diversas especies han demostrado efectos positivos sobre la salud digestiva, el fortalecimiento del sistema inmunológico y la modulación de la microbiota intestinal.

Lactobacillus paracasei es un microorganismo caracterizado por su actividad de tolerar condiciones adversas del tracto gastrointestinal, como el pH, ácido gástrico y la presencia de sales biliares, lo que permite llegar viable al intestino y ejercer sus efectos beneficiosos. Estos microorganismos se añaden a muchos tipos de alimentos, como productos lácteos, carnes, bebidas, cereales, frutas, verduras y panificados. Sin embargo, para que los probióticos realmente aporten beneficios a la salud, es fundamental que se mantengan vivos y activos en cantidades suficientes. El problema es que, durante el procesamiento y almacenamiento de los

alimentos, pueden enfrentarse a condiciones adversas que disminuyen su capacidad para sobrevivir.

2.8 Beneficios de los probióticos en la salud

Investigaciones recientes se han enfocado en estrategias para modular la microbiota mediante el uso de probióticos manteniendo un equilibrio de esta y promoviendo la salud intestinal. Son los probióticos quienes logran el mantenimiento de un equilibrio microbiano saludable en el intestino eliminando bacterias patógenas y reforzando la barrera intestinal (Rezagholizade-Shirvan *et al.*, 2024). Los probióticos son descritos como bacterias vivas que cuando se suministran en proporciones suficientes, logran brindar beneficios para la salud al mantener y coordinar un equilibrio de microorganismos en el tracto gastrointestinal humano, además inciden de manera positiva en la función inmunitaria y reducen inflamación, lo que es de gran ayuda para tratar afecciones gastrointestinales (Song, Ibrahim & Hayek, 2012); sin embargo, la eficacia de los probióticos depende según la cepa y pueden llegar a alterar el estado de salud, estilo de vida y dieta de la persona (Hill *et al.*, 2014). La viabilidad de los probióticos puede verse afectada por diversos factores físicos, químicos y biológicos durante el procesamiento, almacenamiento y durante el paso por el tracto gastrointestinal. Las temperaturas elevadas de procesamiento o almacenamiento aceleran la muerte celular por desnaturalización de proteínas y daño a la membrana celular; así como, las humedades elevadas y valores de actividad de agua elevados incrementan las reacciones metabólicas y oxidativas provocando reducción de viabilidad probiótica durante el almacenamiento. Un método que ha demostrado ser útil para salvaguardar al probiótico es la microencapsulación, la cual consiste en cubrir los probióticos con una capa protectora para que resistan mejor dentro del alimento. Este proceso no solo protege a los probióticos, sino que también puede mejorar sus efectos positivos en el sistema digestivo (Yao *et al.*, 2020).

2.9 Microencapsulación

La microencapsulación fue desarrollada por Bungerbung de Jon y Kan en 1931 logrando obtener partículas con un tamaño menor a 200 micrómetros. Esta técnica permite transformar sustancias líquidas en polvos sólidos al tiempo que modifican sus propiedades coloidales y superficiales. Además, ofrece protección frente a factores ambientales, mejora la biodisponibilidad de los compuestos activos y regula su liberación a través de las características del recubrimiento (Vyas & Khar, 2002). En el ámbito alimenticio, la microencapsulación cumple múltiples funciones, siendo una de las más importantes garantizar la eficacia de compuestos, evitando su degradación y destrucción debido a la exposición a factores ambientales. Esta protección se consigue al limitar el intercambio de masa entre el núcleo y entorno, mediante el uso de una capa que actúe como barrera física llamado material pared (Champagne & Fustier, 2007; Piovesana & Noreña, 2018). Estas partículas pueden estar recubiertas por una capa externa o dispersas en una matriz uniforme o no uniforme, formando cápsulas diminutas. Entre las distintas técnicas empleadas para la microencapsulación, el secado por aspersión destaca como una de las más comunes; ya que, resulta especialmente efectiva para proteger compuestos alimentarios sensibles al calor, debido a la rapidez del proceso de secado (Mandaji *et al.*, 2022; Vanegas-Espinoza *et al.*, 2019).

2.9.1 Métodos y materiales de pared para la microencapsulación de compuestos bioactivos

Los métodos de microencapsulación pueden agruparse en tres categorías principales: químicas, que comprenden procesos como la fusión molecular y polimerización interfacial; físicas, que abarcan métodos como extrusión, secado por aspersión, recubrimiento en lecho fluidizado y liofilización; y por último fisicoquímicas, que incluyen mecanismos como separación de fases orgánicas, emulsificación, coacervación y formación de liposomas (Huang *et al.*, 2023). Uno de los principales desafíos radica en los elevados costos de producción asociados a muchas de las técnicas avanzadas. Sin embargo, en el ámbito alimentario, en los

últimos años microencapsular es un método indispensable de implementar en la innovación de productos (Misra *et al.*, 2021; Reque & Brandelli, 2021).

El secado por aspersión se lleva a realiza en un equipo que lleva por nombre secador, el proceso se divide en varias etapas. En la primera, se introduce una mezcla homogénea de forma continua a presión que contiene el compuesto a encapsular y el agente de recubrimiento. En la segunda etapa, esta mezcla entra en contacto con una corriente de aire caliente, este contacto provoca una rápida evaporación del agua, lo que da lugar a la formación de partículas esféricas o semiesféricas, generalmente no porosas. Finalmente, en la tercera etapa, las microcápsulas generadas atraviesan un ciclón y son recolectadas (Cardona *et al.*, 2021; Ríos-Aguirre & Gil-Garzón, 2021). En este proceso, los materiales utilizados como agentes de recubrimiento suelen ser compuestos de bajo peso molecular, como maltodextrina, aislados de proteína de suero y goma arábiga (Domínguez *et al.*, 2021). Esta técnica de microencapsulación es la más utilizada y ha sido empleada durante muchos años, especialmente para encapsular compuestos como sabores, pigmentos, lípidos, ya que destaca por su versatilidad, bajo costo y alta eficiencia de encapsulación (Perez-Leonard *et al.*, 2013; Krishnan *et al.*, 2011). Una de las principales ventajas de esta técnica es que la incorporación de ingredientes en forma de polvo no afecta negativamente su textura en boca (Meena *et al.*, 2023).

Por otro lado, Dakhall y He (2020) argumentan que al diseñar un proceso de microencapsulación, resulta fundamental elegir correctamente el material pared o material de microencapsulación puesto que debe ser capaz de envolver correctamente el material activo para poder proteger las propiedades bioactivas y/u organolépticas de factores ambientales adversos como humedad, variaciones térmicas o radiación UV. Finalmente, lo más importante es que funcione correctamente a la hora de liberar controladamente el material activo tras su ingesta manteniendo su compatibilidad con el mecanismo de liberación deseado y la técnica de microencapsulación seleccionada sumándole con gran importancia la no toxicidad como requisito fundamental y viabilidad económica (Soto *et al.*, 2023). Algunos de los materiales pared más utilizados en la industria alimentaria son;

carbohidratos, gomas, mucilagos, polisacáridos naturales y modificados; así como polímeros sintéticos (Mbonambi *et al.*, 2025).

2.10 Microencapsulación y estabilidad de compuestos bioactivos

El secado por aspersion ha demostrado ser la técnica por excelencia para la microencapsulación de compuestos bioactivos en el área de alimentos; sin embargo, pocas investigaciones continúan la caracterización sobre la estabilidad de los compuestos microencapsulados en función del tiempo. Chen *et al.* (2025) evaluaron la viabilidad de extracto de *Lonicera caerulea* microencapsulado mediante secado por aspersion, obteniendo como resultado estabilidad satisfactoria bajo condiciones de almacenamiento y óptimo comportamiento en el tracto digestivo, obteniendo altas concentraciones de polifenoles utilizando aislado de proteína de soja como material pared. De igual forma se confirmó una mayor estabilidad térmica en los extractos encapsulados en comparación con muestras no encapsuladas con más del 90% de retención de compuestos bioactivos después de 90 días a 25°C.

Nordin *et al.* (2024) reportaron que los compuestos bioactivos en polvo de extractos microencapsulados prometen potencial como ingrediente en alimentos funcionales, debido a sus propiedades anticancerígenas y antidiabéticas, al igual que su biodisponibilidad y bioaccesibilidad en el sistema digestivo humano. En esta investigación se reportó, que la goma arábica fue el material de recubrimiento más efectivo para la encapsulación de compuestos fenólicos mediante secado por aspersion de cascara de piña, tratados con celulasa (la cáscara de piña fue sometida previamente a un tratamiento enzimático con la enzima celulasa antes de realizar la extracción y la microencapsulación). Tatasciore *et al.* (2024) reportaron que la microencapsulación influyó positivamente en la estabilidad de compuestos fenólicos y en la actividad antioxidante del lúpulo en la evaluación compuestos bioactivos de extractos microencapsulados con maltodextrina y goma arábica mediante secado por aspersion, reportaron que las temperaturas de entrada de 120 °C y 150 °C influyeron sobre las propiedades fisicoquímicas de los polvos, teniendo

un rendimiento del 46 al 77%; así como, mayor retención de compuestos fenólicos y actividad antioxidante.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad las enfermedades no transmisibles (ENT) se encuentran dentro de las principales causas de mortalidad a nivel mundial. En México las ENT tienen factores de riesgos que dependen del comportamiento de las personas como hábitos modificables, también de factores metabólicos que aumentan el riesgo de contraer alguna de estas, en este contexto la dieta tiene un papel fundamental. Ante este panorama, la alimentación ha adquirido un papel relevante como estrategia preventiva y coadyuvante en el manejo de estas enfermedades. Por esta razón en el área alimentaria se ha incrementado el desarrollo de alimentos funcionales, como una estrategia viable para la prevención de ciertas enfermedades, al incorporar compuestos bioactivos que aportan beneficios adicionales a la salud. Entre estos destacan los probióticos, reconocidos por sus capacidades de modular la microbiota intestinal y fortalecer el sistema inmunológico. Así mismo, la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L) y la fresa (*Fragaria ananassa* Duch) representan fuentes importantes con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias gracias a su gran variedad de compuestos fitoquímicos. Los probióticos mejoran el equilibrio microbiano cuando son administrados en concentraciones adecuadas (10^6 - 10^8 UFC/g de producto). Sin embargo, los fitoquímicos y probióticos son sensibles a factores de procesamiento y almacenamiento, como el pH, la temperatura y la humedad, y su paso por el tracto gastrointestinal provoca su degradación y/o disminución en su concentración, limitando su funcionalidad. Por lo anterior, se ha recurrido a la microencapsulación de estos compuestos bioactivos para incrementar su estabilidad esperando un efecto positivo en la salud.

IV. HIPÓTESIS

La microencapsulación de mezclas de extractos naturales de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) y fresa (*fragaria ananassa* Duch) adicionados con probióticos incrementará la estabilidad de los compuestos fitoquímicos y de las bacterias microencapsuladas bajo condiciones controladas de almacenamiento.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Microencapsular mezclas de extractos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L) y fresa (*Fragaria ananassa* Duch) adicionados con *Lacticaseibacillus paracasei* (L20) para evaluar la estabilidad en condiciones controladas y su funcionalidad.

5.2 Objetivos específicos

1. Microencapsular mezclas de extracto de Jamaica y fresa adicionados con el probiótico *Lacticaseibacillus paracasei* utilizando almidón N-lok como material pared mediante secado por aspersión.
2. Evaluar la estabilidad de fenoles totales y actividad antioxidante en los microencapsulados almacenados bajo diferentes condiciones de humedades relativas y temperaturas de almacenamiento; así como, la viabilidad de los probióticos en condiciones controladas de humedad relativa y temperatura en función de tiempo.
3. Evaluar la actividad antimicrobiana en los microencapsulados después del secado por aspersión.

VI. METODOLOGÍA

6.1 Materiales

Los cálices de jamaica fueron adquiridos con productores de Guerrero. La fresa (454 g) de la marca “Freseros del valle de Maravatío SPR” se adquirió en un supermercado de la ciudad de Pachuca, Hidalgo. Los microorganismos utilizados, *Lactocaseibacillus paracasei* (L20), *Escherichia coli* (O157:H7 E09), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Salmonella tiphymurium* (ATCC 14028) y *Listeria monocytogenes* (ATCC 19115) fueron proporcionadas por el laboratorio de Microbiología de Alimentos, del Área Académica de Química, de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

6.2 Obtención de polvo de jamaica y fresa

Los cálices secos de jamaica se molieron en un procesador Nutribullet NBY-50100 (32 oz), el polvo obtenido se pasó por un tamiz de No. 30 (595 μm); mientras que se pesaron 200 g de fresas que se cortaron en rebanadas finas para acomodarse en tapetes de silicón de forma extendida, los tapetes de silicón se colocaron en dentro de un horno de convención (Shel Lab) a 35° C con aireación total durante 24 h para eliminar la mayor humedad posible en las muestras. Transcurridas las 24 h de secado, las rebanadas de fresa deshidratadas se molieron en un procesador Nutribullet y el polvo de la molienda se pasó por un tamiz No. 30 (595 μm) con la finalidad de obtener polvos de partícula homogénea. Finalmente, las muestras se colocaron en bolsas de polietileno con sello hermético y protegidas de la luz, para su posterior análisis.



Figura 5. Procedimiento para la obtención de polvo de jamaica y fresa.

6.3 Mezcla de polvo jamaica-fresa

Se realizó una mezcla peso-peso en una proporción 75% jamaica y 25% fresa con base a los resultados reportados por Pazarán-Gutierrez (2025), quien evaluó

diferentes proporciones de mezcla de estos dos extractos vegetales para su microencapsulación mediante secado por aspersión y en dicha investigación, se determinó que la relación 75% de Jamaica y 25% de fresa presentó la mayor viabilidad del sistema de microencapsulación, reflejada en una mejor estabilidad de compuestos fitoquímicos y manteniendo su viabilidad probiótica durante el proceso de secado y almacenamiento. Se pesaron 5.31 g b.s. del polvo de Jamaica y 15.6 g b.s. del polvo de fresa, ambos polvos se mezclaron y homogeneizaron. Finalmente, la mezcla se almacenó en una bolsa de polietileno con sello hermético y se aisló de la luz para su posterior análisis.

6.4 Obtención de extractos de polvo Jamaica-fresa

Para la elaboración de los extractos se pesaron por triplicado en tubos Eppendorf 100 mg de polvo de la mezcla calices de Jamaica-fresa y se añadieron 2 mL de agua, se centrifugaron los tubos a 3500 rpm por 10 minutos, se hicieron dos lavados con agua, se seleccionó únicamente el sobrenadante y se aforó cada uno en un matraz de volumen de 100 mL. Se refrigeraron y se protegieron de la luz.



Figura 6. Procedimiento para obtención de extractos.

6.5 Determinación de compuestos bioactivos presentes

6.5.1 Cuantificación de fenoles totales

Los fenoles totales se cuantificaron siguiendo la metodología descrita por Pekal & Pyrzyńska (2014), con modificaciones. En tubos Eppendorf, se colocaron 250 μ L de muestra, 625 μ L de reactivo Folin al 10%, se agitaron y por último se agregaron 500

μL de NaCO_3 al 7.5%. Se agitaron los tubos y se dejaron reposar por 2 h., transcurridas las 2 h, se midió la absorbancia a 760 nm utilizando agua como blanco, en un espectrofotómetro NanoDrop Plus 10S UV-VIS (Thermo Fisher Scientific, EUA). Para determinar las concentraciones en cada extracto se construyó una curva de calibración de ácido gálico de 0 a 150 ppm. Los resultados se reportaron como mg equivalentes de ácido gálico por g mezcla de polvo jamaica-fresa (mg EAG/g).

6.5.2 Actividad antioxidante por el método ABTS

Se empleó la metodología desarrollada por Re *et al.* (1999) y descrita por Kuskoski *et al.* (2004), el radical ABTS fue obtenido por medio de la reacción del ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS) (7 mM) con persulfato potásico (2.45 mM, concentración final) se dejó reposar a temperatura ambiente y en oscuridad durante 16 h. Ya formado el radical ABTS, se diluyó en 45 mL de etanol, hasta obtener un valor de absorbancia de 0.70 a 735 nm. En tubos eppendorf se colocaron 50 μL del estándar o de los extractos y 1.05 mL del radical ABTS, previamente formado, los tubos se dejaron reposar por media hora y se midió la absorbancia a 735 nm en un espectrofotómetro NanoDrop Plus UV-VIS. Para determinar la actividad antioxidante de las muestras se utilizó una curva patrón de Trolox, como antioxidante de referencia, de 0 a 150 ppm., los valores de la curva se ajustaron a una regresión lineal para obtener la ecuación del tipo $y=mx+b$. Los resultados se reportaron en mg equivalentes de Trolox por g de mezcla de polvo jamaica-fresa (mg ET/ g). Con la correspondiente regresión lineal se determinó la actividad de los extractos para inhibir el radical ABTS

6.5.3 Actividad antioxidante por el método DPPH

Se utilizó el método desarrollado por Brand-Williams *et al.* (1995) con las modificaciones descritas por Kim *et al.* (2002). Se preparó una solución de 1.185 mg de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) disueltos en 50 mL de metanol, ajustando la absorbancia a 0.70 unidades de longitud de onda a 510 nm. En tubos Eppendorf se añadieron 50 μL de extracto y 1.050 mL de DPPH, se dejaron reposar por media hora y se midió la absorbancia a 510 nm en el espectrofotómetro NanoDrop Plus UV-VIS. Se utilizó una curva patrón de ácido ascórbico de 0 a 150 ppm, a través

de una regresión lineal se obtuvo la ecuación de la recta del tipo $y=mx+b$, los resultados obtenidos se reportaron en mg equivalentes de ácido ascórbico por g de mezcla de polvo jamaica-fresa (mg EAA/g).

6.5.4 *Lacticaseibacillus paracasei* (L20)

A partir de una cepa congelada proporcionada por el Laboratorio de microbiología de la UAEH, se realizó un cultivo stock de *L paracasei* (L 20), se inocularon 100 μ L de la bacteria L-20 en un tubo con 9 mL con caldo MRS y se incubó durante 24 h a una temperatura de 37 °C. Se hicieron tres transferencias sucesivas, incubándolas a 24h y una temperatura de 37°C; en la última transferencia los tubos se centrifugaron a 4500 rpm por 15 minutos se decantó el sobrenadante y se realizaron lavados acuosos con 5 mL de solución salina al 0.9%; este procedimiento se realizó por duplicado hasta obtener un paquete celular, posteriormente se le agregaron 8.5 mL de caldo MRS y 1.5 mL de glicerol previamente esterilizados. Se llevó al vortex hasta homogenizar y la solución stock de la bacteria, se tomaron varias alícuotas y se conservaron en congelación en tubos eppendorf de 1mL.



Figura 7. Stock de *Lacticaseibacillus paracasei* (L20).



Figura 8. Obtención de paquete celular de *Lactocaseibacillus parcasei* (L20).

6.5.5 Microencapsulación por secado por aspersion

Del stock de *Lactocaseibacillus parcasei* (L20) obtenido en el paso anterior, se tomaron 150 μL y se inocularon en tubos de 3 mL de caldo MRS, posteriormente se incubaron por 24 horas a 37 °C, transcurrido el tiempo de incubación, los tubos se homogenizaron en un vortex por 10 segundos, después se tomó una alícuota de 200 μL de la bacteria activada y se inocularon en tubos Falcon con caldo MRS estéril y se incubaron por 24 h a 37°C. Los tubos Falcon se centrifugaron a 3500 rpm durante 20 minutos y se decantó el sobrenadante. Se realizaron dos lavados al paquete celular con 20 mL de agua peptonada estéril y se centrifugaron nuevamente en las mismas condiciones para después obtener el paquete celular. Para obtener los microencapsulados, a la mezcla de polvo de jamaica-fresa (75%-25%) se le adicionaron 90 mL de agua estéril, la suspensión se homogenizo de manera manual y posteriormente se filtró a vacío. Al líquido filtrado se le adicionaron 30 g (base seca) de almidón N-Lok y se llevó al homogeneizador (IKA T 25, Ultra Turrax, Alemania) durante 3 minutos a 10000 rpm. Después de homogenizar se agregó el paquete celular disuelto ($\approx 10^9$ UFC/ mL) (Pazarán Gutierrez, 2025, p.61) en 10 mL de agua estéril para pasarse nuevamente por el homogeneizador a 3000 rpm por 10 segundos. De la suspensión a encapsular se tomó una alícuota de 1 mL, se realizaron diluciones seriadas y se sembraron en agar MRS por vaciado en placa, se incubaron por 24h a 37°C, trasncurrido el tiempo de incubación se realizó el conteo decolonias para medir UFC/mL. El proceso de microencapsulación se realizó

en un secador por aspersión (marca Buchi, modelo B-191 Labortech, Flawil, Suiza), la velocidad de entrada fue de 3.5 mL/min con una temperatura de secado de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$.



Figura 9. Proceso de microencapsulación de extracto por secado por aspersión en secador Buchi B-191.

6.6 Caracterización de microencapsulados

6.6.1 Estabilidad de microencapsulados a condiciones controladas de almacenamiento

Las microcápsulas y la mezcla de polvo de jamaica-fresa sin microencapsular se almacenaron durante un periodo de 6 semanas a diferentes humedades relativas (32% y 75%) y temperaturas (7°C y 30°C). Para alcanzar la humedad relativa de 32%, en un desecador se colocaron 200 g de cloruro de magnesio y se les añadió

25 mL de agua destilada. Para la humedad alta, en un desecador se colocaron 167.6 g de cloruro de sodio y se adicionaron 50 mL de agua destilada, para alcanzar el equilibrio se sellaron las tapas de los desecadores y transcurridas 48 horas se colocaron dentro de los desecadores 6 charolas con 350 mg de microcápsulas y 6 charolas con 350 mg del polvo de mezcla jamaica-fresa con una relación 75:25 p/p. Cada semana se extrajo una charola de microencapsulados y de polvo de la mezcla jamaica-fresa sin microencapsular, 100mg de muestra se colocaron en tubos ependorf a los cuales se les adicionaron 2 mL de agua destilada, se llevaron a agitación en un vortex por 10 min y centrifugaron a 3500rpm por 10 min; esta operación se realizó dos veces más, los sobrenadantes obtenidos se recuperaron y aforaron a 25 mL, posteriormente en el aforado se cuantificó el contenido total de fenoles y la actividad antioxidante mediante DPPH y ABTS.



Figura 10. Almacenamiento a condiciones controladas de humedad relativa y temperatura.

6.6.2 Viabilidad del probiótico en microencapsulados almacenados a distintas condiciones

El recuento bacteriano del *Lactocaseibacillus paracasei* (L-20) en microencapsulados almacenados a diferentes humedades relativas y temperaturas durante seis semanas se realizó por triplicado por el método de vaciado en placa en agar MSR. Se pesó 1 g de la muestra microencapsulada al tiempo cero y de tiempo seis. Respectivamente se colocaron cada una en 9 mL de diluyente de citrato de

sodio al 2% para después solubilizarse con ayuda de un vortex. Se realizaron seis diluciones seriadas y se sembraron en cajas petri con agar MRS. Las cajas fueron incubadas en posición invertida a 37°C durante 48 horas para después realizar el recuento de colonias.



Figura 11. Viabilidad de probiótico *L. paracasei* (L-20) en microencapsulados.

6.6.3 Microscopía electrónica de barrido

Las muestras microencapsuladas fueron observadas en un microscopio electrónico de barrido (marca JEOL, modelo IT-300). Las microcápsulas se colocaron en un portamuestras con cinta doble cara electroconductora de carbono y se cubrieron por 3 minutos con una capa de oro.

6.6.4 Actividad antimicrobiana

La actividad antimicrobiana de los microencapsulados y polvos sin microencapsular de la mezcla jamaica-fresa se evaluó frente a distintas cepas bacterianas patógenas. Los microorganismos empleados en este análisis fueron; *Staphylococcus aureus* (ATCC25923), *Listeria monocytogenes* (ATCC 19115), *Escherichia coli* (O157:H7 E09) y *Salmonella typhimurium* (ATCC 14028). Para su activación, las bacterias se cultivaron en 3 mL de caldo de soya tripticaseína y se incubaron durante 24 h a 37°C. Posteriormente, se realizaron diluciones seriadas hasta alcanzar una concentración de 10^6 UFC/mL. De cada preparación se tomaron 100 μ L y se sembraron en cajas petri, después se realizó el vertido del medio de cultivo agar método estándar con 3 mL de rifampicina. Se mezclaron

homogéneamente las cajas con el medio de cultivo y con las bacterias para después dejarse solidificar. Una vez solidificadas se perforaron pozos de 5 mm de diámetro, en los cuales se aplicaron 50 μ L de los extractos. Las cajas se incubaron por 24 h a una temperatura de 37 °C. Como control positivo se utilizó una solución de EDTA y como control negativo, agua.

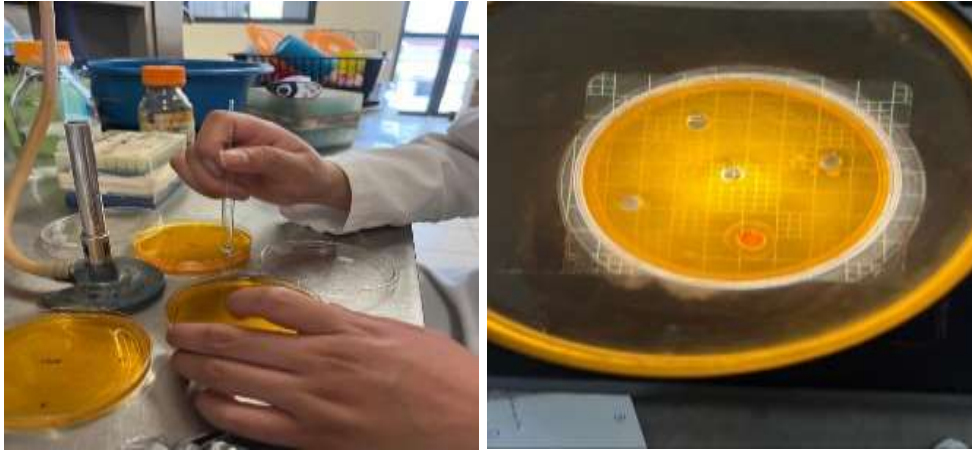


Figura 12. Procedimiento de actividad antimicrobiana en microencapsulados.

VI. RESULTADOS

7.1 Estabilidad de fenoles totales en microencapsulados y en polvo sin microencapsular

En la figura 13 se presenta el contenido de fenoles totales cuantificados en el microencapsulado de jamaica-fresa con la bacteria ácido láctica *Lacticaseibacillus paracasei* (L20) y de polvo sin microencapsular (jamaica y fresa) almacenados durante seis semanas, en dichos gráficos se observa que el contenido fenólico en los polvos sin microencapsular es mayor que en los microencapsulados en el tiempo cero, lo cual puede ser debido al proceso térmico durante el secado por aspersión al cual se sometieron los extractos. A partir de la semana cero hasta la sexta semana el contenido fenólico en los polvos microencapsulados permanece constante desde el tiempo cero hasta la semana 6 bajo las diferentes condiciones de almacenamiento.

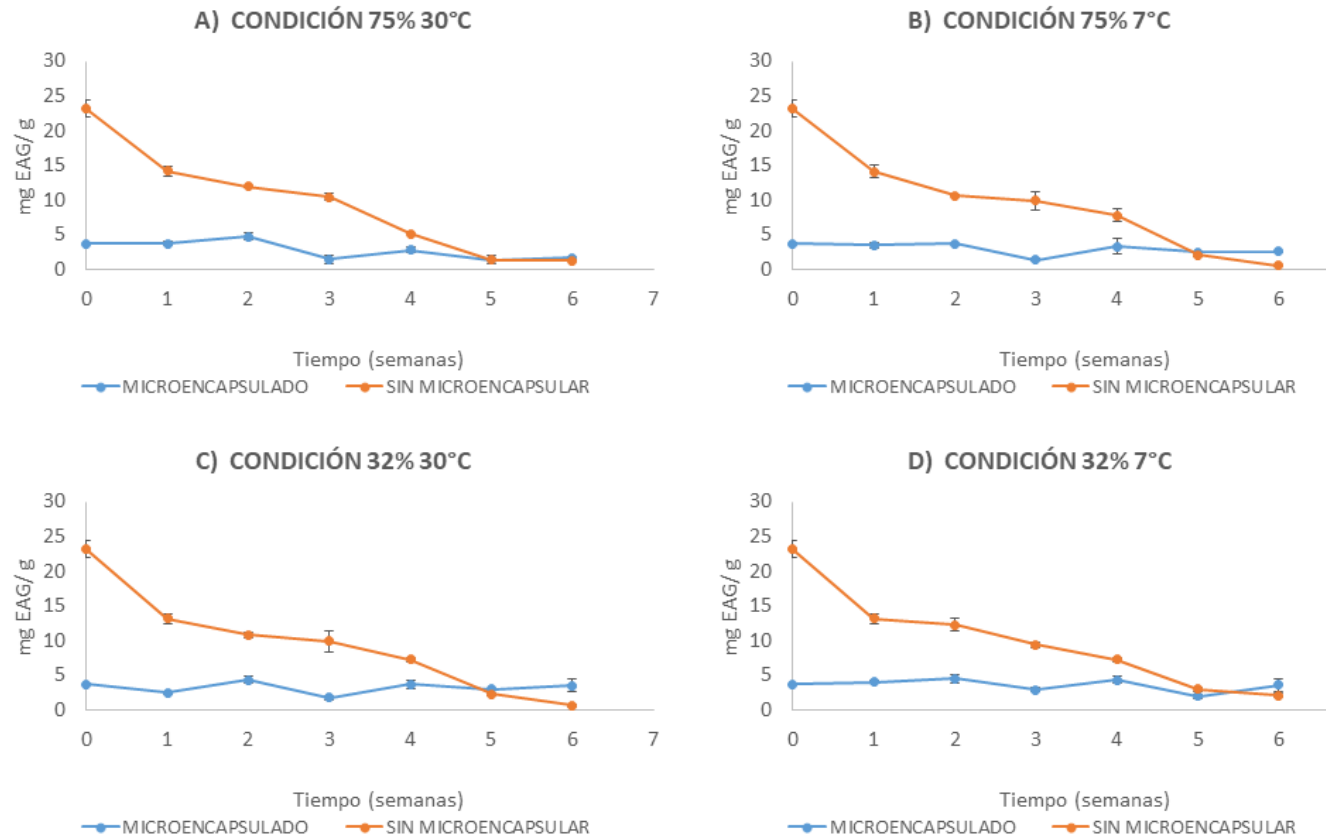


Figura 13. Concentración de fenoles totales en microencapsulado de jamaica-fresa con *Lactiseibacillus paracasei* (L-20) y polvo sin microencapsular analizados en condiciones controladas durante seis semanas. A) condición 75 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura, B) condición 75 % de humedad relativa a 7 °C, C) condición de 32 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura y D) condición de 32 % de humedad relativa a 7 °C de temperatura.

Moser *et al.* (2017) evaluaron la estabilidad de compuestos fenólicos por HPLC en microencapsulado de jugo de uva variedad BRS violeta utilizando como material pared mezclas de proteínas y maltodextrina, los polvos se almacenaron a diferentes temperaturas (5, 25 y 35 °C) durante 5 meses. El tratamiento que combinó proteína de soja y maltodextrina como material pared almacenado a 5 °C fue el que presentó la menor degradación de compuestos fenólicos, y como consecuencia, la mayor estabilidad. Lo que sugiere que los agentes pared son eficaces en la protección y estabilidad de compuestos fenólicos; las temperaturas bajas retrasan la degradación y mantienen mejor estabilidad de estos compuestos. Concluyeron que la microencapsulación es un método eficiente para estabilizar los compuestos fenólicos, garantizando una mayor vida útil y una alta gama de aplicaciones en el ámbito industrial.

En la **Tabla 3** se presenta la concentración de fenoles totales (mg EAG / g) en el polvo microencapsulado de jamaica-fresa adicionado con el probiótico *Lactocaseibacillus paracasei* (L20) y del polvo sin microencapsular de Jamaica-fresa a tiempo cero y semana seis bajo condiciones controladas de almacenamiento; así como, la diferencia entre la semana 0 y la semana 6 ($C_{inicial} - C_{final}$). De acuerdo a la **Tabla 3**, los resultados muestran que en el polvo sin microencapsular almacenado a las diferentes condiciones de almacenamiento presentó una disminución mayor en el contenido fenólico en comparación con el polvo microencapsulado. Se observó que las diferencias en la concentración de fenoles totales para los polvos sin microencapsular fueron superiores a 20 mg EAG /g; por lo que estos resultados confirman el incremento de la estabilidad de los compuestos al ser microencapsulados.

Tabla 3. Concentración de fenoles totales en polvo sin microencapsular y en polvo microencapsulado de jamaica-fresa con probiótico *Lacticaseibacillus paracasei* (L20) a condiciones controladas.

Condiciones de almacenamiento	Semana cero	Semana seis	Diferencia (C _i -C _f)
	Fenoles totales (mg EAG / g)	Fenoles totales (mg EAG / g)	Δ
75 %, 30 °C (Sin microencapsular)	23.1 ± 1.22	1.3 ± 0.08	21.8 ± 1.15 ^a
75 %, 7 °C (Sin microencapsular)	23.1 ± 1.22	0.5 ± 0.00	22.6 ± 1.22 ^a
32 %, 30 °C (Sin microencapsular)	23.1 ± 1.22	0.7 ± 0.25	22.5 ± 0.99 ^a
32 %, 7 °C (Sin microencapsular)	23.1 ± 1.22	2.1 ± 0.35	21.0 ± 1.43 ^a
75 %, 30 °C (Microencapsulado)	3.7 ± 0.86	1.7 ± 0.08	2.1 ± 0.15 ^b
75 %, 7 °C (Microencapsulado)	3.7 ± 0.86	2.6 ± 0.08	1.1 ± 0.15 ^b
32 %, 30 °C (Microencapsulado)	3.7 ± 0.86	3.7 ± 0.08	0.0 ± 0.00 ^b
32 %, 7 °C (Microencapsulado)	3.7 ± 0.86	3.7 ± 0.08	0.0 ± 0.00 ^b

Los datos se expresan como media ± desviación estándar. Diferentes letras minúsculas en la misma columna, indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) (Tukey). Nota: mg EAG= miligramos equivalentes de ácido gálico, Δ = diferencia.

Cassol y Noreña (2021) reportaron una pérdida significativa de compuestos fenólicos de *Hibiscus sabdariffa* durante el proceso de secado por aspersión; debido a temperaturas elevadas, las cuales provocan degradación y polimerización de estos compuestos. Los autores sugieren el uso de bajas temperaturas de secado y tiempos cortos de exposición.

Kaderides *et al.* (2020), reportaron resultados comparables sobre la función protectora de la microencapsulación de compuestos fenólicos provenientes de cascara de granada. La microencapsulación favoreció la preservación de compuestos fenólicos y de la actividad antioxidante durante el almacenamiento en galletas enriquecidas con estas microcápsulas; por otra parte, se demostró que temperaturas elevadas de horneado la degradación de compuestos fenólicos ya microencapsulados era significativa.

Vieira *et al.* (2024) evaluaron la estabilidad por 90 días a 25°C de compuestos fenólicos provenientes de pitaya roja (*Hylocereus polyrhizus*) extraídos por maceración y ultrasonido; y microencapsulados mediante secado por aspersión utilizando como material pared maltodextrina. Los autores reportaron que el extracto microencapsulado obtenido por extracción convencional presentó un porcentaje de retención de fenoles totales de 12.54 %. Es importante enfatizar que incluir compuestos fenólicos en la dieta diaria podría disminuir la incidencia de enfermedades crónicas como consecuencia del estrés oxidativo, el envejecimiento celular prematuro y, sobre todo, los estilos de vida poco saludables que predominan hoy en día. De acuerdo a Dongmo *et al.* (2025) el aprovechamiento de compuestos fenólicos para el desarrollo de alimentos funcionales representa una estrategia prometedora en la prevención de múltiples enfermedades; ya que, estos compuestos han demostrado potencial terapéutico en distintas funciones del organismo, incluyendo los sistemas inmunológico, cardiovascular, renal, neurológico, reproductivo y digestivo. Además, su acción hepatoprotectora y su posible efecto anticancerígeno refuerzan su relevancia como complemento a los tratamientos médicos convencionales.

7.2 Actividad antioxidante por método ABTS en microencapsulado y en polvo sin microencapsular

En la figura 14 se presentan los resultados de la actividad antioxidante evaluada mediante ABTS bajo condiciones controladas de temperatura (°C) y humedades relativas (%). Los resultados muestran que los polvos microencapsulados presentan mayor actividad antioxidante a partir de la semana 2 a la 6 bajo las diferentes condiciones de almacenamiento Ali *et al.* (2005) reportaron que los extractos acuosos de jamaica son utilizados en el mundo para preparar bebidas con propiedades antioxidantes que se relacionan con compuestos fenólicos, ácidos orgánicos y antocianinas. Roselló-Soto *et al.* (2019) reportaron que una concentración alta de compuestos antioxidantes en un alimento como lo es la jamaica la convierte en una candidata favorable para obtener un extracto con alto contenido de actividad antioxidante, a pesar de que la pared celular del hibisco se debilita cuando se expone a un aumento de temperatura y como consecuencia los compuestos químicos y los componentes celulares interactúan más con el solvente se puede almacenar el extracto a condiciones óptimas para salvaguardar lo máximo posible su actividad antioxidante.

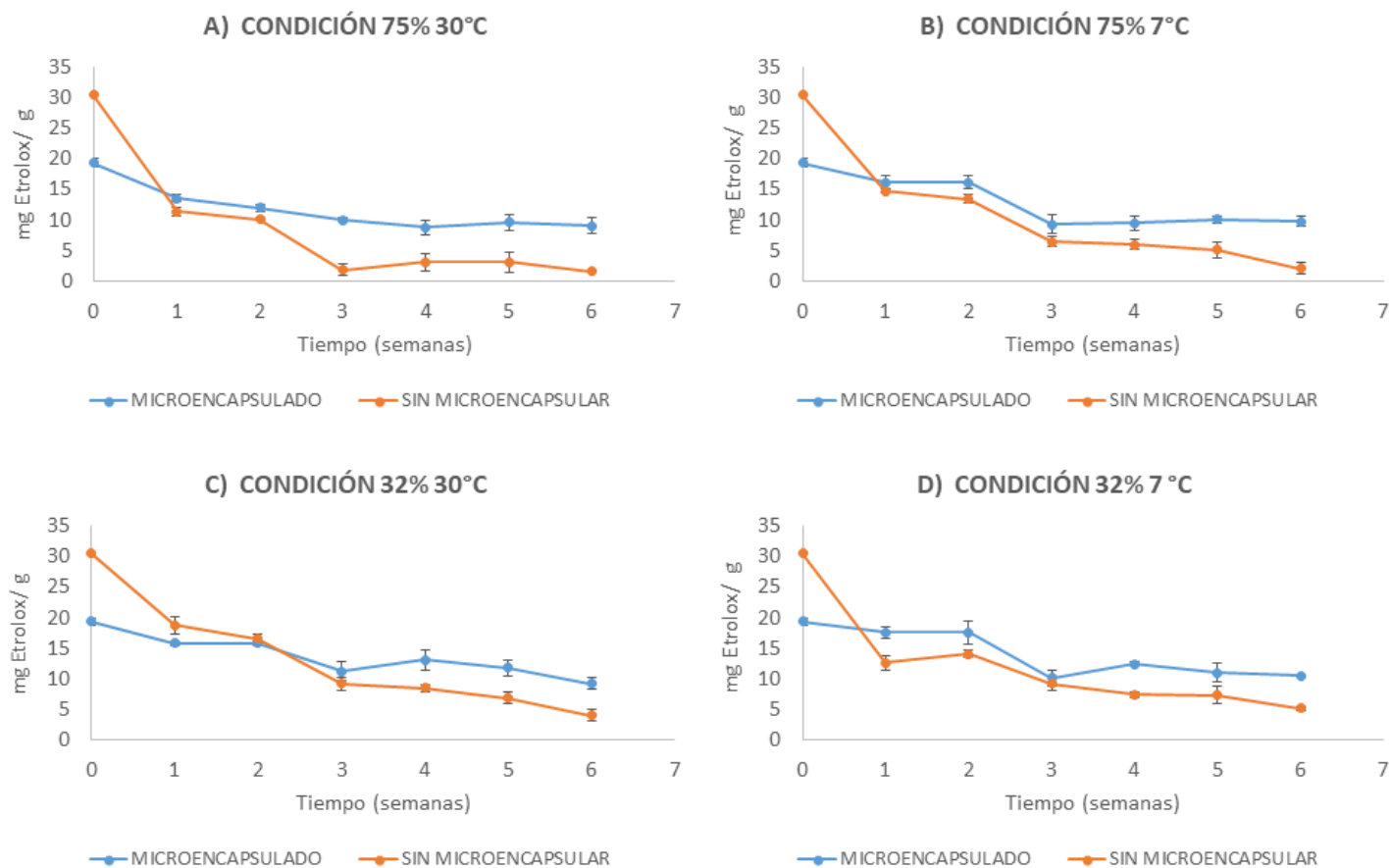


Figura 14. Actividad antioxidante por método ABTS en polvo microencapsulado de jamaica-fresa con *Lactiseibacillus paracasei* (L-20) y en polvo sin microencapsular analizados en condiciones controladas durante seis semanas. A) Almacenamiento a 75 % de humedad relativa y 30 °C de temperatura, B) almacenamiento a 75 % de humedad relativa y 7 °C, C) almacenamiento a 32 % de humedad relativa y 30 °C de temperatura y D) almacenamiento a 32 % de humedad relativa y 7 °C de temperatura.

En la **Tabla 4** se presentan los resultados de la actividad antioxidante evaluada mediante ABTS (mg Trolox / g) en el microencapsulado de jamaica-fresa adicionado con el probiótico *Lactobacillus paracasei* (L20) y del polvo sin microencapsular durante seis semanas almacenadas a condiciones diferentes de humedad relativa y de temperatura. De manera general podemos observar que en los polvos sin microencapsular presentaron una mayor degradación de la actividad antioxidante evaluada por el método ABTS en la semana 6; mientras que los polvos microencapsulados presentaron una menor degradación de la actividad antioxidante en la semana 6. De acuerdo a los resultados obtenidos para la diferencia entre la concentración inicial y la concentración final del microencapsulado se obtuvo que en la condición en donde hubo mayor degradación fue en el almacenamiento a 75 % de humedad y 30 °C con una diferencia de 10.3 ± 1.48 mg Trolox/g; a 32 % de humedad y temperatura de 7 °C de almacenamiento fue la condición en donde hubo menos pérdida de la actividad antioxidante; es decir, menor degradación con un mantenimiento de la actividad antioxidante en microencapsulado con un valor de 9.1 ± 0.68 mg Trolox / g. El polvo sin microencapsular presentó una mayor pérdida de actividad antioxidante que en el polvo microencapsulado ($p < 0.05$).

Tabla 4. Actividad antioxidante por método ABTS en polvo sin microencapsular y en polvo microencapsulado de jamaica-fresa con probiótico L20 *Lacticaseibacillus paracasei* a condiciones controladas.

Condición	Semana cero	Semana seis	Diferencia (C _i -C _f)
	Actividad antioxidante (mg Etrolox / g)	Actividad antioxidante (mg Etrolox / g)	Δ
32 %, 7 °C (Sin microencapsular)	30.5 ± 0.00	5.1 ± 0.32	25.4 ± 0.32 ^a
32 %, 30 °C (Sin microencapsular)	30.6 ± 0.00	3.9 ± 0.98	26.6 ± 0.98 ^{a,b}
75 %, 30 °C (Sin microencapsular)	30.6 ± 0.00	1.6 ± 0.00	28.9 ± 0.00 ^b
75 %, 7 °C (Sin microencapsular)	30.6 ± 0.00	2.0 ± 0.97	28.5 ± 0.97 ^b
75 %, 30 °C (Microencapsulado)	19.4 ± 0.68	9.0 ± 1.31	10.3 ± 1.48 ^c
75 %, 7 °C (Microencapsulado)	19.4 ± 0.68	9.8 ± 0.76	9.5 ± 1.25 ^c
32 %, 30 °C (Microencapsulado)	19.4 ± 0.68	9.2 ± 1.0	10.1 ± 1.10 ^c
32 %, 7 °C (Microencapsulado)	19.4 ± 0.68	10.3 ± 0.00	9.1 ± 0.68 ^c

Los datos reportados son la media ± desviación estándar de tres determinaciones y se expresan como miligramos equivalentes de trolox (mg ETrolox). Letras diferentes en la misma columna, indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) (Tukey).

En la figura 15 se reporta el porcentaje de inhibición (%) del radical ABTS del microencapsulado jamaica-fresa adicionado con el probiótico *Lacticaseibacillus paracasei* (L20) y del polvo sin encapsular jamaica y fresa almacenados bajo diferentes condiciones controladas de temperatura (°C) y humedad relativa (%) (**Figura 15 A B C D**). En la figura 15 podemos observar de manera general una disminución en el porcentaje de inhibición del radical ABTS en los polvos encapsulados y no encapsulados conforme transcurre el tiempo de almacenamiento; de igual manera, se observa que los polvos microencapsulados en todas las condiciones de almacenamiento probadas presentó una mayor inhibición del radical ABTS. El polvo microencapsulado presentó una degradación baja durante las seis semanas.

En la **Figura 15 B** y en la **Figura 15 C** con una humedad relativa y temperatura de 75 % con 7 °C, y 32 % con 30 °C respectivamente, se presentó mayor degradación en el polvo sin microencapsular que en el polvo microencapsulado. Finalmente, en la **Figura 15 D** a una humedad relativa de 32 % y 7 °C de temperatura presentó degradación del polvo sin microencapsular con una pérdida significativa entre tiempo inicial y semana uno, y el microencapsulado mostró la mejor estabilidad, teniendo solo ligeras pérdidas de degradación.

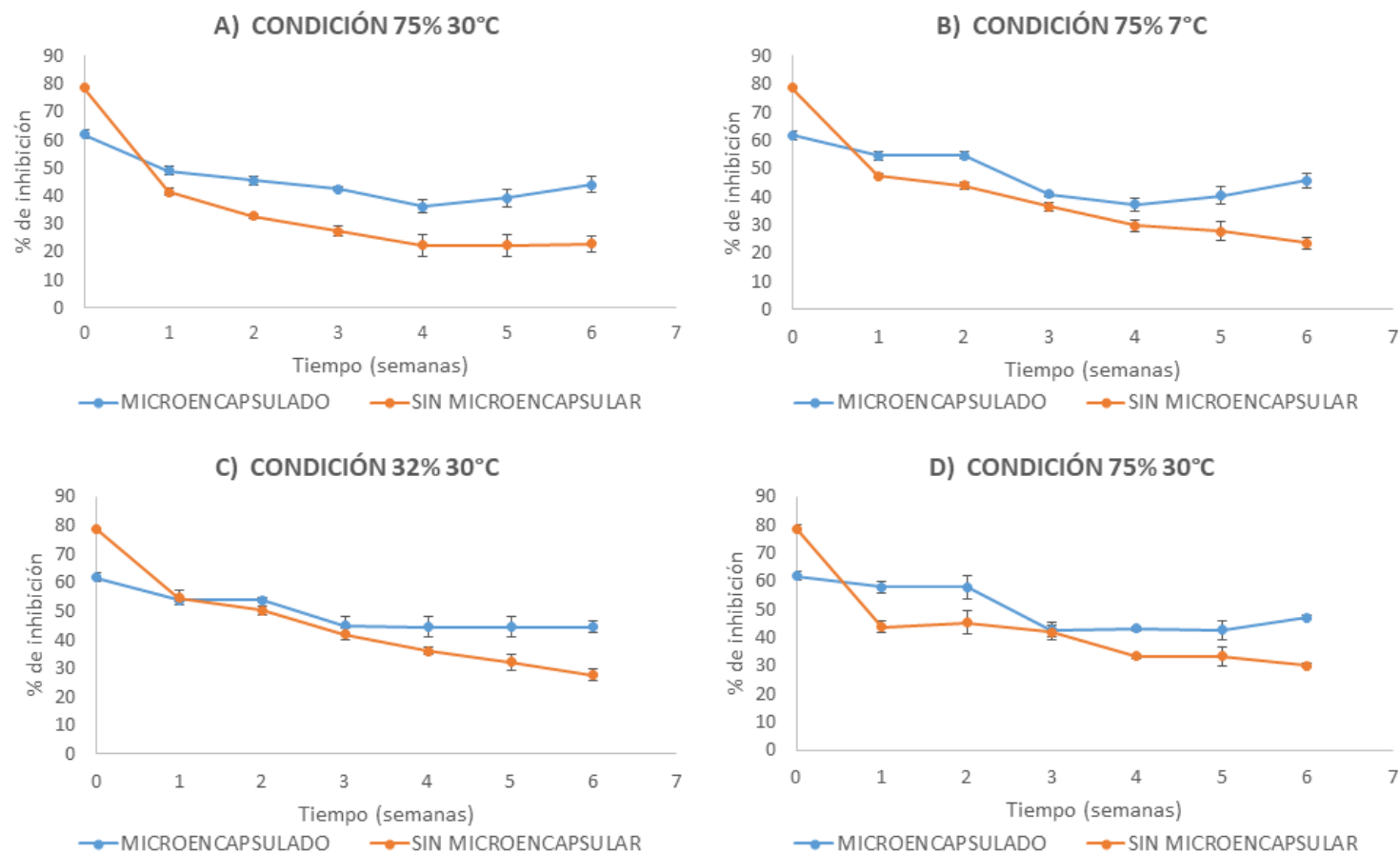


Figura 15. Porcentaje de inhibición del radical ABTS en microencapsulados de jamaica-fresa con *Lacticaseibacillus paracasei* (L20) y en polvo sin microencapsular analizados en condiciones controladas durante seis semanas. A) condición 75 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura, B) condición 75 % de humedad relativa a 7 °C, C) condición de 32 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura y D) condición de 32 % de humedad relativa a 7 °C de temperatura.

Cassol y Loreña, (2021) evaluaron la estabilidad de actividad antioxidante por 30 días a diferentes temperaturas (40 y 60 °C) y humedades relativas (75 y 90%) de almacenamiento en microencapsulados de *Hibiscus sabdariffa* utilizando diferentes materiales pared como; povidona, aislado de proteína de suero y la combinación de ambas. Los resultados mostraron que los microencapsulados que contenían povidona presentaron mejor estabilidad a las diferentes condiciones de almacenamiento a los que fueron sometidos, pero en general con el almacenamiento a 40 °C y 75 % de humedad se obtuvo un 64.7 % de retención. Los autores reportaron que los polvos mostraron dos periodos de degradación de actividad antioxidante. En el primer periodo se observó una pérdida significativa asociada con la disminución de compuestos fenólicos y posteriormente su estabilidad a las condiciones de almacenamiento y este efecto es similar a lo obtenido en esta investigación, en las cuatro condiciones de almacenamiento. Sadilova *et al.* (2007) menciona que la adaptabilidad a las condiciones después de tener una pérdida significativa puede ser consecuencia de que la degradación fenólica puede formar hidrólisis o polimerización de otros compuestos.

En la **Tabla 5** se presentan los porcentajes de inhibición del radical ABTS (%) del polvo sin microencapsular y del polvo microencapsulado de jamaica-fresa adicionado con el probiótico *Lactobacillus paracasei* (L20) bajo diferentes temperaturas y humedades relativas de almacenamiento durante seis semanas. En la semana 0 se observa que el mayor porcentaje de inhibición se obtiene en el polvo sin microencapsular de jamaica y fresa (relación 75:25 p/p); sin embargo en la semana 6 los polvos microencapsulados de jamaica y fresa adicionados con el probiótico *Lactobacillus paracasei* (L20) presentaron los mayores valores de inhibición del radical ABTS; de igual manera se observa que existe una mayor pérdida de la inhibición del radical ABTS en los polvos sin microencapsular con respecto al tiempo inicial. Los resultados de la tabla 5 muestran que la mejor condición de almacenamiento de los polvos microencapsulados fue a

una humedad relativa de 32 % y temperatura de 7 °C. En las condiciones mencionadas con anterioridad, la disminución en la actividad antioxidante entre la

semana 0 y la semana 6 fue del $14.67 \pm 1.33\%$. Por el contrario, los microencapsulados almacenados a 75 % de humedad relativa y 30 °C de temperatura presentaron una pérdida de actividad antioxidante del $17.78 \pm 3.08\%$.

Tabla 5. Porcentaje de inhibición del radical ABTS (%) del polvo sin microencapsular y del polvo microencapsulado de jamaica-fresa adicionado con el probiótico *Lacticaseibacillus paracasei* (L20) bajo condiciones de almacenamiento controladas.

Condición	Semana cero	Semana seis	Diferencia (% _{0i} -% _{6f})
	Porcentaje de inhibición (%)	Porcentaje de inhibición (%)	Δ
32 % 7 °C (Sin microencapsular)	78.7 ± 0.00	33.0 ± 5.78	45.7 ± 5.78 ^a
75 % 7 °C (Sin microencapsular)	78.7 ± 0.00	23.6 ± 2.03	55.1 ± 2.03 ^{a,b}
32 % 30 °C (Sin microencapsular)	78.7 ± 0.00	27.6 ± 2.03	51.1 ± 2.03 ^{a,b}
75 % 30 °C (Sin microencapsular)	78.7 ± 0.00	22.7 ± 2.66	56.0 ± 2.66 ^b
75 % 30 °C (Microencapsulado)	61.8 ± 1.54	44.0 ± 2.67	17.8 ± 3.08 ^c
75 % 7 °C (Microencapsulado)	61.8 ± 1.54	45.8 ± 1.55	16.0 ± 2.66 ^c
32 % 30 °C (Microencapsulado)	61.8 ± 1.54	44.4 ± 2.03	17.3 ± 2.30 ^c
32 % 7 °C (Microencapsulado)	61.8 ± 1.54	47.1 ± 0.76	14.7 ± 1.33 ^c

Los datos se expresan como media ± desviación estándar. Diferentes letras minúsculas en la misma columna, indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) (Tukey). Nota: mg EAG= miligramos equivalentes de ácido gálico, Δ = diferencia.

Respecto a la fresa, Hidalgo y Almajano, (2017) mencionan que factores como el tipo de cultivo, temporada de cosecha y la región donde se cultivan influyen significativamente en su contenido antioxidante. Sin embargo, variables como el clima, la exposición al sol, el consumo de agua por parte de las plantas y el grado de madurez en el momento de la recolección son parámetros difíciles de controlar. De acuerdo con Halliwell y Gutteridge (2015), los mecanismos a través de los cuales actúan los antioxidantes en jamaica y fresa pueden involucrar la inhibición de enzimas, la eliminación de especies reactivas de oxígeno y el fortalecimiento o perseverancia de los sistemas de defensa antioxidante. Es por eso que el beneficio a los sistemas nervioso, cardiovascular e inmunológico es prevenir el daño oxidativo a células y tejidos, mejorando la respuesta inmunitaria y previniendo al organismo de enfermedades o infecciones. De igual forma, implementar estos alimentos naturales ricos en antioxidantes se ha convertido en una sugerencia exigente como respuesta a varios estudios epidemiológicos; ya que, estos aumentan la actividad antioxidante del plasma en sangre y reduce el riesgo a padecer ciertas patologías (Wang *et al.* 1996). De acuerdo con Hassimotto *et al.* (2005) la actividad antioxidante con un porcentaje >90% de inhibición se clasifica como actividad antioxidante alta, 40 -70% de inhibición como intermedia y < 40% de inhibición una actividad antioxidante baja. En esta investigación obtuvimos una clasificación media en el polvo microencapsulado en las cuatro condiciones de almacenamiento con porcentajes de 44, 45.78, 44.44 y 47.11% durante seis semanas de estudio.

7.3 Actividad antioxidante por método DPPH en microencapsulado y en polvo sin microencapsular.

La actividad antioxidante en el microencapsulado de jamaica-fresa con *Lactocaseibacillus paracasei* (L20) y de polvo sin microencapsular (jamaica y fresa molida como materia prima inicial) evaluada bajo diferentes condiciones controladas de temperatura (°C) y humedad relativa (%) por el método DPPH se muestran en la **Figura 16 A, B, C y D**. De manera general, en la figura 16 se observa una disminución de la actividad antioxidante por DPPH en todas las condiciones de almacenamiento probadas; sin embargo, conforme transcurre el tiempo de

almacenamiento el polvo sin microencapsular presentó una mayor disminución en la actividad antioxidante a partir de la semana 2 en comparación del polvo microencapsulado de Jamaica-fresa adicionado con *Lacticaseibacillus paracasei* (L20). En la figura 16 A, B y C se observa una disminución más rápida de la actividad antioxidante tanto en el polvo sin encapsular como en el polvo microencapsulado. Finalmente, la última condición de 32% de humedad relativa a 7°C de temperatura **Figura 16 D** mostró ser la mejor condición de almacenamiento para mantener la actividad antioxidante del polvo sin encapsular; así como del encapsulado.

Nguyen *et al.* (2022) evaluaron el efecto de diferentes temperaturas de entrada de secado (150, 160 y 170 °C) en un secador por aspersion de antocianinas de cálices de jamaica, los autores reportaron que a menor temperatura de entrada de secado (150 °C) hay una menor pérdida de antocianinas, y por consecuencia mayor actividad antioxidante. Reportaron valores de antocianinas de 6.08 a 10.47 mg/g de polvo seco en el rango de 150 a 170 °C. De igual manera, Krishnaiah *et al.* (2012) mencionan que las temperaturas elevadas pueden modificar la estructura de los compuestos fenólicos, formando diversos componentes y provocando una reducción de actividad antioxidante.

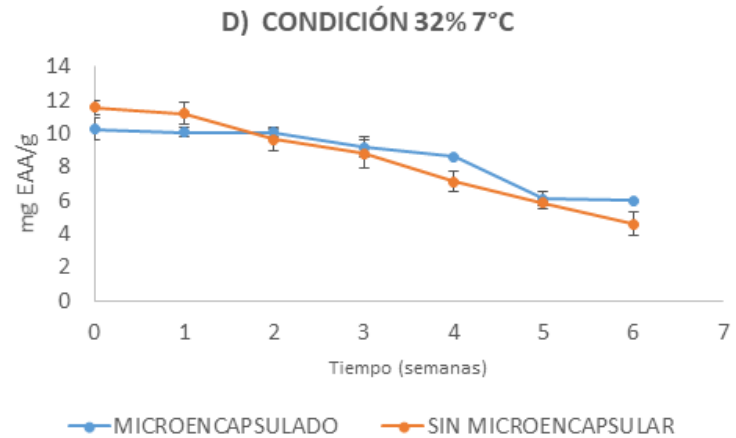
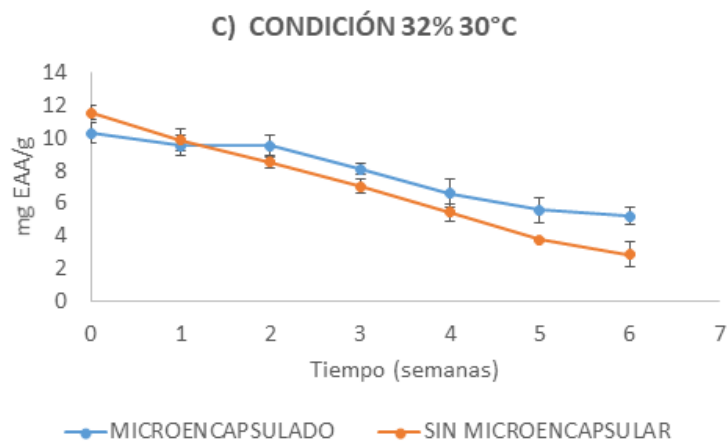
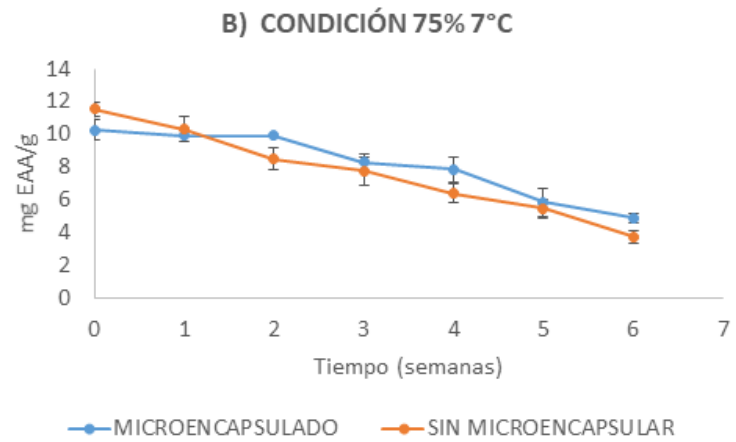
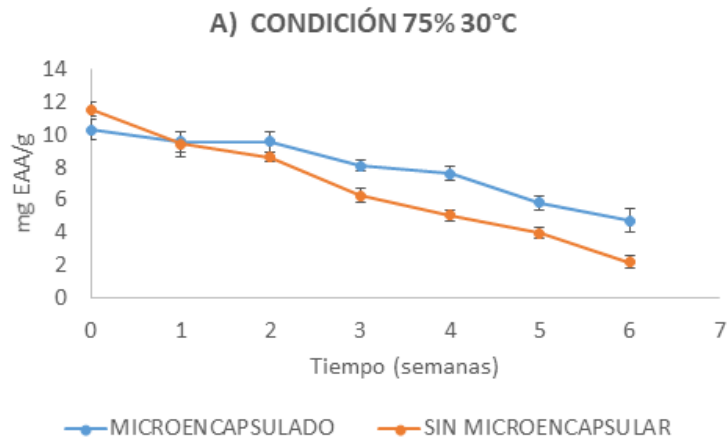


Figura 16. Actividad antioxidante por método DPPH en polvo microencapsulado de jamaica-fresa con *Lactiseibacillus paracasei* (L-20) y en polvo sin microencapsular analizados en condiciones controladas durante seis semanas. A) 75 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura, B) 75 % de humedad relativa a 7 °C, C) 32 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura y D) 32 % de humedad relativa a 7 °C de temperatura.

En la **Tabla 6** se presenta los resultados de la actividad antioxidante residual en el microencapsulado de jamaica-fresa con probiótico *Lactocaseibacillus paracasei* (L20) y del polvo sin microencapsular por el método DPPH (mg EAA / g) durante seis semanas de almacenamiento bajo diferentes humedades relativas (32 y 75%) y temperaturas (7 y 30°C). Los resultados indican que los microencapsulados presentan mayor disminución de la actividad antioxidante cuando se almacenan 75 % de humedad relativa y 30 °C, mientras que la menor pérdida de actividad antioxidante se obtuvo cuando el microencapsulado se almacenó a 32 % de humedad relativa y 7 °C de temperatura. El polvo microencapsulado almacenado a una humedad relativa del 32% presentó una menor degradación; sin embargo, no presentó diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) respecto a los polvos microencapsulados almacenados a 75% de humedad relativa. Por otro lado, el polvo sin microencapsular mostro menor actividad antioxidante; dejando en claro que, el recubrimiento de compuestos bioactivos sensibles a factores ambientales mediante secado por aspersión, es una técnica eficaz para preservar los compuestos bioactivos; además de ser un vehículo para incorporación de compuesto bioactivos en matrices alimentarias.

Tabla 6. Actividad antioxidante por método DPPH en polvo sin microencapsular y en polvo microencapsulado de jamaica-fresa con probiótico *Lacticaseibacillus paracasei* (L20) a condiciones controladas.

Condición	Semana cero	Semana seis	Diferencia (C _i -C _f)
	Actividad antioxidante (mg EAA / g)	Actividad antioxidante (mg EAA / g)	Δ
75 %, 30 °C (Sin microencapsular)	11.6 ± 0.48	2.2 ± 0.38	9.4 ± 0.05 ^a
75 %, 7 °C (Sin microencapsular)	11.6 ± 0.48	3.7 ± 0.37	7.8 ± 0.81 ^{a,b}
32 %, 30 °C (Sin microencapsular)	11.6 ± 0.48	2.9 ± 0.76	8.7 ± 0.66 ^{a,b}
32 %, 7 °C (Sin microencapsular)	11.6 ± 0.48	4.6 ± 0.66	7.0 ± 0.79 ^{b,c}
75 %, 30 °C (Microencapsulado)	10.3 ± 0.62	4.7 ± 0.71	5.6 ± 0.24 ^{c,d}
75 %, 7 °C (Microencapsulado)	10.3 ± 0.62	4.9 ± 0.27	5.4 ± 0.90 ^{c,d}
32 %, 30 °C (Microencapsulado)	10.3 ± 0.62	5.2 ± 0.54	5.1 ± 0.59 ^d
32 %, 7 °C (Microencapsulado)	10.3 ± 0.62	6.0 ± 0.00	4.3 ± 0.62 ^d

Los datos se expresan como media ± desviación estándar. Letras diferentes en en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas (p<0.05) mediante la prueba de comparación de medias de Tukey. Nota: mg EAA= miligramos equivalentes de ácido ascórbico.

Sharayei *et al* (2020) evaluaron la actividad antioxidante por el método DPPH en microencapsulados del extracto acuoso de cáscara de granada (*Punica granatum*), los autores reportaron una elevada actividad antioxidante y tras la microencapsulación de un extracto reportaron que la estabilidad se incrementaba hasta un 77.83% utilizando como material pared β -ciclodextrina al 10%. Los autores infieren que la microencapsulación contribuyó a la estabilidad y liberó controladamente los compuestos antioxidantes. Con el mismo método, Jiménez-Villeda *et al.* (2025) evaluaron la actividad antioxidante de microencapsulados por secado por aspersion de mezclas de jugo de granada y extracto de jamaica . Reportaron que la formulación con mayor actividad antioxidante fue en proporción 30% jugo de granada y 70% de extracto de jamaica con 4.79 mg EAA/g y con una inhibición del radical DPPH del 80.83%. Estas formulaciones demostraron alta efectividad en la perseverancia de sus propiedades benéficas tras seis meses de almacenamiento.

El % de inhibición del radical DPPH se presenta en la **Figura 17 A, B, C y D**. Los resultados muestran que el polvo sin microencapsular de Jamaica-fresa presentó una disminución más rápida del porcentaje de inhibición del radical DPPH. En la semana 0 los polvos sin microencapsular presentaron un porcentaje de inhibición del 25%, en la semana 6 el porcentaje de inhibición disminuyó a valores entre 0 y 5%, siendo las condiciones de humedad relativa de 75 y 32% y temperatura de 7°C (Figura 17 B y D) las que presentaron el mayor porcentaje de inhibición en la semana 6 de los polvos sin microencapsular. Por otro lado, los polvos microencapsulados de en la semana 0 presentaron el menor porcentaje de inhibición; sin embargo, en la semana 6 el porcentaje de inhibición presentó valores entre 10 y 15%, valores por encima de los polvos sin microencapsular.

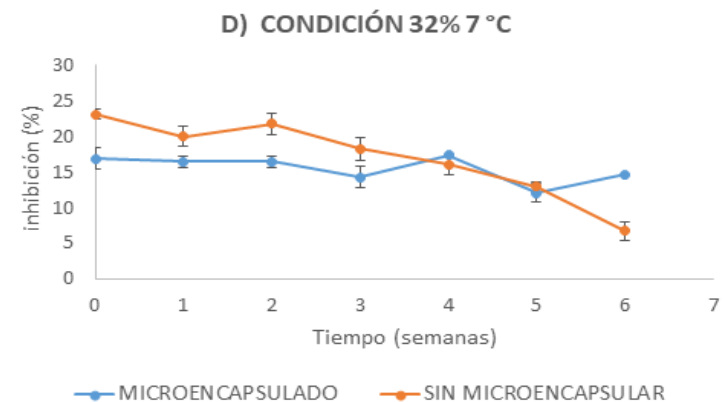
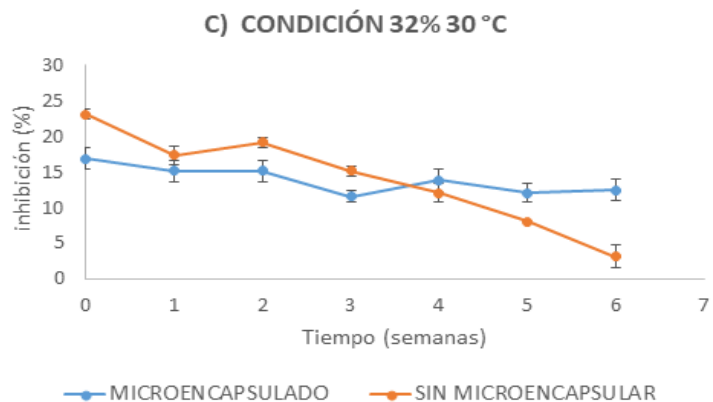
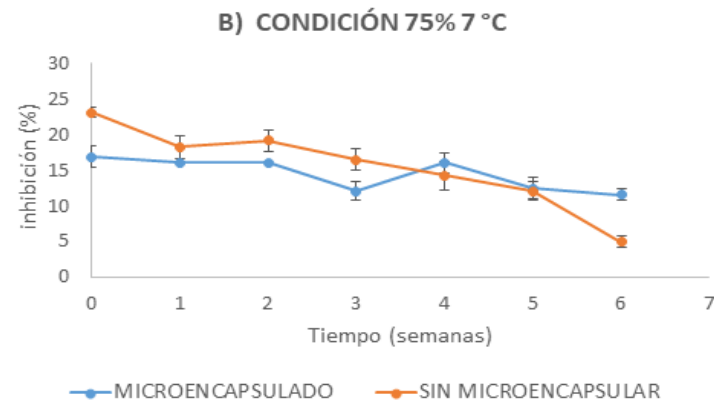
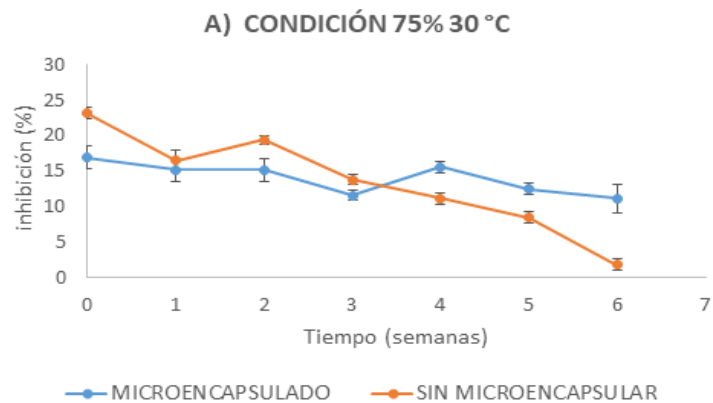


Figura 17. Porcentaje de inhibición del radical DPPH en polvo microencapsulado de jamaica-fresa con *Lacticaseibacillus paracasei* (L-20) y en polvo sin microencapsular analizados en condiciones controladas durante seis semanas. A) Condición 75 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura, B) condición 75 % de humedad relativa a 7 °C, C) condición de 32 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura y D) condición de 32 % de humedad relativa a 7 °C de temperatura.

En la **Tabla 7** se presentan los resultados en porcentaje de la diferencia de inhibición del radical DPPH entre la semana 0 y la semana 6 de almacenamiento de los polvos sin encapsular de extractos de jamaica-fresa y los microencapsulados de extractos de jamaica-fresa adicionados con el *Lacticaseibacillus paracasei* (L-20). Los resultados obtenidos del porcentaje de inhibición del radical DPPH (%) muestran que el polvo sin microencapsular y almacenado a diferentes temperaturas y humedades relativas presenta una mayor disminución de su porcentaje de inhibición respecto al microencapsulado. El polvo microencapsulado muestra una disminución de inhibición entre 1.3 a 4.9%; mientras que el polvo sin encapsular su disminución en el porcentaje de inhibición se encuentra entre el 16.4 al 21.3%. La mejor condición para preservar el % de inhibición en los polvos microencapsulados es a 32% de humedad relativa y 7°C con una disminución de porcentaje de inhibición del 1.3%. Por otro lado, la condición menos eficaz de almacenamiento de los polvos microencapsulados fue a 75 % de humedad relativa y 30° C de temperatura con una reducción en el porcentaje de inhibición del radical DPPH del 4.9±2.03%. Entre las diferentes condiciones de almacenamiento en los microencapsulados no hubo diferencia estadística significativa en la reducción del porcentaje de inhibición; pero si presentaron una diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) cuando se comparan con los polvos sin microencapsular a las diferentes condiciones de almacenamiento.

Tabla 7. Actividad antioxidante por método DPPH (%) en polvo sin microencapsular y en polvo microencapsulado de jamaica-fresa con probiótico *Lacticaseibacillus paracasei* (L20) a condiciones controladas.

Condición	Semana cero	Semana seis	Diferencia (%i-%of)
	Porcentaje de inhibición (%)	Porcentaje de inhibición (%)	Δ
75 %, 30 °C (Sin microencapsular)	23.1 ± 0.76	1.8 ± 0.77	21.3 ± 0.00 ^a
75 %, 7 °C (Sin microencapsular)	23.1 ± 0.76	4.9 ± 0.76	18.2 ± 1.53 ^{ab}
32 %, 30 °C (Sin microencapsular)	23.1 ± 0.76	3.1 ± 1.54	20.0 ± 1.33 ^{ab}
32 %, 7 °C (Sin microencapsular)	23.1 ± 0.76	6.7 ± 1.33	16.4 ± 1.53 ^b
75 %, 30 °C (Microencapsulado)	16.0 ± 0.00	11.1 ± 2.03	4.9 ± 2.03 ^c
75 %, 7 °C (Microencapsulado)	16.0 ± 0.00	11.6 ± 0.76	4.4 ± 0.76 ^c
32 %, 30 °C (Microencapsulado)	16.0 ± 0.00	12.4 ± 1.53	3.6 ± 1.53 ^c
32 %, 7 °C (Microencapsulado)	16.0 ± 0.00	14.7 ± 0.00	1.3 ± 0.00 ^c

Los datos se expresan como media ± desviación estándar. Diferentes letras minúsculas en la misma columna, indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) (Tukey).

Villalobos-Vega *et al.* (2023) optimizaron el método de extracción de compuestos antioxidantes de *Hibiscus sabdariffa* en solventes como etanol y agua utilizando el diseño experimental Box-Behnken y posteriormente evaluaron la actividad antioxidante por el método DPPH. Ellos reportaron que los compuestos fenólicos son mayoritarios en comparación con las antocianinas presentes, pero que ambos se relacionan estrechamente con la actividad antioxidante; debido a que las antocianinas están compuestas por anillos aromáticos con grupos hidroxilo lo que las hace pertenecientes a grupo de los flavonoides teniendo propiedades antioxidantes al permitir la neutralización de radicales libres. Además, reportaron que el agua demostró ser el mejor disolvente ya que presentó mayor contenido de actividad antioxidante con el 95% en comparación con el extracto de etanol. Según Ramirez-Rodriguez *et al.* (2011) reportan una correlación positiva entre el contenido de antocianinas en jamaica y la actividad antioxidante, es por eso que a contenidos altos de antocianinas y de compuestos fenólicos suele haber alto contenido de actividad antioxidante.

Asimismo, Liu *et al.* (2024) reportaron que la estabilidad y biodisponibilidad de la actividad antioxidante pueden verse influenciadas de manera indirecta de muchos factores externos, ya que evaluando diferentes métodos de procesamiento de jugo de arándano reportaron que el pH, la temperatura y el tiempo de almacenamiento afecta el contenido de antocianinas y al mismo tiempo la actividad antioxidante presente.

Los resultados obtenidos de actividad antioxidante por ambos métodos (ABTS y DPPH) fueron correlacionados, mostrando el método ABTS como mejor asociación con el contenido fenólico. Floegel *et al.* (2011) demostró una equivalencia en cuanto actividad antioxidante entre ABTS y DPPH en 50 frutas, verduras y bebidas. Sin embargo, a este último lo definieron como más selectivo y limitado, ideal para pruebas en extractos polares, aunque menos útil para mezcla de compuestos en alimentos.

De igual forma, Díaz Muñoz (2021) estudió la comparativa de estos métodos para la determinación de la actividad antioxidante en pulpa de maracuyá (*Passiflora edulis*). Reportó valores más altos de ABTS ($2.4 \pm 0.6 \mu\text{mol/g}$ con el 2.3%) que en

DPPH ($1.02 \pm 0.4 \mu\text{mol/g}$ con el 0.9%). Concluyó que el método ABTS tiene mayores valores debido a que este ensayo es capaz de medir tanto compuestos lipofílicos como hidrofílicos, además se maneja con espectro de absorbancia más amplio con alrededor 414-815 nm dando lugar a mayor flexibilidad frente a interferencias de pigmentos en las muestras a analizar.

7.4 Viabilidad de *Lacticaseibacillus paracasei* microencapsulado con jamaica-fresa

Se evaluó la viabilidad de *Lacticaseibacillus paracasei* en el microencapsulado de jamaica-fresa durante seis semanas bajo cuatro condiciones de almacenamiento modificando la humedad relativa (32 y 75%) y temperatura (7°C y 30°C). En todos los gráficos de la figura 18 se observa una disminución logarítmica de las UFC/ g de microcápsulas conforme transcurre el tiempo de almacenamiento. En el gráfico A, B y C se observa que a partir de la primera semana se observa una disminución logarítmica de 9 unidades; mientras que en el gráfico D la reducción logarítmica desde la primera semana hasta la semana 6 fue de 1 unidad; por lo que, podemos inferir que a temperaturas de refrigeración los microorganismos se mantienen viables y en cantidades suficientes para demostrar un efecto en la salud del consumidor.

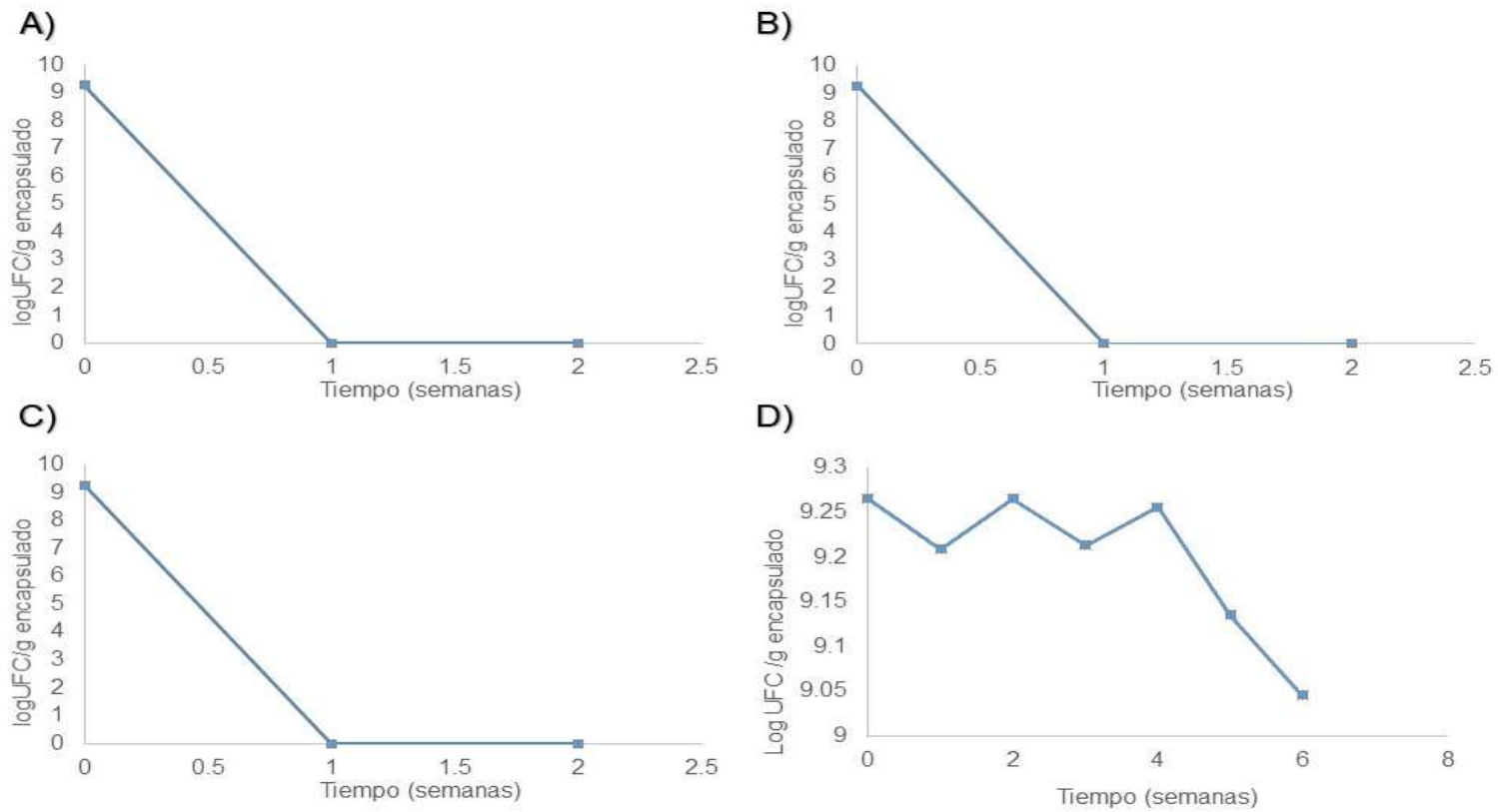


Figura 18. Conteo de unidades formadoras de colonias de *Lacticaseibacillus paracasei* (L-20) en microencapsulados de Jamaica-fresapor el método de vaciado en placa yalmacenados durante seis semanas. A) Condición 75 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura, B) condición 75 % de humedad relativa a 7 °C, C) condición de 32 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura y D) condición de 32 % de humedad relativa a 7 °C de temperatura.

Según Champagne *et al.* (2011), la concentración de los polvos microencapsulados es la ideal para un posible efecto beneficioso en la salud de los consumidores. Sin embargo, se requiere realizar pruebas de estabilidad que aseguren y garanticen el mantenimiento de la viabilidad en cuanto a tiempo de los microorganismos a lo largo del almacenamiento. De acuerdo a la **Tabla 8**, fue solo a esta condición de almacenamiento en la que el microencapsulado demostró presentar resultados satisfactorios de viabilidad. En esta condición de almacenamiento el microencapsulado presentó una diferencia significativa en la concentración de microorganismos entre el tiempo cero y tiempo final, con un resultado de 0.219 log UFC/g.

Los probióticos han sido definidos por la FAO y OMS como “microorganismos vivos que, administrados en cantidades adecuadas, confieren un efecto beneficioso para la salud del huésped”. La concentración recomendada de células viables para que los microorganismos probióticos tengan un efecto beneficioso sobre la salud es $> 10^6 - 10^8$ UFC/g o $10^8 - 10^{10}$ UFC/día del producto durante el consumo (Champagne *et al.*, 2011). Sin embargo, la viabilidad durante el procesamiento, el almacenamiento y el tránsito por el tracto gastrointestinal (TGI) es cuestionable, ya que las bacterias son susceptibles a factores adversos, como la concentración de oxígeno, el pH ácido y las altas concentraciones de sales biliares (Castro-Rosas *et al.*, 2020). La microencapsulación de bacterias probióticas es una alternativa para protegerlas contra condiciones ambientales adversas y mantener su viabilidad (Martín *et al.*, 2015). La viabilidad de los probióticos en el microencapsulado bajo la condición de 32 % de humedad relativa y 7° C de temperatura representa un resultado favorable, ya que indica que la técnica de microencapsulación fue efectiva para proteger al microorganismo frente a factores adversos. Esta protección contribuye a la estabilidad y funcionalidad de los probióticos a lo largo del tiempo, asegurando que se conserven en condiciones adecuadas para ejercer sus beneficios biológicos. Además, una buena viabilidad durante el almacenamiento es esencial para garantizar el potencial y calidad en la implementación en productos alimenticios.

Tabla 8. Viabilidad de *Lacticaseibacillus paracasei* en microencapsulados almacenados a distintas condiciones durante seis semanas.

Condición	Semana cero (Log UFC/g)	Semana seis (Log UFC/g)	Δ Diferencia
75% 30°C	9.3	No se detectó.	-
75% 7°C	9.3	No se detectó.	-
32% 30 °C	9.3	No se detectó.	-
32% 7 °C	9.3	9.046	0.219

Existen investigaciones que centran su enfoque en la microencapsulación mediante secado por aspersion de bacterias probióticas utilizando N-Lok como material pared similar a lo reportado en este estudio (Hernández-López *et al.* 2018).

7.5 Actividad antimicrobiana en microencapsulado

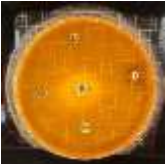



En la **Tabla 9** se muestra los resultados de las zonas de inhibición (mm) presentes en polvos sin encapsular y microencapsulados de un extracto de jamaica-fresa adicionados con el probiótico *Lacticaseibacillus paracasei* (L20), contra bacterias patógenas Gram positivas como *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Listeria monocytogenes* (ATCC 19115), *Escherichia coli* (O157:H7 E09) y *Salmonella typhymurium* (ATCC 14028). De acuerdo con los resultados obtenidos, se obtuvieron halos de inhibición ante las cuatro bacterias probadas. Se obtuvieron zonas de mayor inhibición >20 mm en muestras de 100 mg de microencapsulado a comparación de muestras de polvo sin microencapsular con zonas de inhibición <14 mm. Es decir, el extracto mostro como resultado una mejor actividad antimicrobiana ante estas bacterias cuando fue microencapsulado.

Falco *et al.* (2024) evaluaron la actividad antimicrobiana del extracto acuoso de *Hibiscus sabdariffa L* encapsulado frente a diversos microorganismos patógenos comunes en los alimentos, reportaron halos de inhibición amplios >20 mm en concentraciones del 25% y 12.5% para *Staphylococcus aureus* y *Salmonella*

enteritidis. Este estudio sugiere su potencial como agente antimicrobiano natural en la conservación de los alimentos.

Hussain *et al.* (2021) publicaron que los extractos de fresa muestran actividad antibacteriana y antifúngica significativa contra distintos patógenos gracias a su rica composición fitoquímica; como flavonoides, alcaloides y saponinas que lo componen, haciendo que este alimento sea considerado funcional en la dieta diaria del ser humano. Reportaron que la actividad antimicrobiana de la fresa se debe a que los flavonoides inhiben la síntesis de proteínas bacterianas, los alcaloides afectan la permeabilidad de la membrana celular y las saponinas interfieren con la formación de biofilm. Según lo reportado la microencapsulación de extractos de jamaica y fresa con actividad antimicrobiana representa un enfoque que en el futuro promete mejorar la seguridad y conservación de los alimentos, esto es conveniente para industrias alimentarias y también para consumidores.

Tabla 9. Determinación de halos de inhibición (mm) de polvo sin microencapsular y microencapsulado de jamaica-fresa con probiótico L20 *Lacticaseibacillus paracasei* frente a bacterias patógenas.

Muestra	Bacteria			
	<i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 25923)	<i>Listeria monocytogenes</i> (ATCC 19115)	<i>Escherichia coli</i> (O157:H7 E09)	<i>Salmonella typhymurium</i> (ATCC 14028)
A (10 mg)	10.16 ± 1.54 a	13.59 ± 0.84 a	12.82 ± 2.24 a	10.25 ± 0.47 a
B (100 mg)	21.29 ± 4.21 b	24.60 ± 1.59 d	26.42 ± 2.36 b	21.80 ± 4.47 b
C (Sin microencapsular)	11.84 ± 2.57 a	11.42 ± 0.84 a	12.33 ± 0.37 a	9.64 ± 0.19 a
EDTA (control +)	21.39 ± 2.91 b	19.73 ± 1.50 c	22.02 ± 2.24 b	18.75 ± 0.68 b
Agua (control -)	0.00 ± 0.00 c	0.00 ± 0.00 b	0.00 ± 0.00 c	0.00 ± 0.00 c
				

Los datos se expresan como media ± desviación estándar por triplicado. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de comparación de medias múltiple de Tukey ($p < 0.05$).

7.6 Microscopia electrónica de barrido en microencapsulado

En la **Figura 19** se muestra una micrografía del polvo microencapsulado mediante secado por aspersión de una mezcla jamaica-fresa (75%-25%) a una temperatura de entrada de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$ y con una temperatura de salida de $74^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$. Las microcápsulas formadas muestran cavidades superficiales con irregularidades y formas contraídas, esto como consecuencia de la rápida y eficaz evaporación de agua durante el secado.

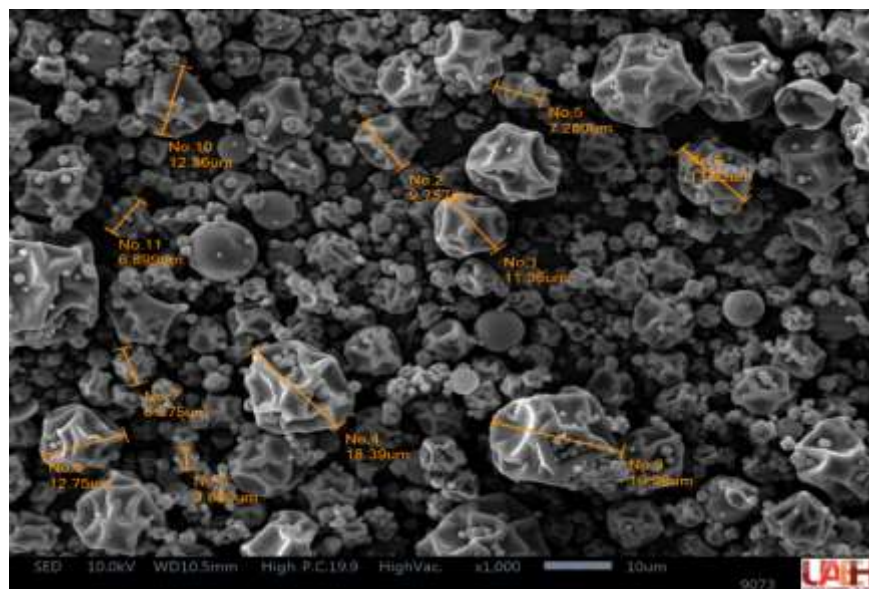


Figura 19. Micrografía de microencapsulado de mezcla jamaica-fresa (25%-75%) y almidón N-Lok obtenido mediante secado por aspersión observado a 1000 resoluciones.

Se obtuvieron micrografías al final del tiempo de estudio (seis semanas) para evaluar la integridad en la morfología según las condiciones de almacenamiento. Se presentaron cambios en la morfología en los microencapsulados almacenados a porcentajes altos de humedad relativa a ambas temperaturas (**Figura 20 B, D**). Se observa una aglomeración de compuestos en la que ya no es identificable como tal una microcápsula. Esto fue el resultado de la absorción de agua del entorno de almacenamiento. Por el contrario, los microencapsulados almacenados a porcentajes bajos de humedad relativa con $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura

mantuvieron íntegra su morfología (**Figura 20 A, C**). A pesar de tener diferentes morfologías en las cuatro condiciones, según los resultados se presentó estabilidad de compuestos bioactivos en todas las condiciones de almacenamiento.

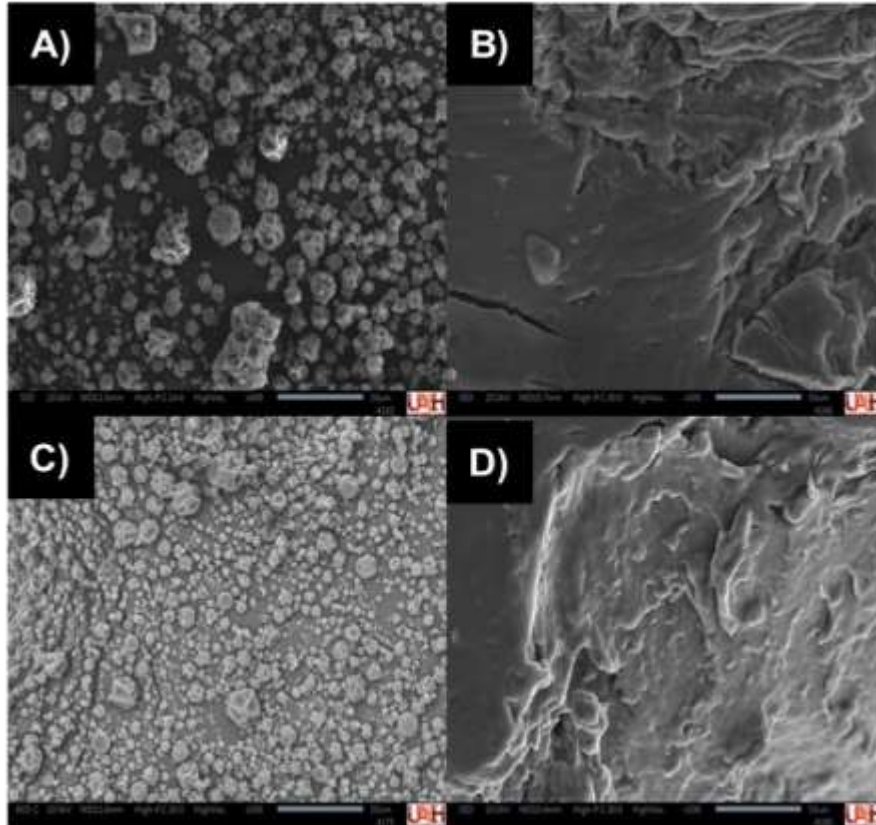


Figura 20. Micrografía de microencapsulados mezcla jamaica-fresa (75%-25%) y almidón N-Lok obtenidos mediante secado por aspersión observados a un aumento de 500x: A) condición de almacenamiento de 32 % de humedad relativa a 7 °C de temperatura, B) condición de almacenamiento de 75 % de humedad relativa a 7 °C de temperatura, C) condición de almacenamiento de 32 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura y D) condición de almacenamiento de 75 % de humedad relativa a 30 °C de temperatura.

Rojas-Moreno *et al.* (2018) reportaron que, si el microencapsulado es permeable al agua, durante el secado por aspersión se genera la retracción de la microcápsula y esta actúa como agente protector de sus compuestos.

VIII. CONCLUSIONES

La microencapsulación mediante secado por aspersión de un extracto de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L) y fresa (*Fragaria ananassa* Duch) (75-25%) adicionado con probióticos *Lactobacillus paracasei* (L20) favoreció la formación de microencapsulados con alta estabilidad durante el almacenamiento bajo diferentes condiciones controladas de humedad relativa y temperatura en comparación con las muestras no encapsuladas.

Durante el almacenamiento bajo condiciones controladas de humedades relativas y temperaturas, se demostró que a 32 % de humedad relativa y 7 °C respectivamente se mantuvo la estabilidad de compuestos fenólicos, así como una actividad antioxidante media.

La viabilidad del probiótico *Lactobacillus paracasei* (L20) fue mayor a lo largo de las seis semanas de almacenamiento (32% de humedad relativa a 7 °C de temperatura) indicando que la microencapsulación proporcionó una protección adecuada frente a otros factores ambientales adversos, con concentraciones adecuadas para un posible efecto benéfico

El microencapsulado con jamaica y fresa con probióticos, presentó actividad antimicrobiana frente a diversas cepas patógenas, lo que refuerza su potencial uso como ingrediente con propiedades funcionales en el área alimentaria.

El extracto microencapsulado de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L) y fresa (*Fragaria ananassa* Duch) con probiótico *Lactobacillus paracasei* (L20) presentan en la industria alimentaria alto potencial, para ser incorporados compuestos bioactivos y probióticos de forma estable y funcional. Su uso podría contribuir al desarrollo de alimentos funcionales con beneficios para la salud, tales como actividad antioxidante, antimicrobiana y probiótica, promoviendo productos innovadores que apoyen el bienestar del consumidor; además de emplearse como coadyuvantes en diversos tratamientos de la población que presenta ETN.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Abdelkarim GUAADAOU, Soumaya BENAICHA, Naima ELMAJDOUB, Mohammed BELLAOUI, Abdellah HAMAL. What is a Bioactive Compound? A Combined Definition for a Preliminary Consensus. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*. Vol. 3, No. 3, 2014, pp. 174-179. doi: 10.11648/j.ijnfs.20140303.16
- Aires, A. (2017). Phenolics in Foods: Extraction, Analysis and. Phenolic compounds: Natural sources, importance and applications, 61.
- Ajiboye, B. O., Famusiwa, C. D., Falode, J. A., Akojuru, D. O., Owolabi, B. T., Adejumo, A. A., ... & Ojo, O. A. (2025). Protective effects of flavonoid-rich extracts from *Hibiscus sabdariffa* leaves on streptozotocin-induced testicular damage in rats. *Phytomedicine Plus*, 100808.
- Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current research in food science*, 4, 200-21
- Alasalvar, C; Salvadó, J.S; Ros, E. 2020. Bioactives and health benefits of nuts and dried fruits. *Food Chemistry*, 314 (1): 126192. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126192>
- Alejandra, C. H. L., Diego, I. C., Diego, L. V., José, L. G. J., & Lorena, L. G. M. (2023). Functional properties of bioactive compounds contained in vegetables commonly consumed in Mexico. *Studies in Natural Products Chemistry*, 79, 241-288.
- Ángel Ruíz-González, M., Ángel Serrato-Cruz, M., Valadez-Moctezuma, E., & Solano-Vidal, R. (2024). Composición química de hidrolatos de Tagetes y evaluación in vitro e in vivo contra hongos asociados a enfermedades en fresa (*Fragaria x ananassa*). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 42(3).
- Balasubramani, P., Palaniswamy, P. T., Visvanathan, R., Thirupathi, V., Subbarayan, A., & Maran, J. P. (2015). Microencapsulation of garlic oleoresin using maltodextrin as wall material by spray drying technology. *International journal of biological macromolecules*, 72, 210-217.
- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food chemistry*, 99(1), 191-203.
- Banda, M., Nyirenda, J., Muzandu, K., Sijumbila, G., & Mudenda, S. (2018). Antihyperglycemic and antihyperlipidemic effects of aqueous extracts of *Lannea edulis* in alloxan-induced diabetic rats. *Frontiers in pharmacology*, 9, 1099.
- Banožić, M., Babić, J., & Jokić, S. (2020). Recent advances in extraction of bioactive compounds from tobacco industrial waste-a review. *Industrial Crops and Products*, 144, 112009. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.112009>
- Bansode SS, Banarjee SK, Gaikwad DD, Jadhav SL. Microencapsulation: a review. *Inter J Pharm Sci Review and Research*. 2010;1:38–43.

- Beltrán-Debón, R., Alonso-Villaverde, C., Aragones, G., Rodríguez-Medina, I., Rull, A., Micol, V., ... & Joven, J. (2010). The aqueous extract of *Hibiscus sabdariffa* calices modulates the production of monocyte chemoattractant protein-1 in humans. *Phytomedicine*, *17*(3-4), 186-191.
- Cardona, D. P., Patiño Arias, L. P., & Ormaza-Zapata, A. M. (2021). Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersion. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *22*(1), e1899.
- Cassol, L., & Noreña, C. P. Z. (2021). Microencapsulation and accelerated stability testing of bioactive compounds of *Hibiscus sabdariffa*. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *15*, 1599-1610.
- Castro-Rosas, J., Gómez-Aldapa, C.A., Chávez-Urbiola, E.A., Hernández-Bautista, M., Rodríguez-Marín, M.L., Cabrera-Canales, Z.E. and Falfán-Cortés, R.N. (2021). Characterisation, storage viability, and application of microspheres with *Lactobacillus paracasei* obtained by the extrusion technique. *International Journal of Food Science & Technology* *56*, 1809-1817. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14807>
- Champagne y Fustier, 2007; Desai y Park, 2005; Kailasapathy, 2002; Lopez-Rubio et al., 2006.
- Champagne, C.P., Ross, R.P., Saarela, M., Hansen, K.F. and Charalampopoulos, D. (2011). Recommendations for the viability assessment of probiotics as concentrated cultures and in food matrices. *International Journal of Food Microbiology* *149*, 185-193. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.07.005>
- Chen, S., Fan, L., Chen, X., Guo, Z., & Zhang, B. (2025). Microencapsulation of *Lonicera caerulea* pomace extract by spray drying: Characterization and stability studies. *LWT*, *223*, 117778.
- Cruzado, M., & Cedrón, J. C. (2012). Nutracéuticos, alimentos funcionales y su producción. *Revista de Química*, *26*(1-2), 33-36.
- Davis, T. M., Denoyes-Rothan, B., & Lerceteau-Köhler, E. (2007). Strawberry. In *Fruits and nuts* (pp. 189-205). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- de Barros Fernandes, R. V., Borges, S. V., & Botrel, D. A. (2014). Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydrate polymers*, *101*, 524-532.
- de Moura, S. C., Berling, C. L., Germer, S. P., Alvim, I. D., & Hubinger, M. D. (2018). Encapsulating anthocyanins from *Hibiscus sabdariffa* L. calyces by ionic gelation: Pigment stability during storage of microparticles. *Food Chemistry*, *241*, 317-327.
- Debelo, H., Fiecke, C., Terekhov, A., Reuhs, B., Hamaker, B., & Ferruzzi, M. G. (2023). Compositional analysis of phytochemicals and polysaccharides from Senegalese plant ingredients: *Adansonia digitata* (baobab), *Moringa oleifera* (moringa) and *Hibiscus sabdariffa* (hibiscus). *NFS Journal*, *32*, 100144.

- Dhakal, S. P., & He, J. (2020). Microencapsulation of vitamins in food applications to prevent losses in processing and storage: A review. *Food Research International*, 137, 109326.
- Díaz Muñoz, M. de los Á. (2021). Estudio comparativo de los métodos DPPH y ABTS para la determinación de la actividad antioxidante de la pulpa de maracuyá (*Passiflora edulis*) [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio Institucional Universidad de Guayaquil.
- Domínguez, R., Pateiro, M., Munekata, P. E., McClements, D. J., & Lorenzo, J. M. (2021). Encapsulation of bioactive phytochemicals in plant-based matrices and application as additives in meat and meat products. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26, 3984.
- Dongmo, F. F. D., Demasse, A. M., Etame, R. M. E., Asongni, W. D., Lienou, L. L., Tamgue, O., ... & Gouado, I. (2025). Enhancing Health through Phenolic Compounds: A Comprehensive Review of Spices and Herbs Consumed in Cameroon Based on Global Research. *Applied Food Research*, 100837.
- E. Sadilova, R. Carle, F.C. Stintzing, *Mol. Nutr. Food Res.* 51,
- Edo, G. I., Samuel, P. O., Jikah, A. N., Oloni, G. O., Ifejika, M. N., Oghenegueke, O., ... & Essaghah, A. E. A. (2023). Proximate composition and health benefit of Roselle leaf (*Hibiscus sabdariffa*). Insight on food and health benefits. *Food Chemistry Advances*, 3, 100437.
- Falco, A. S., Rodríguez-Sánchez, J. L., Palacio-Oliver, S. A., & Álvarez-Romero, L. (2024). Actividad antimicrobiana del extracto de *Hibiscus Sabdariffa* (L) sobre microorganismos contaminantes de alimentos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 34(2), 21-26.
- FAO/WHO (Food and Agricultural Organization of the United Nations and World Health Organization). Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food. Joint FAO/WHO Working Group Report on Drafting Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food. London Ontario (CA); 30 April and 1 May 2002.
- FAO/WHO. (2001). Health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. Food and Agricultural Organization of the United Nations and World Health Organization. Retrieved from http://www.who.int/foodsafety/publications/fs_management/en/probiotics.pdf. (Accessed 3 April 2020).
- Feng, K.; Huang, R.-M.; Wu, R.-Q.; Wei, Y.-S.; Zong, M.-H.; Linhardt, R.J.; Wu, H. Una nueva ruta para la encapsulación de probióticos en doble capa con mayor viabilidad en condiciones adversas. *Food Chem.* 2020, 310, 125977.
- Floegel, A., Kim, D. O., Chung, S. J., Koo, S. I., & Chun, O. K. (2011). Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(7), 1043–1048. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.01.008>

- Granato, D., Katayama, F. C. U., & de Castro, I. A. (2011). Phenolic composition of South American red wines classified according to their antioxidant activity, retail price and sensory quality. *Food Chemistry*, 129(2), 366-373
- Halliwell, B., y Gutteridge, J. M. (2015). *Radicales libres en biología y medicina*. Oxford University Press.
- Haminiuk, C. W., Maciel, G. M., Plata-Oviedo, M. S., & Peralta, R. M. (2012). Phenolic compounds in fruits—an overview. *International journal of food science and technology*, 47(10), 2023-2044.
- Health–Europe, T. L. R. (2025). From inertia to impact: delivering real solutions for non-communicable diseases. *The Lancet Regional Health-Europe*, 52, 101315.
- Hernández-López, Z., Rangel-Vargas, E., Castro-Rosas, J., Gómez-Aldapa, C. A., Cadena-Ramírez, A., Acevedo-Sandoval, O. A., ... & Falfán-Cortés, R.N. (2018). Optimization of a spray-drying process for the production of mixture of starch-pulque as wall material. *Lwt*, 95, 216-222.
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., ... & Sanders, M. E. (2014). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, 11(8), 506-514.
- Hoyos-Leyva, J. D., Bello-Pérez, L. A., Alvarez-Ramirez, J., & Garcia, H. S. (2018). Microencapsulation using starch as wall material: A review. *Food reviews international*, 34(2), 148-161.
- Huang, K., Yuan, Y., & Baojun, X. (2023). A critical review on the microencapsulation of bioactive compounds and their application. *Food Reviews International*, 39, 2594–2634. H
- Hussain, M., Aizpurua, O., de Rozas, A. P., París, N., Guivernau, M., Jofré, A., ... & Tarradas, J. (2024). Positive impact of early-probiotic administration on performance parameters, intestinal health and microbiota populations in broiler chickens. *Poultry Science*, 103(12), 104401.
- Hussain, S. A., Ahmad, S., Butt, Z. A., Rehman, K. U., Ullah, S., & Khan, S. S. (2021). 19. Flavonoids, alkaloids, and saponins as antimicrobial agents from *Fragaria vesca* L. *Pure and Applied Biology (PAB)*, 10(3), 761-769.
- ISAPP. International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics. (2018). ISAPP position statement on minimum criteria for harmonizing global regulatory approaches for probiotics in foods and supplements. Retrieved from <https://isappscience.org/minimum-criteria-probiotics/>. (Accessed 27 May 2020).
- Izquierdo-Vega, JA, Arteaga-Badillo, DA, Sánchez-Gutiérrez, M., Morales- González, JA, Vargas-Mendoza, N., Gómez-Aldapa, CA, ... & Madrigal-Santillán, E. (2020). Ácidos orgánicos de Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.): una breve revisión de sus efectos farmacológicos. *Biomedicinas*, 8 (5), 100.

- Jiménez-Villeda, B. E., Martínez-Ramírez, E. Z., Ramírez-Gerardo, M. G., & Gómez-Hernández, E. (2025). Microencapsulación de jugo de granada y extracto de jamaica: caracterización fisicoquímica, antioxidante y antimicrobiana. *CienciaUAT*.
- Juhari, N. H., Martens, H. J., & Petersen, M. A. (2021). Changes in physicochemical properties and volatile compounds of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) calyx during different drying methods. *Molecules*, 26(20), 6260.
- Kaderids, K., Mourtzinou, I., & Goula, A. M. (2020). Stability of pomegranate peel polyphenols encapsulated in orange juice industry by-product and their incorporation in cookies. *Food Chemistry*, 310, 125849.
- Kim, W., Wang, Y. y Selomulya, C. (2020). Proteínas lácteas y vegetales como emulsionantes alimentarios naturales. *Tendencias en Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 105, 261-272.
- Krishnaiah, D., Sarbatly, R., & Nithyanandam, R. (2012). Microencapsulation of *Morinda citrifolia* L. extract by spray-drying. *Chemical Engineering Research and Design*, 90(5), 622–632. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2011.09.003>
- Krishnan, S., Bhosale, R., & Singhal, R. S. (2005). Microencapsulation of cardamom oleoresin: Evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. *Carbohydrate polymers*, 61(1), 95-102.
- Liu, S., Ma, C., Zhang, Y., Wang, Y., Tian, J., Li, B., & Zhao, J. (2024). Different processing methods on anthocyanin composition and antioxidant capacity in blueberry juice: Based on metabolomics and DFT analysis. *EFood*, 5(1), e131.
- López-Valencia, D., Sánchez-Gómez, M., Acuña-Caita, J. F., & Fischer, G. (2018). Propiedades fisicoquímicas de siete variedades destacadas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivadas en Cundinamarca (Colombia), durante su maduración. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(1), 147-162.
- Mandaji, C. M., da Silva Pena, R., & Chisté, R. C. (2022). Encapsulation of bioactive compounds extracted from plants of genus *Hibiscus*: A review of selected techniques and applications. *Food Research International*, 151, 110820.
- Martín, M.J., Lara-Villoslada, F., Ruiz, M.A. and Morales, M.E. (2015). Microencapsulation of bacteria: A review of different technologies and their impact on the probiotic effects. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 27, 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.09.010>
- Martínez-Navarrete, N., Vidal, M. D. M. C., & Lahuerta, J. J. M. (2008). Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. *Actividad dietética*, 12(2), 64-68.
- Mbonambi, N. P., Seke, F., & Fawole, O. A. (2025). Comparative analysis of *Opuntia ficus-indica* mucilage and gum arabic as wall materials in anthocyanin-rich raspberry pomace microencapsulation for potential food packaging applications. *Applied Food Research*, 101029.

- Meena, K. K., Taneja, N. K., Ojha, A., & Meena, S. (2023). Application of spray-drying and freeze-drying for microencapsulation of lactic acid bacteria: A review. *Annals of Phytomedicine*, 12, 706–716.
- Mehta, N., Kumar, P., Verma, A. K., Umaraw, P., Kumar, Y., Malav, O. P., ... & Lorenzo, J. M. (2022). Microencapsulation as a noble technique for the application of bioactive compounds in the food industry: A comprehensive review. *Applied Sciences*, 12(3), 1424.
- Meiners, F., Kreikemeyer, B., Newels, P., Zude, I., Walter, M., Hartmann, A., ... & Barrantes, I. (2025). Strawberry dietary intervention influences diversity and increases abundances of SCFA-producing bacteria in healthy elderly people. *Microbiology Spectrum*, 13(2), e01913-24.
- Mishra, D. K., Jain, A. K., & Jain, P. K. (2013). A review on various techniques of microencapsulation. *Int J Pharm Chem Sci*, 2(2), 962-968.
- Misra, S., Pandey, P., & Mishra, H. N. (2021). Novel approaches for co-encapsulation of probiotic bacteria with bioactive compounds, their health benefits and functional food product development: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 109, 340-351.
- Mohd-Esa, N., Hern, F. S., Ismail, A., & Yee, C. L. (2010). Antioxidant activity in different parts of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extracts and potential exploitation of the seeds. *Food chemistry*, 122(4), 1055-1060.
- Moser, P., Telis, V. R. N., de Andrade Neves, N., García-Romero, E., Gómez-Alonso, S., & Hermosín-Gutiérrez, I. (2017). Storage stability of phenolic compounds in powdered BRS Violeta grape juice microencapsulated with protein and maltodextrin blends. *Food chemistry*, 214, 308-318.
- Newerli-Guz, J., Śmiechowska, M., Drzewiecka, A., & Tylingo, R. (2023). Bioactive ingredients with health-promoting properties of strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duchesne). *Molecules*, 28(6), 2711.
- Nguyen, QD, Dang, TT, Nguyen, TVL, Nguyen, TTD y Nguyen, NN (2022). Microencapsulación de antocianinas de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.): efectos de las condiciones de secado en algunas propiedades fisicoquímicas y la actividad antioxidante del polvo secado por aspersion. *Ciencia de los alimentos y nutrición*, 10 (1), 191-203.
- Nordin, N. L., Bakar, J., Adzahan, N. M., Razis, A. F. A., Ismail, N., & Sulaiman, R. (2024). Microencapsulation of bioactive volatile compounds from MD2 pineapple peel Extract using spray-drying and foam-mat drying. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101539.
- Pasin, B. L., Azón, C. G., & Garriga, A. M. (2012). Microencapsulación con alginato en alimentos. Técnicas y aplicaciones. *Revista venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(1), 130-151.

- Pazarán Gutiérrez, G. J. (2025). *Microencapsulación de fitoquímicos obtenidos de extractos de jamaica (Hibiscus sabdariffa L.) y fresa (Fragaria vesca), con la adición de probióticos, usando la técnica de secado por aspersión* (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo).
- Pérez-Leonard, H., Bueno-García, G., Brizuela-Herrada, M. A., Tortoló-Cabañas, K., & Gastón-Peña, C. (2013). Microencapsulación: una vía de protección para microorganismos probióticos. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 47(1), 14-25.
- Piovesana, A., & Noreña, C. P. Z. (2018). Microencapsulation of bioactive compounds from hibiscus calyces using different encapsulating materials. *International Journal of Food Engineering*, 14(1), 20170170.
- Ramirez-Rodrigues, M. M., Plaza, M. L., Azeredo, A., Balaban, M. O., & Marshall, M. R. (2011). Physicochemical and phytochemical properties of cold and hot water extraction from Hibiscus sabdariffa. *Journal of food science*, 76(3), C428-C435.
- Reque, P. M., & Brandelli, A. (2021). Encapsulation of probiotics and nutraceuticals: Applications in functional food industry. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 1-10.
- Rezagholidade-Shirvan, A., Soltani, M., Shokri, S., Radfar, R., Arab, M., & Shamloo, E. (2024). Bioactive compound encapsulation: Characteristics, applications in food systems, and implications for human health. *Food chemistry: X*, 101953.
- Rios-Aguirre, S., & Gil-Garzón, M. A. (2021). Microencapsulación por secado por aspersión de compuestos bioactivos en diversas matrices: una revisión. *Tecnológicas*, 24(51), 206-229.
- RODRÍGUEZ-FIGUERA, F., MUJICA-BLANCO, C., José, I., & ROMERO-MARCANO, G. (2021). Crecimiento y calidad morfológica de plantas de flor de Jamaica (Hibiscus sabdariffa) utilizadas en la biorremediación de un suelo de sabana contaminado con hidrocarburos. *Revista Científica UDOAgrícola Volumen*, 15, 1.
- ROJAS MORENO, S. A. N. D. R. A. (2018). Efecto del agente reticulante en la eficiencia de encapsulación de agentes bioactivos lipofílicos por la técnica combinada coacervación compleja-secado por aspersión.
- Roselló-Soto, E., Martí-Quijal, F. J., Cilla, A., Munekata, P. E., Lorenzo, J. M., Remize, F., & Barba, F. J. (2019). Influence of temperature, solvent and pH on the selective extraction of phenolic compounds from tiger nuts by-products: Triple-TOF-LC-MS-MS characterization. *Molecules*, 24(4), 797.
- Sauri-Duch, E., González-Aguilar, G. A., Zarza-García, A. L., Vargas, M. D. L. V. Y., Toledo-López, V. M., Moo-Puc, R. E., ... & Moo-Huchin, V. M. (2025). Phenolic compounds, cytotoxic activity and classification of tropical fruits from Southeast

- Mexico. In *Improving Health and Nutrition through Bioactive Compounds* (pp. 191-199). Woodhead Publishing.
- Semyonov, D., Ramon, O., Kovacs, A., Friedlander, L., & Shimoni, E. (2012). Air-suspension fluidized-bed microencapsulation of probiotics. *Drying Technology*, 30(16), 1918-1930.
- Shamaei, S., Seiielou, S. S., Aghbashlo, M., Tsotsas, E., & Kharaghani, A. (2017). Microencapsulation of walnut oil by spray drying: Effects of wall material and drying conditions on physicochemical properties of microcapsules. *Innovative food science & emerging technologies*, 39, 101-112.
- Sharayei, P., Azarpazhooh, E., & Ramaswamy, H. S. (2020). Effect of microencapsulation on antioxidant and antifungal properties of aqueous extract of pomegranate peel. *Journal of food science and technology*, 57(2), 723-733.
- Sierra, P. M. L., Velázquez, T. G., Revilla, G. O., & Meza-Márquez, O. G. (2019). Composición química y capacidad antioxidante en cultivares de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) mediante espectroscopia FT-MIR y quimiometría. *CyTA: Journal of food*, 17(1), 724-732.
- Song, D., Ibrahim, S., & Hayek, S. (2012). Probiotics in Food and Agricultural Science. *Probiotics*, 1.
- Soto, J. G. M., Laredo, R. F. G., Torres, L. M., Quiñones, O. M. R., Infante, J. A. G., & Ochoa-Martínez, L. A. (2023). Recent developments on wall materials for the microencapsulation of probiotics: A review: Desarrollos recientes en materiales de pared para la microencapsulación de probióticos: Una revisión. *Tecnociencia Chihuahua*, 17(1), e1140-e1140.
- Tangarife, D. P. C., Arias, L. P. P., & Zapata, A. M. O. (2021). Aspectos tecnológicos de la microencapsulación de compuestos bioactivos en alimentos mediante secado por aspersión. *Ciencia y tecnología agropecuaria*, 22(1), 1-21.
- Tatasciore, S., Santarelli, V., Neri, L., Di Mattia, C. D., Di Michele, A., Mastrocola, D., & Pittia, P. (2024). Microencapsulation of hop bioactive compounds by spray drying: Role of inlet temperature and wall material. *Current Research in Food Science*, 8, 100769.
- Tellini, C., de Moraes Pinto, L. A., de Souza Evangelista, F., Pallaoro, I. P., Onishi, B. T., Lara, B. R., ... & Fernandes, J. I. M. (2024). Effect of a microencapsulated blend of organic acids and bioactive compounds on the quality and visual appraisal of broiler meat. *Poultry Science*, 103(12), 104234.
- Tomás Barberán, F. (2003). Los polifenoles de los alimentos y la salud. Vol. 10:2, pp. 41-53, 2003.
- Vanegas-Espinoza, P. E., Pérez-Escalante, V., Aguirre-Guzman, G., Hoyos-Leyva, J. D., & Del Villar-Martínez, A. A. (2019). Microencapsulation of anthocyanins from roselle (*Hibiscus sabdariffa*) and its application on a pigment supplied diet to fantail goldfish (*Carassius auratus*). *Aquaculture International*, 27, 1801-1811.

- Vasavi, C. L., Jyothi, A. S., Sravani, P., Chand, T. P., Adil, S., Raja, R. R., & Baba, K. H. (2019). Hibiscus cannabinus and Hibiscus sabdariffa phyto pharmacognostical review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(1), 313-318.
- Vieira, T. R. R., Lima, A. B., Ribeiro, C. M. C. M., de Medeiros, P. V. Q., Converti, A., dos Santos Lima, M., & Maciel, M. I. S. (2024). Red pitaya (Hylocereus polyrhizus) as a source of betalains and phenolic compounds: Ultrasound extraction, microencapsulation, and evaluation of stability. *Lwt*, 196, 115755.
- Villalobos-Vega, M. J., Rodríguez-Rodríguez, G., Armijo-Montes, O., Jiménez-Bonilla, P., & Álvarez-Valverde, V. (2023). Optimization of the extraction of antioxidant compounds from roselle hibiscus calyxes (Hibiscus sabdariffa), as a source of nutraceutical beverages. *Molecules*, 28(6), 2628.
- Wang, H., Cao, G., & Prior, R. L. (1996). Total antioxidant capacity of fruits. *Journal of agricultural and food chemistry*, 44(3), 701-705.
- Yao, M., Xie, J., Du, H., McClements, D. J., Xiao, H., & Li, L. (2020). Progress in microencapsulation of probiotics: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(2), 857-874.
- Zhang, S., Chen, J., Yin, X., Wang, X., Qiu, B., Zhu, L., & Lin, Q. (2017). Microencapsulation of Tea Tree Oil by spray-drying with methyl cellulose as the emulsifier and wall material together with chitosan/alginate. *Journal of applied polymer science*, 134(13).
- Zulkurnain, E. I., Ramli, S., Ali, A. A., James, R. J., Kamarazaman, I. S., & Halim, H. (2023). The Phytochemical and Pharmacological Effects of Hibiscus rosasinensis: A Review. *International Journal of Pharmaceutical Investigation*, 13(3).