



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
LICENCIATURA EN QUÍMICA DE ALIMENTOS

TESIS

**MICROENCAPSULACIÓN DE MEZCLAS DE EXTRACTO DE JAMAICA
(*HIBISCUS SABDARIFFA*) CON BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS ,
UTILIZANDO LA TÉCNICA DE SECADO POR ASPERSIÓN**

Para obtener el título de
Licenciado en Química de Alimentos

PRESENTA:

Lic. Fernando Lozano López

Directora

Dra. Reyna Nallely Falfán Cortés

Codirector

M. C. Netzahualcóyol Calcáneo Martínez

Mineral de la Reforma Hidalgo, a 30 de enero del 2025



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
 Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
 School of Engineering and Basic Sciences

Mineral de la Reforma, Hgo., a 3 de abril de 2025

Número de control: ICBI-D/560/2025
 Asunto: Autorización de impresión.

**MTRA. OJUKY DEL ROCÍO ISLAS MALDONADO
 DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR DE LA UAEH**

Con fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; Título Quinto, Capítulo II, Capítulo V, Artículo 51 Fracción IX del Estatuto General de nuestra Institución, por este medio le comunico que el Jurado asignado al Egresado de la Licenciatura en Química de Alimentos **Fernando Lozano López**, quien presenta el trabajo de titulación **“Microencapsulación de mezclas de extracto de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) con bacterias ácido lácticas, utilizando la técnica de secado por aspersión”**, después de revisar el trabajo en reunión de Sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Javier Castro Rosas

Secretario: Dr. Carlos Alberto Gómez Aldapa

Vocal: Dra. Reyna Nallely Falfán Cortés

Suplente: M. en C. Netzahualcóyol Calcáneo Martínez

Sin otro particular por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
 “Amor, Orden y Progreso”

Mtro. Gabriel Vergara Rodríguez
 Director del ICBI



GVR/YCC

Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184
 Teléfono: 771 71 720 00 Ext. 40001
 direccion_icbi@uaeh.edu.mx, vergara@uaeh.edu.mx

“Amor, Orden y Progreso”



2025



uaeh.edu.mx

OFICIO DE IMPRESIÓN DE TESIS



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

School of Engineering and Basic Sciences

Área Académica de Química

Department of Chemistry

Mineral de la Reforma, Hgo., a 14 de mayo de 2025

Número de control: ICBI-AAQ/862/2025

Asunto: Incorporación al repositorio de tesis.

MTRO. JORGE E. PEÑA ZEPEDA
DIRECTOR DE BIBLIOTECAS Y CENTROS DE INFORMACIÓN DE LA UAEH

Por medio del presente hago constar que la tesis en formato digital titulado “**Microencapsulación de mezclas de extracto de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) con bacterias ácido lácticas, utilizando la técnica de secado por aspersión**” que presenta **Fernando Lozano López** con número de cuenta **324733** cumple con el oficio de autorización de impresión y que se ha verificado es la versión digital del ejemplar impreso, por lo que solicito su integración en el repositorio institucional de tesis.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO


Dra. Araceli Castañeda Ovando
Coordinadora de la Licenciatura en Química
de Alimentos




Fernando Lozano López
Autor de tesis

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería
Área Académica de Química

ACO/SEPC

Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5 Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184
Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 40088, 40087

aaq_icbi@uaeh.edu.mx, nandrade@uaeh.edu.mx



uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

"Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, especialmente a mis padres, por su apoyo constante y amor incondicional. A mi directora de tesis, por su invaluable guía y sabios consejos a lo largo de este proceso. También agradezco a mis amigos y compañeros de laboratorio por su compañía y esfuerzo compartido."

DEDICATORIAS

"A la ciencia, que nos reta a cuestionar lo establecido, explorar lo desconocido y transformar el mundo con conocimiento."

ÍNDICE GENERAL

II. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 Enfermedades no transmisibles (ENT).....	12
2.1.1 Factores de riesgo de las ENT.....	12
2.1.2. ENT a nivel mundial y en México.....	13
2.1.3. Tratamientos farmacológicos y costos al sector salud a nivel nacional.....	14
2.1.4. Tratamientos alternos con plantas para el tratamiento de ENT.....	15
2.2.4. Composición de los bioactivos de <i>Hibiscus sabdariffa</i>	18
2.3.1 Efectos benéficos de <i>H. Sabdariffa</i> en la salud.....	21
2.4 Probióticos.....	22
2.4.1 Beneficios de los probióticos a la salud.....	22
2.5 Microencapsulación.....	24
2.5.1 Secado por aspersión.....	24
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	28
IV. HIPÓTESIS.....	29
V. OBJETIVOS.....	30
5.1 Objetivo general.....	30
5.2 Objetivos específicos.....	30
VI.METODOLOGIA.....	31
6.1 Materia prima y cepas.....	31
6.2 Obtención de extractos.....	31
6.3 Caracterización de los extractos de <i>H. sabdariffa</i>	31
6.3.1 Cuantificación de fenoles totales.....	31
6.3.2 Flavonoides totales.....	32
6.3.3 Antocianinas.....	32
6.3.4 Capacidad antioxidante método ABTS.....	33
6.3.5 Capacidad Antioxidante método DPPH.....	33
6.4 Evaluación del efecto de los diferentes extractos obtenidos de <i>H. sabdariffa</i> sobre la viabilidad de bacterias ácido lácticas.....	33
6.5 Obtención de extracto metanólico de <i>H. sabdariffa</i>	34
6.5.1 Evaluación de la resistencia de las bacterias ácido lácticas a diferentes concentraciones (5 y 10% p/v) de extracto metanólico de <i>H. sabdariffa</i>	34
6.5.2 Evaluación de la resistencia de las bacterias ácido lácticas a diferentes pH del extracto metanólico de <i>Hibiscus sabdariffa</i>	34
6.5.3 Caracterización del extracto metanólico al 5% pH 4 y 6 de <i>H. sabdariffa</i>	35
6.7 Proceso de microencapsulación.....	35
6.7.1 Caracterización de los microencapsulados.....	36
6.7.1.1 Sobrevivencia después del secado por aspersión.....	36

6.7.1.2 Morfología de las microcápsulas con bacterias ácido lácticas	37
6.7.1.3 Humedad y actividad de agua	37
6.7.1.5 Fenoles superficiales	37
6.7.1.6 Eficiencia de microencapsulación	38
6.7.1.7 Capacidad antioxidante método ABTS	38
6.7.1.8 Capacidad antioxidante método DPPH.....	38
6.8 Optimización.....	38
VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES	40
6.1 Caracterización de extractos de <i>H. sabdariffa</i>	40
6.1.1 Fenoles totales	40
6.1.2 Flavonoides totales.....	41
6.1.3 Antocianinas.....	42
6.1.4 Capacidad antioxidante método ABTS	43
6.1.5 Capacidad Antioxidante método DPPH	45
6.2 Formulación de bacterias ácido lácticas con extracto de <i>H. sabdariffa</i>	45
6.2.1 Evaluación del efecto de diferentes extractos de <i>H. sabdariffa</i> , sobre la viabilidad de bacterias ácido lácticas.....	45
6.2.2 Evaluación de la viabilidad de las bacterias ácido lácticas a diferentes concentraciones (5 y 10 % p/v) de extracto metanólico de <i>H. sabdariffa</i> durante agitación (1 h)	46
6.2.3 Evaluación de la viabilidad de las bacterias ácido lácticas a diferentes pH del extracto metanólico 5% de <i>H. sabdariffa</i>	47
6.2.4 Actividad antioxidante por el método ABTS y DPPH de extracto metanólico 5% de <i>H. sabdariffa</i> a diferente pH.....	48
6.2.5 Estudio preliminar para la microencapsulación de L25 con extracto metanólico 5% (p/v) y pH 4 de <i>H. sabdariffa</i>	49
6.2.6 Morfología de las microcápsulas con bacterias ácido lácticas (estudio preliminar).....	49
6.3 Proceso de microencapsulación	50
6.3.1 Análisis estadístico del diseño central compuesto	50
6.3.2 Efecto del pH y contenido de sólidos sobre la viabilidad (%) de la bacteria <i>Enterococcus lactis</i> (L-25)	50
6.3.3 Efecto del pH y contenido de sólidos sobre la eficiencia de encapsulación (EE%).....	53
6.3.4 Efecto del pH y contenido de sólidos sobre el rendimiento (%).....	55
6.3.5 Efecto del pH y contenido de sólidos sobre capacidad antioxidante con el método ABTS	57
6.3.6 Efecto del pH y contenido de sólidos sobre capacidad antioxidante con el método DPPH	59
6.3.7 Efecto del pH y contenido de sólidos sobre la actividad de agua (a_w).....	61

6.3.7 Efecto del pH y contenido de sólidos sobre la humedad (%)	63
6.4 Optimización del proceso de microencapsulación en software y validación experimental.....	65
6.4.1 Morfología de microcápsulas obtenidas bajo el proceso optimizado.....	67
IX. REFERENCIAS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de riesgo de las ENT	12
Tabla 2. Medicamentos más utilizados en farmacias UNEMES-EC por tipo de servicio (sugerencia)	14
Tabla 3. Clasificación taxonómica de la jamaica (<i>Hibiscus Sabdariffa</i> L.).....	17
Tabla 4. Constituyentes fitoquímicos de <i>Hibiscus Sabdariffa</i>	18
Tabla 5 Beneficios de extractos de <i>Hibiscus Sadariffa</i>	21
Tabla 6. Beneficios de probióticos en la salud humana.....	23
Tabla 7 Bacterias ácido lácticas (BAL) con potencial probiótico,utilizadas en la investigación	31
Tabla 8. Diseño experimental central compuesto rotatable con dos variables independientes	36
Tabla 9. Fenoles totales por extracto de <i>Hibiscus sabdariffa</i>	41
Tabla 10. Flavonoides totales por extracto de <i>Hibiscus sabdariffa</i>	41
Tabla 11. Antocianinas por extracto de <i>Hibiscus sabdariffa</i>	43
Tabla 12. Capacidad antioxidante, método ABTS por extracto de <i>Hibiscus sabdariffa</i>	44
Tabla 13. Capacidad antioxidante, método DPPH por extracto de <i>Hibiscus sabdariffa</i>	45
Tabla 14. Viabilidad de las bacterias ácido lácticas a diferentes concentraciones (5 y 10 % p/v) de extracto metanólico de <i>Hibiscus sabdariffa</i>	47
Tabla 15. Viabilidad de las bacterias ácido lácticas a diferentes pH del extracto metanólico 5% de <i>Hibiscus sabdariffa</i>	47
Tabla 16 Actividad antioxidante de método ABTS y DPPH de extracto metanólico al 5% ajustado a pH 4 y 6.	48
Tabla 17 Viabilidad de bacteria ácido lácticas (L-25) encapsuladas en solución <i>Hibiscus sabdariffa</i> 5% y pH 4.....	49
Tabla 18 Los coeficientes estimados del modelo ajustado y nivel de significancia para las variables respuestas.	50
Tabla 19 Valores obtenidos para la optimización del proceso de encapsulación de extracto metanólico de <i>Hibiscus sabdariffa</i> con bacteria ácido láctica (L-25).....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principales grupos de fenólicos de alimentos.	16
Figura 2 . Planta de <i>Hibiscus sabdariffa</i>	17
Figura 3. Quercetina y Eugenol.....	19
Figura. 4 Cianidina-3-sambubiósido (C3S) y Delfinidina-3-sambubiósido (D3S).....	20
Figura 5 Estructura química de los principales ácidos orgánicos de HS. (A) Ácido cítrico (B) Ácido hidroxícitrico (C) Ácido hibiscus y Ácido tartárico.....	20
Figura 6. Diagrama básico de un secador por aspersión.....	26
Figura 7 Evaluación de la actividad de extractos (acuoso ,metanólico, etanólico y acetónico) sobre la viabilidad de bacterias ácido lácticas (<i>Lactocaseibacillus paracasei</i> (L-20) y <i>Enterococcus lactis</i> (L-17,L-19,L-25)).....	46
Figura 8. Microencapsulados con 30 % N-lok y 5% de extracto metanólico a un pH de 4.49	
Figura 9. Efecto del pH del extracto de jamaica y contenido de sólidos del material pared sobre la viabilidad (%) de la bacteria <i>Enterococcus lactis</i> (L-25), después del proceso de encapsulación por secado por aspersión.	53
Figura 10. Efecto del pH del extracto de jamaica y contenido de sólidos del material pared, sobre la eficiencia de encapsulación (EE%), después del proceso de encapsulación por secado por aspersión.	55
Figura 11. Efecto del pH del extracto de jamaica y contenido de sólidos del material pared, sobre el rendimiento (%), después del proceso de encapsulación por secado por aspersión.....	57
Figura 12 Efecto del pH del extracto de jamaica y contenido de sólidos del material pared, sobre la capacidad antioxidante (porcentaje de inhibición del radical ABTS).	59
Figura 13 Efecto del pH del extracto de jamaica y contenido de sólidos del material pared, sobre la capacidad antioxidante (porcentaje de inhibición del radical DPPH).	61
Figura 14 Efecto del pH del extracto de jamaica y contenido de sólidos del material pared, sobre la actividad de agua (aw) en encapsulados.....	63
Figura 15 Efecto del pH del extracto de jamaica y contenido de sólidos del material pared, sobre la humedad (%) en encapsulados.	65
Figura 16 Optimización grafica de la microencapsulaciónde extracto metanólico de <i>Hibiscus sabdariffa</i> con <i>Enterococcus lactis</i> (L-25).	67
Figura 17. Morfología de microcápsulas con extracto metanólico de <i>Hibiscus sabdariffa</i> y <i>Enterococcus lactis</i> (L-25).....	68

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), las Enfermedades No Transmisibles (ENT) son llamadas así debido a que no se resuelven espontáneamente, como resultado de ello, hay un desequilibrio que afecta a los órganos y tejidos, sin que aún, se tenga cura para detenerlas, ya que solo se puede controlar. Una alimentación adecuada permite contrarrestar diferentes padecimientos, tal es el caso de alimentos con alto contenido de compuestos bioactivos y de especies probióticas en cantidades adecuadas, ya que brindan beneficios al huésped. La OMS señala que los probióticos, incluidas las Bacteria ácido lácticas, son seguras para el consumo humano y deben cumplir estándares específicos de eficacia y pureza (OMS/FAO, 2001). Las bacterias ácido lácticas (BAL) son un grupo de microorganismos que producen ácido láctico como principal subproducto de la fermentación de carbohidratos u capacidad para fermentar azúcares y generar ácido láctico les permite desempeñar un papel esencial en la conservación de alimentos y en la promoción de la salud (Wood & Holzapfel, 1995). Por otro lado los cálices deshidratados de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) son reconocidos comercialmente porque a partir de estos pueden obtenerse extractos concentrados con aplicación en la industria alimenticia y farmacéutica. Los cálices de jamaica contienen diversos compuestos, entre ellos alcaloides, ácidos orgánicos, ácido ascórbico, anisaldehído, antocianinas, β -caroteno, β -sitosterol, ácido cítrico, ácido málico, galactosa, mucopolisacáridos, ácido protocatecuico, polisacáridos, quercetina, ácido esteárico. Sin embargo, los compuestos bioactivos, tanto fitoquímicos como bacterias, si son sometidos a diversas condiciones pueden afectar sus propiedades benéficas, ya que son sensibles a cambios físicos y químicos, como el pH, temperatura, radiación etc. Lo que repercute en sus propiedades funcionales, por tal razón se ha recurrido a la microencapsulación, la cual es definida como una técnica que permite la protección de las materias encapsuladas, manteniendo la estabilidad y viabilidad del producto. Por lo anterior, en esta investigación se microencapsularon mezcla de Bacterias Ácido Lácticas (BAL) con extracto de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) con el objetivo de obtener polvos con características funcionales con potencial probiótico y propiedades antioxidantes.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Enfermedades no transmisibles (ENT)

Las enfermedades no transmisibles (ENT) actualmente constituyen uno de los mayores retos que enfrentan los sistemas de salud a nivel mundial, debido a diversas razones como: el gran número de pacientes afectados (tasas de incidencia cada vez más crecientes), su gradual contribución a la mortalidad general, ya que representan la causa más frecuente de discapacidad, debido al costo elevado de la hospitalización, así como del tratamiento médico y de su posterior rehabilitación (Rodríguez *et al.*, 2018). Existen varias definiciones de ENT, se les ha denominado así por prolongarse a través del tiempo, no tener cura, no conocerse un agente causante que las transmita de un individuo afectado a otro o, por ser enfermedades que no se curan espontáneamente, implicando cambios mayores en amplios aspectos de la vida de una persona, alterando las rutinas y actividades cotidianas, Entre las ENT se encuentran las cardiovasculares, cerebrovasculares, cáncer, diabetes y otros trastornos metabólicos, enfermedades respiratorias y pulmonares, trastornos osteomioarticulares, enfermedades renales. Todas estas antes mencionadas, son las de mayor incidencia y prevalencia (Abalo, 2016).

2.1.1 Factores de riesgo de las ENT

Existen algunos factores de riesgo determinantes del aumento de la prevalencia de las ENT (**Tabla 1**), tales como el estilo de vida, la alimentación inadecuada, actividad física escasa, ciclos alterados de sueño, consumo excesivo de sustancias y/o hábitos tóxicos, alto nivel de estrés, sexualidad desprotegida, sobrepeso y obesidad, cabe destacar que parte de los malos hábitos son fomentados por el mercado y las publicidades que difunden el consumo de productos nocivos para la salud, tales como cigarrillos, comestibles ricos en grasa y sodio, etc. (Beratarrechea, 2010; Abalo, 2016).

Tabla 1. Factores de riesgo de las ENT

Factores de riesgo biológicos modificables	Sobrepeso y obesidad, la transición demográfica, la urbanización y la globalización
Factores de riesgo biológicos: No modificables	Edad; sexo; factores genéticos; la pertenencia a una raza determinada

Factores determinantes ambientales y sociales	Las condiciones sociales (inseguridad), económicas, políticas, como el ingreso, condiciones de vida y de trabajo, infraestructura física, ambiente, educación y el acceso a los servicios de salud
Factores de riesgo conductuales	Consumo de tabaco, regímenes alimentarios no nutritivos; inactividad física; consumo de alcohol, depresión y estrés

Fuente. (Villalobos *et al.*, 2023)

2.1.2. ENT a nivel mundial y en México

Las enfermedades no transmisibles (ENT) representan uno de los mayores desafíos del siglo XXI para la salud y el desarrollo, siendo la principal causa de muerte en todo el mundo, además de constituir la principal causa de discapacidad (Corral *et al.*, 2018). Las ENT causan el deceso de 41 millones de personas cada año, lo equivalente al 74% de todas las muertes en el mundo. Las enfermedades cardiovasculares representan la mayoría de las muertes por ENT (17,9 millones de personas cada año), seguidas del cáncer (9,3 millones), enfermedades respiratorias crónicas (4,1 millones) y diabetes (2,0 millones, incluidos los fallecimientos por nefropatía diabética). Estos cuatro grupos de enfermedades representan más del 80% de todas las muertes prematuras por ENT. La detección y tratamiento de las ENT, así como los cuidados paliativos, son componentes clave en respuesta a las ENT (WHO, 2023). En México la caracterización del comportamiento de las ENT es una tarea primordial de la Secretaría de Salud, la cual se realiza a través del Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica (SINAVE). Este organismo público reportó en su informe del 2021, que las mayores tasas de incidencia fueron úlceras, gastritis y duodenitis, con una incidencia de 349.2 casos por cada 100 mil habitantes. En segundo lugar, se ubicó la hipertensión arterial con 256.5 casos por cada 100 mil hab., seguida por diabetes mellitus tipo 2, con una tasa de 186.7 casos por cada 100 mil hab., y, por último, obesidad, con una tasa de 182.7 casos por cada 100 mil hab. Entre los padecimientos con menor número de casos notificados se encontraron el bocio endémico (318 casos), Alzheimer (913 casos) e intoxicación por plaguicidas (986 casos), lo que representan una incidencia de 0.2, 1.1 y 0.8 casos por cada 100 mil habitantes, respectivamente (Secretaría de Salud, 2022).

2.1.3. Tratamientos farmacológicos y costos al sector salud a nivel nacional

El sistema de salud en México se compone de un sector público y un sector privado, en el que, el sector público es financiado por los trabajadores, los empleadores y el Estado; mientras que el privado ofrece los servicios a la población con capacidad de pago. En el sector público, existen diferentes instituciones que proveen atención médica: Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE), Instituto de Seguridad Social para las Fuerzas Armadas (ISSFAM), Petróleos Mexicanos (PEMEX), Secretaría de Salud a través del Seguro Popular y las entidades proveedoras de salud en las entidades federativas. En 2016, IMSS e ISSSTE gastaron en conjunto alrededor de 95 mdp de su presupuesto, en atender diabetes, hipertensión, insuficiencia renal y cáncer, lo anterior equivale al 31.4% del presupuesto total destinado a estas instituciones (Dantes et al., 2011; Macías & Villarreal, 2018). Las UNEMES-EC (Unidad de Especialidades Médicas de Enfermedades Crónicas) proporcionan servicios de salud para la promoción de la salud y prevención y control de ciertas enfermedades crónicas como la diabetes, sobrepeso/obesidad, hipertensión arterial y riesgo cardiovascular. En la **Tabla 2** se muestran algunos de los medicamentos usados para el tratamiento de las enfermedades crónicas (Contreras-Loya et al., 2013).

Tabla 2. Medicamentos más utilizados en farmacias UNEMES-EC en función de los padecimientos.

Padecimiento	Medicamentos
Diabetes mellitus	Metformina
Hipertensión arterial	Ácido acetilsalicílico bezafibrato hidroclotiazida
Dislipidemias	Bezafibrato
Obesidad	Metformina y bezafibrato

Fuente: (Contreras-Loya *et al.*, 2013).

2.1.4. Tratamientos alternos con plantas para el tratamiento de ENT

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha promovido y reconocido la importancia del uso de plantas medicinales en el cuidado de la salud (WHO, 2002), la cual define medicina tradicional como "prácticas, enfoques, conocimientos y creencias sanitarias basadas en plantas, animales y/o minerales, terapias físicas, mentales y espirituales, aplicadas de forma individual o colectiva para mantener el bienestar" (Véliz, 2019). Las propiedades farmacológicas de especies vegetales se deben en parte a la presencia de fitoquímicos, estos, son compuestos con características químicas y funcionales muy diversas, que derivan del metabolismo secundario de plantas. Estudios han demostrado que un gran número de fitoquímicos podrían ser útiles para prevenir o tratar numerosas enfermedades no transmisibles (Lujan *et al.*, 2010)

Se considera componente bioactivo de un alimento, aquel que aporta un beneficio a la salud más allá de los considerados como nutrición básica. Estos componentes se encuentran en general en pequeñas cantidades en productos de origen vegetal y en alimentos ricos en lípidos. Dentro del término global de actividad biológica se deben diferenciar tres aspectos importantes: las funciones (papel esencial), las acciones (respuestas, beneficiosas o adversas, fisiológicas o farmacológicas) y las asociaciones (correlaciones de los componentes de los alimentos con algún aspecto o finalidad fisiológica o clínica que puede o no mostrar una relación causal) (Olmedilla & Granado, 2008; Chalé *et al.*, 2014). Diversos estudios llevados a cabo en los últimos años, han puesto de manifiesto el poder antioxidante de algunos compuestos fenólicos presentes en las plantas y particularmente, los que abundan en las especies comestibles (Carciochi & Manrique, 2014). Estos efectos beneficiosos se han relacionado con la existencia de determinados metabolitos característicos de los vegetales, que desde un punto de vista bioquímico son conocidos como metabolitos secundarios vegetales, pero, también se les conoce como sustancias fitoquímicas o fitonutrientes (Tomás, 2003). Esta propiedad antioxidante se asocia con su capacidad para capturar radicales libres, los cuales inducen un efecto positivo y benéfico en la salud (Ko *et al.*, 2008). Las plantas son una fuente inmensa de fitocompuestos con gran complejidad estructural, multiplicidad de mecanismos de acción y de actividades sobre los seres vivos. Entre estas se encuentran la prevención de enfermedades que actualmente, afectan gran parte de la población humana. En el reino vegetal podemos distinguir cuatro grandes grupos de compuestos fitoquímicos (**Figura**

1): sustancias fenólicas, sustancias terpénicas, sustancias azufradas y sustancias nitrogenadas (alcaloides) (Gaviria *et al.*, 2015).

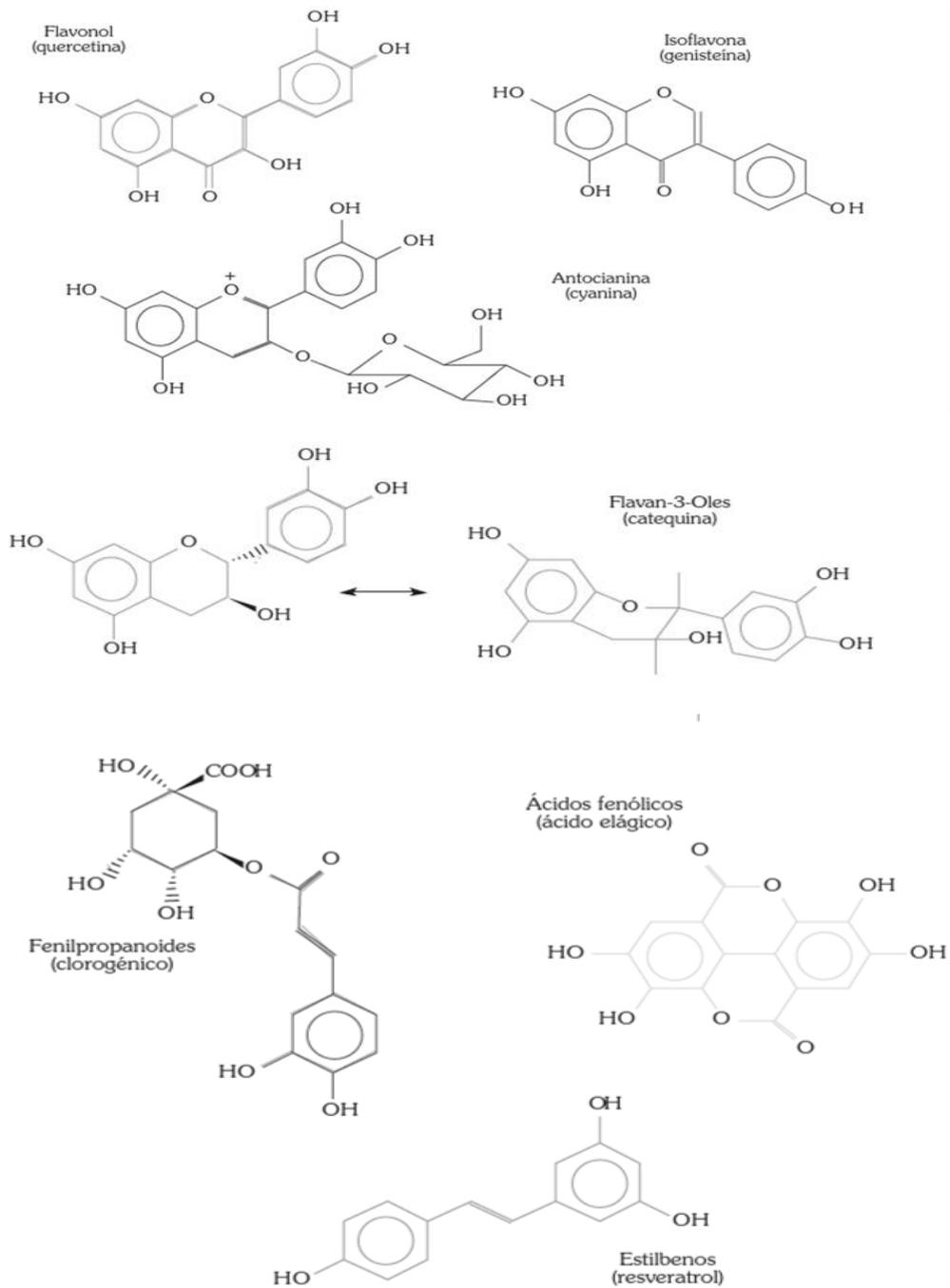


Figura 1. Principales grupos fenólicos de alimentos. Fuente: (Ojulari *et al.*, 2019)

2.3 *Hibiscus sabdariffa*

La jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) es originaria de la región Tropical de África, desde Egipto y Sudán hasta Senegal, incluye a Malawi, Mozambique, Zambia, Zimbabwe. Por sus propiedades medicinales, nutraceuticas y rusticidad de la planta se ha distribuido a otras regiones tropicales del mundo, como son: México, América Central, América del Sur y el Sureste Asiático; en estos lugares ha alcanzado gran importancia económica. Desde el punto de vista morfológico, la jamaica es una planta arbustiva semileñosa (**Figura 2**) anual o bianual que pertenece a la familia *Malvaceae* (**Tabla 3**) y alcanza entre uno y tres metros de altura. Sus tallos son abundantes, muy ramificados y de corteza roja, con hojas alternas de bordes irregularmente aserrados (Cid-Ortega & Guerrero-Beltrán, 2012; Ariza *et al.*, 2017)



Figura 2 .Planta de *Hibiscus sabdariffa*. Fuente: (Murrieta *et al.*, 2014).

Tabla 3. Clasificación taxonómica de la jamaica (*Hibiscus Sabdariffa*)

Reino	<i>Plantae</i>
Sub-reino	<i>Tracheobionta</i>
División	<i>Anthophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Malvaceae</i>
Género	<i>Hibiscus</i>
Especie	<i>Sabdariffa L</i>

Fuente: (Cid-Ortega & Guerrero-Beltrán, 2012).

En México la producción de flor de jamaica se centra principalmente en nueve estados, el estado de Guerrero, junto con el estado de Oaxaca, son los principales productores, con el primer y segundo lugar respectivamente. Con lo que respecta al mercado mexicano en función de las características o criterios para su consumo, se consideran la acidez del extracto y el número de extracciones que puedan realizarse a partir de los cálices. Cabe destacar que la jamaica que se produce en el estado de Guerrero, tiene un alto contenido de ácidos, lo que resulta atractivo para usos medicinales. La jamaica y los extractos derivados de ésta, se han propuesto como ingredientes para el desarrollo de alimentos funcionales, siendo los cálices (flor) la parte que más se aprovecha de la planta, en México, es consumida tradicionalmente como extracto acuoso para preparar bebidas refrescantes, así como mermeladas, jaleas, licores, harinas para galletas, etc (Shahidi, 2004).

2.2.4. Composición de los bioactivos de *Hibiscus sabdariffa*

Los cálices de *H. sabdariffa* contienen varios compuestos responsables de la actividad farmacológica, el color de los cálices de *Hibiscus* varía desde verde-amarillento hasta rojo intenso, así, los cálices oscuros poseen mayor contenido de antocianinas que los cálices claros, y se encuentra relacionado con los compuestos fitoquímicos. En la **Tabla 4** se muestran las partes de la planta y los componentes fitoquímicos que contienen (ácidos orgánicos, flavonoides y antocianinas) (Babalola *et al.*, 2001; Christian & Jackson, 2009).

Tabla 4. Constituyentes fitoquímicos de *H. Sabdariffa*

Parte de la planta	Composición química
Hojas	Proteínas, grasa, hidratos de carbono, fibra, ceniza, minerales (Ca, P, Fe), vitaminas (tiamina, riboflavina y niacina), β -caroteno y ácido ascórbico.
Flores	Principalmente antocianinas como delfinidina y polisacáridos solubles neutros como arabinanos y arabinogalactanos
Cálices	Proteínas, grasas, hidratos de carbono, fibra, alcaloides, antocianinas (cianina-3-rutinósido, delfinidina), flavonoides (hibiscetina, quercetina), fitosteroles (β -sitosterol), ácido esteárico, cera, ácidos orgánicos (principalmente ácido cítrico y málico; ácido

ascórbico, ácido oxálico, ácido succínico, ácido tartárico), minerales (Fe, P, Mg, Ca, Al, Na, P), vitamina C y β -caroteno

Fuente: (Véguez, 2009).

Ácidos fenólicos y flavonoides. Los cálices es una de las partes más importante debido que contiene polifenoles, flavonoles y flavanoles en forma simple o polimerizada. En algunos estudios se han detectado los siguientes flavonoides: hibiscitrina (hibiscetina-3-glucósido), sabdaritrina, gosititrina, gositrina y otros glucósidos de la gositetina, quercetina y luteolina; así como ácido clorogénico, ácido protocatecuico, ácido pelargonídico, eugenol y esteroides (principalmente beta-sitosterol y ergosterol) los cuales tienen potencial antioxidante, antihipertensivo, antimicrobiano, antiinflamatorio, antidiabético y anticancerígeno (Riaz & Chopra, 2018).

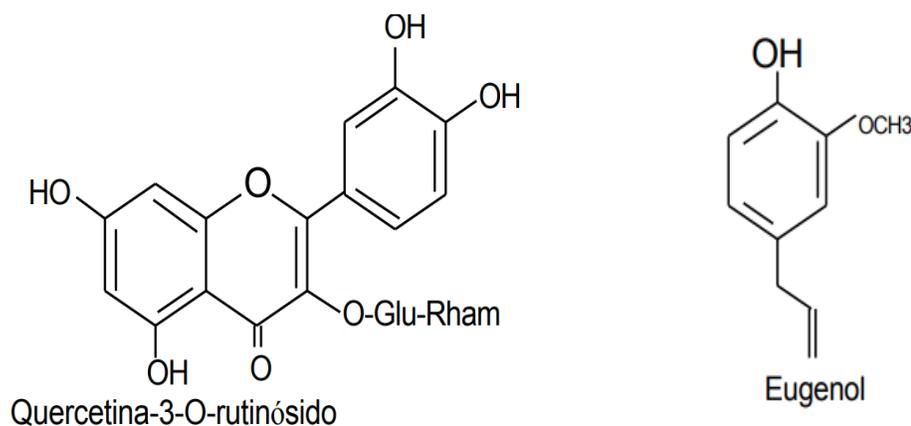


Figura 3. Quercetina y Eugenol. Fuente: (Carvajal *et al.*, 2012).

Antocianinas. Las antocianinas (antocianidinas glicosiladas) son compuestos polifenólicos debido a que son metabolitos secundarios de las plantas que poseen en su estructura al menos un anillo aromático al que está unido uno o más grupos hidroxilo (De la rosa *et al.*, 2022). La primera antocianina del cáliz de *H. sabdariffa* aislada, fue la "Hibicina" (también llamada delphinidina-3-sambubiósido, cianidina-3-glucósido y/o delphinidina pentosido-glicósido). Actualmente se conocen cuatro tipos de antocianinas en los cálices de jamaica; en mayor proporción, delphinidina-3-sambubiósido (D3S) y cianidina-3-sambubiósido (C3S), mientras que en menor relevancia delphinidina-3-glucósido y cianidina-3-glucósido. De éstos, el 85% del total de antocianinas es D3S, considerándose la principal fuente de capacidad antioxidante. Las antocianinas, D3S y C3S, contienen son componentes activos responsables

de los efectos antihipertensivos e hipocolesterolémicos, posiblemente porque se encuentran en grandes cantidades en los extractos acuosos (Hopkins *et al.*, 2013).

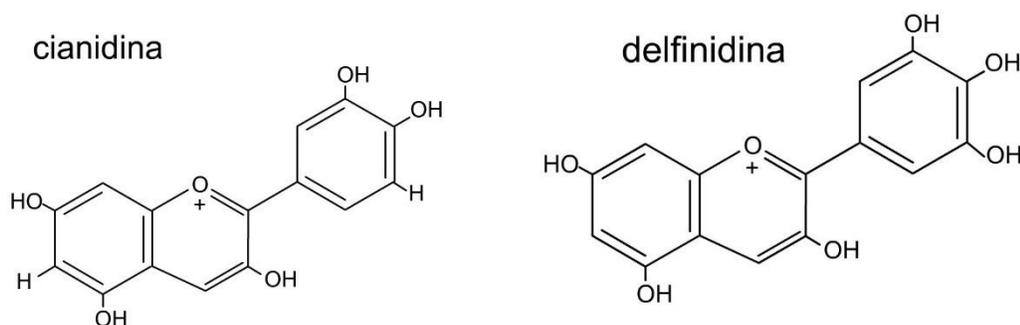


Figura. 4 Cianidina y Delfinidina). Fuente: (De la rosa, 2022)

Ácidos orgánicos. Los estudios sobre extractos de *H. sabdariffa* indican que contienen un alto porcentaje de ácidos orgánicos, entre los que destacan el ácido cítrico, el ácido hidroxícítrico, el ácido de hibisco, el ácido málico y el ácido tartárico como principales compuestos (**Figura 5**). Aunque en menor proporción se han encontrado los ácidos oxálico y ascórbico, en general, el porcentaje de estos ácidos orgánicos es similar en las especies de *Hibiscus sabdariffa* L., aunque el ácido hibiscus es el más representativo (13-24%). El resto de ácidos orgánicos son: 12-20% ácido cítrico, 2-9% ácido málico, 8% ácido tartárico y ácido ascórbico entre 0,02-0,05% (Riaz & Chopra, 2018)

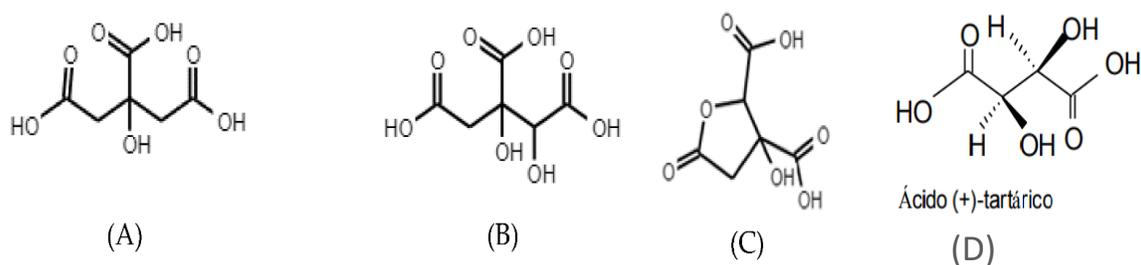


Figura 5. Estructura química de los principales ácidos orgánicos de *H. sabdariffa*. (A) Ácido cítrico; (B) Ácido hidroxícítrico; (C) Ácido Hibiscus y (D) Ácido tartárico. Fuente (Carvajal *et al.*, 2012)

La estabilidad de los compuestos bioactivos depende de diversos factores que afectan su estructura química y por tanto su efecto en la salud, entre los que incluyen en el área de alimentos, como procesos tecnológicos, tratamientos térmicos o en el transcurso de

almacenamiento por lo que se ha recurrido a la microencapsulación de compuestos bioactivos obtenidos de plantas como jamaica (Gómez-Aldapa *et al.*, 2019; Mandaji *et al.*, 2022).

2.3.1 Efectos benéficos de *H. Sabdariffa* en la salud

En los últimos años *H. Sabdariffa* ha tenido un uso potencial en el área farmacológica debido a los beneficios que produce como medicina alternativa, atribuyéndole propiedades diuréticas, antifebriles, en la disminución del colesterol y la hipertensión (Cid-Ortega & Guerrero-Beltrán, 2012). Derivado de lo anterior, se han realizado investigaciones con extractos de jamaica, demostrando que sus componentes como vitaminas (E y C), ácidos polifenólicos, flavonoides y antocianinas, poseen actividad antioxidante, contribuyendo a las acciones anticancerígenas y cardioprotectivas (Cauch *et al.*, 2020).

Las antocianinas de la jamaica tienen efectos antihipertensivos a través de la inhibición de la enzima convertidora de angiotensina y actividad diurética; así como también poseen efecto hepatoprotector por su capacidad para radicales libres y reducir la peroxidación de lípidos en comparación con el tratamiento utilizando fármacos como lisinopril y captopril, ambos inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina (Castañeda & Cáceres, 2014; Escobar-Millán *et al.*, 2018).

Tabla 5 Beneficios de extractos de *H. Sabdariffa*.

Antidiabético	La α -amilasa y la α -glucosidasa son las principales enzimas del metabolismo de los hidratos de carbono, los compuestos fenólicos tienen la capacidad de inhibir ambas enzimas, el ácido cafeico, el ácido gálico y los ácidos protocatecuico
Antihiperlipidemia y antiobesidad	El consumo de extractos mejora el perfil lipídico, el mecanismo descrito fue la reducción de los niveles de colesterol total y LDL.
Antihipertensión	Disminuye la presión arterial sistólica (PAS) y la presión arterial diastólica. Varios estudios informaron del potencial antihipertensivo de los compuestos fenólicos
Diurético	El potencial antidiurético del extracto acuoso el contenido de quercetina del extracto influye en el endotelio vascular, lo que provoca la liberación de NO y la inhibición de la actividad ATPasa, afectando al gradiente de

	concentración de Na ⁺ /K ⁺ en las células epiteliales tubulares de la nefrona
Actividad antimicrobiana	Diversos extractos se han evaluado efectivamente frente a bacterias Gram negativas (<i>Escherichia coli</i> y <i>Salmonella enteritidis</i>) y Gram positivas (<i>Staphylococcus aureus</i> y <i>Micrococcus luteus</i>), <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Bacillus subtilis</i> (ATCC 6633), <i>Staphylococcus aureus</i> (ATCC 6538) y <i>Escherichia coli</i> (ATCC 8739)

Fuente: (Hapsari & Setyaningsih, 2021).

2.4 Probióticos

Los probióticos son un grupo de bacterias que han sido descritas como microorganismos vivos que al ser administrados en la cantidad correcta confieren al huésped un beneficio en su salud (Cook *et al.*, 2012). Los principales probióticos son las bacterias integrantes de los géneros *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* que se ubican en el tracto gastrointestinal del humano (Sanz *et al.*, 2003). Existe una amplia variedad de productos probióticos en el mercado en forma de suplementos dietéticos y productos lácteos fermentados que pueden presentar problemas con la viabilidad y funcionalidad de estas bacterias, la escasa supervivencia de los probióticos en estos productos y en el tracto gastrointestinal se ve afectado por ciertos factores a los que es sometido, por esta razón las investigaciones se han enfocado en el empleo de ciertas técnicas como la microencapsulación como estrategia para mejorar la viabilidad de los probióticos en los productos y durante su paso en el tracto gastrointestinal. Hasta el momento, los microorganismos probióticos que han sido microencapsulados pertenecen a los siguientes géneros: *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus* y *Streptococcus* (Pérez *et al.*, 2013).

2.4.1 Beneficios de los probióticos a la salud

Para que los microorganismos probióticos tengan un efecto beneficioso sobre la salud, la concentración recomendada de células viables es generalmente $>10^6$ - 10^8 CFU/g o 10^8 - 10^{10} CFU/día en el producto en el tiempo de consumo (Champagne *et al.*, 2011). Los probióticos tienen aplicaciones en la salud, algunas de las afirmaciones terapéuticas y beneficios de los probióticos se encuentran en la **Tabla 6**. Estos microorganismos presentan seguridad biológica, capacidad de ser tolerados por el sistema inmune del huésped, capacidad de resistir a los ácidos gástricos, sales biliares, capacidad de adherirse a la mucosa intestinal,

colonizarlas y sinergia con la microbiota endógeno normal, (Araújo *et al.*, 2015). Existen mecanismos por los cuales los probióticos pueden ejercer sus efectos, la actividad antimicrobiana al secretar una variedad de compuestos, que incluyen ácidos orgánicos principalmente ácido láctico y acético que reducen el pH intestinal, esto conlleva a la reducción de células bacterianas, así como afectar el metabolismo y la producción de toxinas de los microorganismos patógenos. Los probióticos también pueden emplear mecanismos enzimáticos, secretando enzimas capaces de hidrolizar toxinas bacterianas, modificar los receptores de toxinas (Corrales & Arias, 2020), además, las bacterias probióticas tienen beneficios en la salud del huésped, presentan otras utilidades como favorecer el desarrollo de las características sensoriales de productos fermentados, por lo que son consideradas como bacterias conservadoras en alimentos (Barboza *et al.*, 2004).

Tabla 6. Beneficios de probióticos en la salud humana.

<p>Desordenes intestinales Diarrea Estreñimiento Colitis Intolerancia a la lactosa Flatulencias Tratamiento de la inflamación crónica del tracto digestivo.</p> <p>Otros desórdenes Vaginitis Enfermedad hepática inducida por el alcohol Hipercolesterolemia</p> <p>Otros usos Estabilización de la flora Recolonización del intestino después del tratamiento con antibióticos Tratamiento de alergias alimentarias Adyuvante de vacunas Modular las defensas del huésped, incluidos tanto el sistema inmune innato como el adquirido.</p>

Fuente: (Goldi, 1998; Corrales & Arias 2020).

El uso de probióticos tiene ciertas desventajas al emplearlos en procesos alimentarios, tal como lo es su baja viabilidad de supervivencia, esta se puede ver afectada por condiciones ambientales como la humedad y la temperatura (Araújo *et al.*, 2015). Otra desventaja es la presencia de organismos competitivos, temperatura de almacenamiento del alimento, la

presencia de sustancias inhibidoras, la presencia de oxígeno (Espinoza, 2013), pH (derivado del proceso de fermentación), composición química del medio, concentración final de azúcares, es decir el aumento de la presión osmótica y las prácticas de inoculación (Olagnero *et al.*, 2007). Por tanto, la supervivencia de estas bacterias durante el procesamiento, almacenamiento y al paso por el tracto gastrointestinal es cuestionable, debido a que son susceptibles a factores adversos como la concentración de oxígeno, pH ácido, y alta concentración de sales biliares (Castro-Rosas *et al.*, 2020). Se ha recurrido a la microencapsulación de bacterias probióticas la cual consiste en proteger a las bacterias mediante una barrera física frente a condiciones ambientales adversas (Martín *et al.*, 2015).

2.5 Microencapsulación

La microencapsulación se puede definir como una técnica de recubrimiento para sólidos, líquidos o en algunos casos, gases en forma de cápsulas selladas. El propósito de la microencapsulación es proteger el contenido (núcleo) contra humedad, pH, oxidación, entre otros factores tales como (Gharsallaoui *et al.*, 2007; Esquivel *et al.*, 2015):

- Disminuir la tasa de transferencia del material núcleo al entorno exterior.
- Manejo más fácil del producto al modificar las características físicas.
- Enmascarar algún aroma o sabor indeseable del ingrediente activo.
- Controlar la liberación del ingrediente activo a través del tiempo o en un momento en particular.

La microencapsulación es utilizada para mejorar la resistencia de los probióticos a situaciones no favorables. Las tecnologías de microencapsulación son requeridas para mantener la viabilidad de los probióticos durante el almacenamiento y dentro del intestino humano con la finalidad de aumentar la capacidad de los probióticos de colonizar el colon, por lo general, los probióticos se recubren con materiales de calidad alimentaria como biopolímeros o lípidos, en algunos casos se puede co-encapsular componentes adicionales para mejorar su viabilidad, como nutrientes o agentes protectores (Yao *et al.*, 2020).

2.5.1 Secado por aspersion

El secado por aspersion es un método de microencapsulación que consiste en la

dispersión de la sustancia a encapsular en el agente encapsulante (material pared), seguido de una atomización de la muestra en una cámara a alta temperatura, el solvente se evapora instantáneamente y el material activo queda atrapado dentro de una película de material encapsulante (Martínez *et al.*, 2016), estos materiales pared pueden ser de distintos tipos (Huertas, 2010; López, 2010):

- Lípidos: grasa láctea, lecitinas, ceras, ácido esteárico, monoglicéridos, diglicéridos, parafinas, aceites hidrogenados, soya.
- Carbohidratos: almidón, almidones modificados, maltodextrina y gomas, etc.
- Proteínas: caseinato de sodio, proteína de lactosuero, aislados de proteína de soya, gluten, gnetina, caseína.

El secado por aspersion consiste en tener un producto líquido el cual posteriormente es atomizado en una corriente de gas caliente para obtener un polvo instantáneamente. La ventaja del proceso es que se puede operar de forma continua, es una técnica de bajo costo, que utiliza maquinaria fácilmente disponible (Arslan *et al.*, 2015). La desventaja es que la alta temperatura utilizada en el proceso puede no ser adecuada para encapsular cultivos probióticos (Kailasapathy, 2002), debido a ello, es de vital importancia optimizar el proceso de secado.

En la **Figura 6** se muestra un esquema del secador en forma general, la eficiencia de esta técnica dependerá de diversas propiedades del compuesto, parámetros de secado como temperatura de entrada, velocidad de flujo de alimentación, tipo y concentración del agente microencapsulante, debido a esto se obtienen productos microencapsulados con alto porcentaje de retención del compuesto de interés y estabilidad de dicho compuesto durante el almacenamiento (Villena *et al.*, 2009). La estructura de las partículas depende de la naturaleza de las sustancias bioactivas (pueden variar en partículas sólidas, huecas, arrugadas o desintegradas), por lo que, obtener una mezcla homogénea de partículas sólidas bajo las condiciones establecida de secado, es el factor de calidad más importante (Garzón *et al.*, 2023).

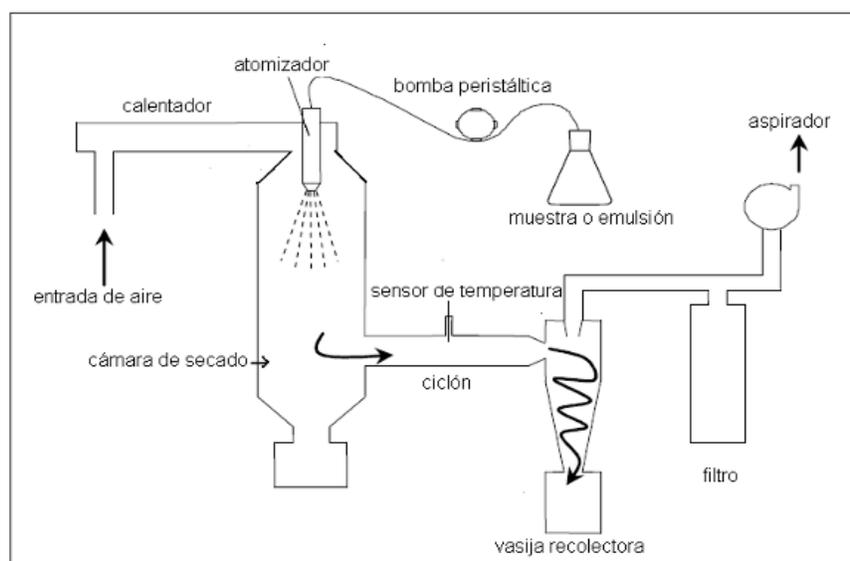


Figura 6. Diagrama básico de un secador por aspersión. Fuente: (Castañeta *et al.*, 2011).

2.5.1 Microencapsulación de extractos de *H. sabdariffa* mediante secado por aspersión

El género *Hibiscus* incluye más de 250 especies y numerosos estudios demostraron que estas plantas contienen compuestos bioactivos con potencial tecnológico para ser utilizados en el desarrollo de alimentos funcionales. Sin embargo, la inestabilidad de estos compuestos durante las condiciones típicas de procesamiento de alimentos, como la exposición a altas temperaturas, cambios de pH y la presencia de luz y oxígeno, han estimulado el uso de técnicas de encapsulación para aumentar su estabilidad y aplicabilidad (Mandaji *et al.*, 2022). En la actualidad el uso de la microencapsulación mediante el secado por aspersión se ha convertido en una de las técnicas más utilizadas para la conservación de compuestos bioactivos y con ello, varias investigaciones y proyectos han derivado, por tan sólo mencionar algunos autores como Sotomayor & Vargas (2017), quienes optimizaron la extracción y microencapsulación de antocianinas de flor de jamaica mediante secado por aspersión para la evaluación de su capacidad antioxidante, estos autores reportaron que las antocianinas encapsuladas tuvieron efectividad antioxidante y, fue mayor que las antocianinas sin encapsular. Cabe destacar que el uso de polímeros para la microencapsulación, también ha sido un factor de investigación, ejemplo de ello, Núñez & López (2022), demostraron la efectividad de la maltodextrina como polímero, al formar microesferas que recubren y protegen a las antocianinas presentes en la *H. sabdariffa*, las cuales fueron extraídas, microencapsuladas y se les evaluó su capacidad antioxidante.

2.5.2 Microencapsulación de probióticos mediante secado por aspersión

El efecto probiótico se logra con un consumo mínimo de $10^6 - 10^7$ UFC/g o mL; por lo tanto, es requerido que las industrias garanticen la supervivencia celular. Las técnicas de encapsulación son una alternativa cuando se intenta proteger a estos microorganismos del efecto de agentes medioambientales que pueden afectar su viabilidad, durante el procesamiento, almacenamiento, consumo y a su paso por el tracto gastrointestinal al permitirles mantener su viabilidad y funcionalidad con el tiempo (Semyonov *et al.*, 2010), reduciendo el daño celular al retener las células dentro de materiales encapsulantes que generan su aislamiento (Ranadheera *et al.*, 2010). Resultados de investigaciones muestran que, además de la técnica de encapsulación, el efecto de protección depende en gran medida de las propiedades funcionales del material pared, inclusive, ingredientes no digeribles de los alimentos como los prebióticos podrían aplicarse como material de recubrimiento, ya que se les atribuyen cualidades protectoras sobre la microbiota gastrointestinal benéfica de humanos y animales (Alfaro, 2019).

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hablar de las ENT en México, es de gran importancia respecto al impacto que tiene en la sociedad y la correlación con en el sector salud. La alta prevalencia de enfermedades crónicas, en las últimas décadas ha hecho que los servicios sanitarios a nivel mundial busquen alternativas de tratamiento para poder frenar y controlar padecimientos como la obesidad, diabetes, cáncer, hipertensión y enfermedades cardiovasculares, etc. Así, en el área alimentaria se ha incrementado el desarrollo de alimentos funcionales (con compuestos bioactivos) como una estrategia, que representa una alternativa factible en la prevención de ciertas patologías, al mismo tiempo que sirve para reducir la sintomatología de algunas enfermedades. La jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) ha sido ampliamente estudiada como coadyuvante en el tratamiento de diferentes ENT, debido a su composición fitoquímica, por otro lado, los probióticos como microorganismos vivos pueden dar un efecto benéfico en la salud del huésped siempre y cuando lleguen en concentraciones adecuadas al intestino (10^6 - 10^8 UFC/ g o mL). Sin embargo, estos compuestos bioactivos tanto fitoquímicos como bacterias se enfrentan a diversos retos, ya que estos son sensibles a cambios físicos y químicos como el pH, temperatura, luz, concentración de oxígeno y procesamiento, al paso durante el tracto gastrointestinal, lo que reduce su biodisponibilidad y por tanto sus efectos benéficos. Tanto compuestos fitoquímicos de la jamaica, como los probióticos han sido microencapsulados con el objetivo de incrementar su estabilidad. El secado por aspersión es un método ampliamente utilizado para la encapsulación de ambos compuestos bioactivos por ser versátil, de bajo costo y con alta eficiencia. Por todo lo anterior, el objetivo de este trabajo fue microencapsular mezcla de compuestos bioactivos de extracto de *Hibiscus sabdariffa* con probióticos, y obtener microencapsulados funcionales, utilizando la técnica de secado por aspersión.

IV. HIPÓTESIS

Es posible obtener microencapsulados con alto contenido de compuestos bioactivos, a partir de extracto de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) en mezcla con probióticos, en usando la técnica de secado por aspersión.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Microencapsular mezcla de compuestos bioactivos de extracto de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) con probióticos, utilizando la técnica de secado por aspersión.

5.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar los compuestos fitoquímicos en extractos (acuoso, metanólico, etanólico, acetónico, acuoso (ebullición) de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) (fenoles y flavonoides totales, antocianinas) y capacidad antioxidante (ABTS y DPPH), por métodos espectrofotométricos.
2. Formular mezclas de probióticos (L-17, L-19, L-20, L-25) con dos concentraciones de extracto de jamaica (5 y 10 g (p/v) y evaluación de pH sobre la viabilidad de las bacterias.
3. Optimizar el proceso de microencapsulación de mezcla de probióticos (L25) con extracto metanólico de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*), usando la técnica de secado por aspersión.
4. Caracterizar los microencapsulados obtenidos: cuantificar los compuestos fitoquímicos (fenoles, flavonoides totales, antocianinas), capacidad antioxidante (ABTS y DPPH), y Eficiencia de Microencapsulación (%) para los compuestos del extracto de jamaica, y la sobrevivencia de las bacterias (%), morfología (MEB), actividad de agua (a_w) y humedad (%), color para los probióticos.

VI.METODOLOGIA

6.1 Materia prima y cepas

Para el estudio se utilizó la variedad de jamaica (*H. sabdariffa*) cultivada en el estado de Guerrero. La cepa *Lacticaseibacillus paracasei* UAEH20 (L20) que se utilizó en este trabajo se aisló de queso tenate del estado de Hidalgo, México (Falfán-Cortés *et al.*, 2022) y tres cepas del género *Enterococcus lactis* UAEH 17, UAEH 19 y UAEH 25 aislados e identificados previamente de diversos quesos del mismo estado (**Tabla 7**).

Tabla 7 Bacterias ácido lácticas (BAL) con potencial probiótico, utilizadas en la investigación

Microorganismo (BAL)	Abreviatura utilizada
<i>Lacticaseibacillus paracasei</i> UAEH20	L20
<i>Enterococcus lactis</i> UAEH 17	L17
<i>Enterococcus lactis</i> UAEH 19	L19
<i>Enterococcus lactis</i> UAEH 25	L25

6.2 Obtención de extractos

Los extractos se obtuvieron con cuatro disolventes, agua (Aq), etanol (Et), acetona (Ac) y metanol (Me). Se pesaron 100 g de cálices de *H. sabdariffa*, la muestra se trituró para obtener mayor superficie de contacto con ayuda de una licuadora, posteriormente se pesó 0.1 g de muestra en tubo Eppendorf, se adicionó 1 mL del disolvente respectivamente, los tubos se agitaron y se dejaron reposar 5 min, además se obtuvo un extracto acuoso a ebullición, para este tratamiento el tubo Eppendorf se colocó a baño María, a 92 °C por 15 min, transcurrido este tiempo se retiró del baño y se dejó enfriar por 5 min. La mezcla jamaica más disolvente fueron centrifugados (microcentrífuga; MiniSpin plus, Eppendorf, Alemania), a 12,000 rpm por 15 min, se separó el sobrenadante del residuo de la planta, considerando este procedimiento como primer lavado, tras retirar el sobrenadante, se adicionó 1 mL más de disolvente y se repitió el procedimiento dos veces, con el fin de hacer 3 extracciones sucesivas, para obtener 3 mL de cada extracto. Cada extracto fue aforado a 25 mL con su respectivo disolvente, este fue almacenado en refrigeración y oscuridad para evitar la degradación de compuestos bioactivos y su posterior análisis.

6.3 Caracterización de los extractos de *H. sabdariffa*

6.3.1 Cuantificación de fenoles totales

Los compuestos fenólicos totales en los extractos se determinaron a través del método de Folin-Ciocalteu siguiendo la metodología descrita por Vargas-León *et al.* (2018). En

microtubos Eppendorf se colocaron 250 µL de los diferentes extractos, 625 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu y 500 µL de Na₂CO₃ al 7.5%, se agitaron y se dejaron en reposo por 2 h, posteriormente se midió la absorbancia a 760 nm. Para determinar la concentración de cada extracto, se utilizó una curva estándar de 0 a 150 ppm de ácido gálico (AG) y el resultado se expresó como mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de cáliz de flor de jamaica.

6.3.2 Flavonoides totales

El contenido de flavonoides totales se determinó siguiendo la metodología descrita por Pekal & Pyrzyńska (2014). De cada extracto se tomaron 1,100 µL y fueron colocados en unos microtubos a los cuales se les adicionaron 125 µL de cloruro de aluminio (AlCl₃) al 10%, se dejaron en reposo por 15 minutos, transcurrido el tiempo se midió la absorbancia a 425 nm. Los resultados fueron expresados en mg equivalentes de Quercetina en 100 g de cáliz de flor de jamaica, utilizando una curva de 0-25 ppm de quercetina.

6.3.3 Antocianinas

La determinación de antocianinas monoméricas totales se determinó de acuerdo con la metodología descrita por Del Carpio-Jiménez *et al.* (2009), en un microtubo se colocó 1 mL de solución buffer pH 1 y en otro, 1 mL de solución buffer pH 4.5, a cada tubo se le adiciono 500 µL de extracto y se le midió la absorbancia a 520 nm (longitud de onda de máxima absorbancia de las antocianinas) y a 700 nm en el espectrofotómetro, usando como blanco el buffer correspondiente. La absorbancia final (AF) se calculó con la siguiente ecuación (Ecuación 1):

$$AF = (A_{520nm} - A_{700nm})_{pH1.0} - (A_{520nm} - A_{700})_{pH4.5} \quad \text{Ecuación 1.}$$

El valor de la absorbancia se sustituyó en la siguiente ecuación para obtener la concentración de antocianinas (Ecuación 2):

$$\text{Antocianinas monoméricas} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{A * PM * FD * 1000}{\xi * 1} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde ξ y PM, corresponden a la absortividad molar y peso molecular de la antocianina que predomina en la muestra y FD es el factor de dilución (volumen total/volumen de extracto). Dado que una de las antocianinas predominantes en *H. sabdariffa* es la cianidina- 3-glucósido, se utilizaron su absortividad molar (ξ : 26.900) y peso molecular de 449.2g/mol. El resultado

obtenido se expresó como mg equivalentes de cianidina-3-glucósido en 100 g de cáliz de flor de jamaica.

6.3.4 Capacidad antioxidante método ABTS

Según la metodología desarrollada por Re *et al.* (1999). En tubos Eppendorf se colocaron 50 µL del estándar o de los extractos y 1.1 mL del reactivo ABTS, se dejaron reposar por media hora y se midió la absorbancia a 735 nm en el espectrofotómetro. Con la correspondiente regresión lineal se determinó la capacidad de los extractos para abatir al radical, reportando los resultados en mg equivalentes de Trolox/ 100 g de cáliz deshidratado (mg ET/ 100 g).

6.3.5 Capacidad Antioxidante método DPPH

Este método, desarrollado por Brand-Williams *et al.* (1995), se basa en la reducción de la absorbancia del radical DPPH• a 510 nm por sustancias antioxidantes. Se preparó una solución de DPPH (2,2- difenil-1-picrilhidrazil) 100 µM, disuelto en metanol, se ajustó la absorbancia a 0.70 ± 0.03 unidades a una longitud de onda de 510 nm. Se utilizó una curva patrón de ácido ascórbico, de 0-150 ppm. En tubos Eppendorf se colocaron 50 µL del estándar o de los extractos a analizar y 1.1 mL del DPPH, se dejaron reposar por media hora y se midió la absorbancia a 510 nm en el espectrofotómetro. Con la correspondiente regresión lineal se determinó la capacidad de los extractos para abatir al radical, reportando los resultados en mg equivalentes de ácido ascórbico/ 100 g de cáliz deshidratado (mg E Ác A/100 g).

6.4 Evaluación del efecto de los diferentes extractos obtenidos de *H. sabdariffa* sobre la viabilidad de bacterias ácido lácticas

Para la preparación de disoluciones, se utilizaron extractos libres de solventes (metanol, etanol, acetona, acuoso) al 10%. Para la evaluación del efecto de diferentes extractos de *H. sabdariffa*, sobre la viabilidad (UFC/mL) de bacterias ácido lácticas, primero se realizó la activación de las cepas de bacterias ácido lácticas (L17, L19, L20, L25), se colocaron 100 µL del concentrado celular (cepa crioconservada) en 3 mL de caldo Lactobacilli (MRS), se realizó doble transferencia sucesiva (incubación a 37 °C durante 24 h). Después cada bacteria ácido láctica (L17, L19, L20, L25), se sembró en agar MRS utilizando el método de extensión en superficie y sobre los medios solidificados se le colocaron 20 µL de cada extracto, las cajas fueron incubadas a 37 °C durante 24 h. Posteriormente se observó la presencia o ausencia de halos de inhibición.

6.5 Obtención de extracto metanólico de *H. sabdariffa*

Para la obtención de extracto metanólico se pesaron 1 kg de cálices secos de *Hibiscus sabdariffa* con 9 L de metanol en maceración por siete días, la fase líquida se filtró (papel Whatman No. 4). Para retirar el solvente (metanol) se utilizó un rotaevaporador (BÜCHI) a una temperatura menor de 35°C. El concentrado fue colocado en un recipiente protegido de la luz y almacenado en refrigeración.

6.5.1 Evaluación de la resistencia de las bacterias ácido lácticas a diferentes concentraciones (5 y 10% p/v) de extracto metanólico de *H. sabdariffa*

Se prepararon ocho disoluciones de extracto metanólico, cuatro de 5 % y cuatro de 10 % (p/v). La activación de las cepas de bacterias ácido lácticas (L17, L19, L20, L25) se realizó con una doble transferencia sucesiva en caldo MRS como previamente fue descrito. Después de la doble activación el paquete celular se centrifugó por 20 min a 3500 rpm, se decantó el sobrenadante y se le agregaron 5 mL de peptona, se centrifugó nuevamente por 20 min a 3500 rpm, se decantó el sobrenadante y se agregó el extracto metanólico (10 mL) en diferentes concentraciones (5 y 10 %), se dejó en contacto con el extracto durante 1 h en agitación constante. Posteriormente, se realizaron diluciones seriadas de las muestras, las cuales se sembraron en agar MRS utilizando el método de vaciado en placa, estas se incubaron a 37 °C por 48 h. Se realizó un conteo de colonias para calcular las UFC/ml en cada tratamiento.

6.5.2 Evaluación de la resistencia de las bacterias ácido lácticas a diferentes pH del extracto metanólico de *Hibiscus sabdariffa*

Se prepararon seis disoluciones de extracto metanólico al 5 % (p/v) con pH 4 y 6 respectivamente. La activación de las cepas de bacterias ácido lácticas (L17, L20, L25) se realizó con una doble transferencia sucesiva en caldo MRS. Después de la doble activación, se lavó el paquete celular mediante centrifugación previamente descrito. Al paquete celular obtenido de las bacterias ácido lácticas se les agregó 10 mL de extracto metanólico 5% ajustado a pH 4 y 6. La mezcla extracto (pH 4 y pH 6) con las bacterias se dejaron en agitación constante durante 1 hora. Posteriormente, se realizaron diluciones seriadas las cuales se sembraron en agar MRS, utilizando el método de vaciado en placa, se incubaron a 37 °C por 48 h. Finalmente se realizó un conteo de colonias para calcular las UFC/ml en cada mezcla de extracto con bacteria ácido láctica.

6.5.3 Caracterización del extracto metanólico al 5% pH 4 y 6 de *H. sabdariffa*

Se cuantificó la actividad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH previamente descritos para los extractos metanólico con una concentración del 5% (p/v) y ajustado a pH de 4 y 6 respectivamente. Los resultados fueron expresados como mg equivalentes de ácido ascórbico/ 100 g de extracto (mg E Ác A/100 g) y mg equivalentes de Trolox/ 100 g de extracto (mg ET/ 100 g).

6.6 Estudio preliminar para la microencapsulación de L25 con extracto metanólico 5% pH 4 de *H. sabdariffa*

La activación de la cepa de bacteria ácido láctica L-25 (*Lactobacillus paracasei*), se realizó mediante doble transferencia en tubos, conteniendo 3 mL de caldo Caldo (MRS), incubados a 37 °C por 24 h. Para la encapsulación el paquete celular fue lavado por centrifugación, separando el sobrenadante del paquete celular. Posteriormente, se preparó la mezcla de almidón 30% de sólidos N-lok (material pared) con bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus paracasei* L-25). La mezcla se homogenizó en un ultraturrax a 3,500 rpm durante 5 s. La viabilidad de las bacterias se cuantificó en la mezcla, obteniendo las UFC/mL antes de secar, utilizando el método de vaciado en placa en agar MRS. La microencapsulación de las bacterias se realizó en un secador por aspersion a escala laboratorio, de acuerdo a lo reportado por Hernández *et al.* (2018); en un equipo BUCHI Mini Spray Dryer B-191, equipado con una boquilla con un diámetro de 0.5 mm. La temperatura de entrada fue de 100 °C, la temperatura de salida varía proporcionalmente con la temperatura de entrada del aire. La solución de alimentación se mantuvo bajo agitación magnética constante y se introdujo en la cámara de aspersion a través de una bomba peristáltica, con una tasa de flujo de alimentación de 4 mL/min. El flujo de aire se mantuvo a 400 mL/h. Después del secado por aspersion las microcápsulas secas se colectaron en frascos de vidrio y se almacenaron para los posteriores análisis.

6.7 Proceso de microencapsulación

Para la obtención de las microcápsulas se mezcló la bacteria ácido láctica (L25) con almidón N-lok, como material pared y extracto metanólico de *H. sabdariffa* (5 % p/v) ajustado a diferentes pH. Para la optimización del proceso de secado se realizó de acuerdo con un diseño experimental compuesto rotatable, donde se obtuvieron como variables independientes la concentración de sólidos del material pared - almidón n-lok (15-30) y el pH del extracto (3-6) (**Tabla 8**), el diseño experimental constó de 13 tratamientos, con un $\alpha = 1.41421$. El proceso

de microencapsulación se llevó a cabo utilizando un secador por aspersión (Mini Spray B-290, BÜCHI Corporation, New Clastle, DE), con una velocidad de alimentación de 4 mL/min.

Tabla 8. Diseño experimental central compuesto rotatable con dos variables independientes

Tratamiento	Sólidos totales del material pared (%)	Extracto (pH)
1	22.5	6
2	22.5	4.5
3	22.5	4.5
4	17.2	3.4
5	22.5	4.5
6	17.2	5.6
7	30	4.5
8	22.5	3.0
9	15	4.5
10	27.8	3.4
11	22.5	4.5
12	22.5	4.5
13	27.8	5.6

6.7.1 Caracterización de los microencapsulados

6.7.1.1 Sobrevivencia después del secado por aspersión

El recuento bacteriano de las BAL después del secado por aspersión se realizó por triplicado por el método de vaciado en placa. Se pesó 1 g de microcápsulas y se colocaron en 9.0 mL de diluyente de citrato de sodio al 2% (dilución 1), con la ayuda de un vortex, estas se solubilizaron. Se realizaron diluciones seriadas (10^{-5} a 10^{-9}) mediante vaciado en placa utilizando agar MRS. Las cajas fueron incubadas en posición invertida a 37 °C / 48 h

posteriormente se realizó el recuento de colonias El porcentaje de viabilidad de las bacterias encapsuladas fue calculado empleando la siguiente ecuación (Ecuación 3) (Alfaro-Galarza *et al.*, 2020):

$$\% \text{ de viabilidad} = N/N_0 \times 100 \quad \text{Ecuación 3.}$$

Dónde: N= Número de bacterias viables en las cápsulas después del secado por aspersión. No= Número de bacterias viables antes del secado.

6.7.1.2 Morfología de las microcápsulas con bacterias ácido lácticas

Las microcápsulas obtenidas se observaron a través de un microscopio electrónico de barrido (modelo JEOL IT-300). Las muestras secas se colocaron sobre un porta muestras, con cinta electro conductiva de carbón de doble cara, para posteriormente recubrirlas con oro. Las muestras se analizaron a 15 A y 15KV (Hernández *et al.*, 2018).

6.7.1.3 Humedad y actividad de agua

Para la determinación de humedad de las microcápsulas se pesó 0.500 g de las capsulas obtenidas y se colocaron en una termobalanza (OHAUS, Switzerland). Para la actividad de agua (a_w) se utilizó el equipo Aqua LAB V. 2.2 (Mod. 3TE, Decagon Devices, Inc., EE. UU.), se pesaron 1 g de muestra, ambas pruebas se realizaron por triplicado (Hernández *et al.*, 2018).

6.7.1.4 Fenoles totales

Se pesaron 100 mg de las microcápsulas obtenidas en un microtubo, se adicionaron 1 mL de agua desionizada y se agitó vigorosamente por 10 minutos para romper la cápsula. Posteriormente se centrifugó la muestra a 3,500 rpm /10 min y se recuperó el sobrenadante, se realizaron dos lavados consecutivos para obtener un volumen de 2.2 mL; finalmente se aforó en un matraz de 25 mL de agua desionizada. Para la cuantificación de fenoles totales se siguió la técnica descrita en el apartado 6.3.1

6.7.1.5 Fenoles superficiales

Se pesaron 100 mg de las microcápsulas obtenidas en un microtubo, se adicionaron 1 mL de una mezcla de 50 % metanol y 50% etanol y se agitó suavemente sin romper la capsula. Posteriormente se centrifugó la muestra a 3,500 rpm / 10 min y se recuperó el sobrenadante, el cual fue filtrado, finalmente se aforó en un matraz de 25 mL mezcla de 50 % metanol y 50%

etanol. Para la cuantificación de fenoles totales se siguió la técnica descrita en el apartado 6.3.1

6.7.1.6 Eficiencia de microencapsulación

Para determinar la eficiencia de encapsulación se utilizaron los extractos obtenidos para los fenoles totales y superficiales y, se utilizó la siguiente Ecuación (Ecuación 4) (Ramos & Monzerrat, 2012)

$$\frac{(\text{Fenoles totales} - \text{Fenoles superficiales})}{\text{Fenoles totales}} \times 100 \quad \text{Ecuación 4.}$$

6.7.1.7 Capacidad antioxidante método ABTS

Se pesaron 100 mg de las microcápsulas obtenidas en un microtubo, se adicionaron 1 mL de agua desionizada y se agitó vigorosamente por 10 minutos para romper la cápsula. Posteriormente se centrifugó la muestra a 3,500 rpm /10 min y se recuperó el sobrenadante, se realizaron dos lavados consecutivos para obtener un volumen de 2.2 mL; finalmente se aforó en un matraz de 25 mL de agua desionizada para la cuantificación de ABTS se siguió la técnica descrita en el apartado 6.3.4

6.7.1.8 Capacidad antioxidante método DPPH

Se pesaron 100 mg de las microcápsulas obtenidas en un microtubo, se adicionaron 1 mL de agua desionizada y se agitó vigorosamente por 10 minutos para romper la cápsula. Posteriormente se centrifugó la muestra a 3,500 rpm /10 min y se recuperó el sobrenadante, se realizaron dos lavados consecutivos para obtener un volumen de 2.2 mL; finalmente se aforó en un matraz de 25 mL de agua desionizada para la cuantificación de DPPH se siguió la técnica descrita en el apartado 6.3.5

6.8 Optimización

Las condiciones del proceso de encapsulación fueron optimizadas para determinar la máxima viabilidad de la bacteria encapsulada (%), y eficiencia de encapsulación respecto al contenido de fenoles, el rendimiento (%) y la capacidad antioxidante (%). Las condiciones óptimas del proceso de secado se determinaron empleando el método de máxima pendiente y utilizando la función de deseabilidad del programa Design Expert versión 7.1.6 (Stat-Ease, Inc, MN, USA). Las respuestas seleccionadas para realizar la optimización fueron: contenido

de sólidos, pH, eficiencia de microencapsulación (%), actividad antioxidante por el método (DPPH, ABTS). De acuerdo con los datos por el software se realizó la validación experimental.

6.9 Validación experimental

Consistió en microencapsular con las condiciones determinadas por el software, y se realizó la cuantificación de fenoles totales, superficiales, eficiencia de encapsulación, y capacidad antioxidante.

7.0 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza con un nivel de significancia del 95% ($\alpha= 0.05$). Para el análisis de extractos con diferentes solventes cuando se encontraron diferencias estadísticas significativas y para la comparación de medias se utilizó el método de comparaciones múltiples mediante la prueba de Tukey se utilizó el programa estadístico STATISTICA versión 10.

Para el proceso de microencapsulación se analizaron los datos utilizando la metodología de superficie de respuesta (RSM) con Design-Expert versión de software 7.1.5. Los datos experimentales se ajustaron a una modelo polinomial de segundo orden que se muestra en esta Ecuación 5:

$$Y_i = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 \quad \text{Ecuación 5.}$$

Donde; y = variable de respuesta; X_1 = pH del extracto; X_2 = sólidos totales del material pared en la mezcla, preparada para el secado por aspersión. La significancia de los modelos se probó mediante análisis de varianza (prueba F).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 Caracterización de extractos de *H. sabdariffa*

6.1.1 Fenoles totales

A partir de los cálices de *H. sabdariffa* se generaron cuatro extractos, se cuantificaron los fenoles totales, cuyos resultados se presentan en la **Tabla 9**. Se observó que el **extracto metanólico** exhibió la concentración más alta de compuestos fenólicos (1633.15 ± 0.56 mg EAG/100g muestra). Estos resultados son similares con lo reportado por Anokwuru *et al.* (2011), quienes señalaron que los alcoholes son solventes más efectivos para extraer compuestos fenólicos de los cálices de *H. sabdariffa* en comparación con el agua y la acetona. Esta diferencia se atribuye a la polaridad del compuesto antioxidante; a medida que aumenta la polaridad del disolvente, se logran mayores rendimientos en la extracción de sólidos solubles totales y compuestos polifenólicos. El metanol, es un alcohol con propiedades polarizantes debido a su estructura molecular, puede interactuar con los compuestos fenólicos mediante enlaces de hidrógeno y fuerzas dipolo-dipolo, como lo han señalado Mohd-Esa *et al.* (2010). Por otro lado, los extractos acetónico (927.5 ± 0.86) y etanólico (945.37 ± 0.70) exhibieron concentraciones más bajas de fenoles. Higginbotham *et al.* (2014) reportaron que el contenido total de fenoles a partir de cálices de jamaica (*H. sabdariffa* L.) previamente deshidratados, fue 1600 mg AGE/100 g. Resultados similares a los encontrados en esta investigación.

Un estudio reciente de Shahidi & Ambigaipalan (2015), reportaron que los compuestos fenólicos, presentes en una amplia variedad de alimentos, han demostrado tener propiedades antioxidantes y antiinflamatorias. Estos compuestos ayudan a neutralizar los radicales libres que dañan las células del cuerpo y que provocan enfermedades crónicas como cardiovasculares y neurodegenerativas. Los extractos metanólicos de los cálices de jamaica (*H. sabdariffa* L.) contienen diversos compuestos fenólicos, los más destacados son: ácido protocatecuico, ácido o-cumárico, ácido p-cumárico y ácido ferúlico (Yábar *et al.*, 2019)

Tabla 9. Fenoles totales cuantificados en diferentes extractos de *H. sabdariffa*.

Tipo de extracto	Fenoles totales (mg EAG/100g muestra)
Acuoso	1425.87 ± 0.66 b
Etanólico	945.37 ± 0.70 e
Metanólico	1633.15 ± 0.56 a
Acetónico	927.57 ± 0.86 d
Acuoso en ebullición	1339.35 ± 0.69 c

Datos expresados como media ± desviación estándar. Diferentes letras minúsculas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). EAG=equivalente de ácido gálico.

6.1.2 Flavonoides totales

De acuerdo a la **Tabla 10** para la quercetina, el valor más alto fue para el extracto **metanólico** y para catequina el extracto **acuoso**. Para el extracto metanólico el valor de quercetina fue de 75.94 ± 0.81 mg EQ/100g. Desmiaty & Alatas (2008), reportaron un valor de $76.16 \pm 3.23/100$ EQ/100g valores similares a los que se obtuvieron en este estudio. De acuerdo con Vargas *et al.* (2018), reportaron un contenido de catequina en extracto acuoso de 784.23 ± 14.61 mg EC 100 g mientras que resultados que se obtuvieron en esta investigación fueron de 1057.70 ± 0.3 , un valor mayor a comparación de lo reportado por estos autores. Shahidi & Ambigaipalan (2015), reportaron que la flor de jamaica contiene flavonoides como quercetina, kaempferol y miricetina, compuestos que han mostrado efectos antioxidantes, antiinflamatorios, antivirales y antibacterianos. Estos flavonoides también son conocidos por su capacidad para combatir radicales libres y reducir la inflamación, lo que resulta beneficioso en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT), como las enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas.

Tabla 10. Flavonoides totales de extractos de *H. sabdariffa*

Tipo de extracto	Flavonoides- Quercetina mg EQ/100g muestra	Flavonoides- Catequina mg ECAT/100g muestra
Acuoso	75.94 ± 0.81 b	1057.70 ± 0.33 a
Etanólico	44.59 ± 0.94 d	219.24 ± 0.00 e
Metanólico	107.19 ± 0.06 a	475.33 ± 0.54 c
Acetónico	38.86 ± 0.79 e	339.87 ± 0.58 d
Acuoso en ebullición	62.42 ± 0.69 c	643.87 ± 0.72 b

Datos expresados como media \pm desviación estándar. Diferentes letras minúsculas en la misma columna, indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). EQ: Equivalentes de quercetina, ECAT: Equivalentes de catequina.

Reyes-Luengas *et al.* (2015), mencionaron que uno de los beneficios más destacados de los flavonoides es su capacidad para combatir infecciones, gracias a su actividad antimicrobiana que ayuda a enfrentar virus y bacterias. Además, su acción antioxidante contribuye a retardar el envejecimiento prematuro al proteger las células de la piel del daño causado por los radicales libres, lo que reduce la formación de arrugas y líneas de expresión, así como el riesgo de padecer enfermedades crónicas. El consumo de flavonoides ayuda a reducir el colesterol LDL, o lipoproteína de baja densidad, ya que previene la formación de placas en los vasos sanguíneos, se ha demostrado que la quercetina, un tipo de flavonoide, es particularmente efectiva para reducir la presión arterial en modelos animales y en estudios clínicos específicos, disminuyendo así el riesgo de enfermedades cardíacas e hipertensión (Duarte & Pérez-Vizcaíno, 2015). La investigación científica sugiere que los flavonoides pueden desempeñar un papel clave en la prevención del cáncer debido a sus propiedades para inhibir la proliferación celular y mejorar la reparación del ADN, lo cual reduce el estrés oxidativo y el daño celular asociado con la progresión del cáncer. Estas sustancias, parecen interactuar con varios genes y enzimas, regulando rutas celulares que limitan la multiplicación de células cancerígenas y fomentan procesos de apoptosis (muerte celular programada) en células afectadas (García-Tirado, 2012). En el caso de síntomas asociados con la menopausia y el síndrome premenstrual, ciertos tipos de flavonoides actúan como fitoestrógenos, cuya composición es similar a la de los estrógenos humanos, lo que les permite ejercer una acción similar en el organismo. Es fundamental tener en cuenta que el organismo no sintetiza flavonoides, por lo que su consumo a través de una alimentación saludable y equilibrada es esencial (Medina-Carrillo, 2013).

6.1.3 Antocianinas

En la **Tabla 11** se muestra el contenido de antocianinas de cada extracto, el extracto metanólico con 29.44 ± 0.38 mg EC-3G/100 g fue el que presentó mayor contenido de antocianinas ($p < 0.05$), seguido del extracto acuoso. En un estudio realizado por Peng-Kong *et al.* (2002), reportaron una concentración de antocianinas totales de 25.20 ± 50 mg/100 g de flor de jamaica (expresada como delfinidina-3- glucósido). Así mismo, mencionan que de acuerdo

al análisis por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC), las principales antocianinas presentes en la flor de jamaica son la delfinidina-3-sambubiosido (71.4%) y la cianidina-3-sambubiosido (26.6%).

Tabla 11. Antocianinas presentes en diversos extracto obtenidos de *H. sabdariffa*

Tipo de extracto	Antocianinas mg EC-3G/100 g
Acuoso	28.71 ±0.60 b
Etanólico	12.47 ±0.10 d
Metanólico	29.44 ±0.38 a
Acetónico	8.41 ±0.10 e
Acuoso en ebullición	16.25 ±0.78 c

Datos expresados como media ± desviación estándar. Diferentes letras minúsculas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). EC-3G: Equivalentes de cianidina-3-glucósido.

Garzón (2008), menciona que las antocianinas son pigmentos naturales eficaces en la industria alimentaria, usados como sustitutos de colorantes sintéticos por su capacidad para intensificar colores y sus propiedades antioxidantes. No obstante, hallazgos reportados en el área de la investigación indican que las antocianinas, al encontrarse en forma de glicósidos hidrosolubles, ofrecen propiedades antioxidantes que las hacen aptas para productos farmacéuticos y cosméticos, donde pueden ayudar a proteger contra el estrés oxidativo y promover beneficios antiinflamatorios (Li *et al.*, 2023). El consumo de estos compuestos fenólicos minimiza considerablemente la posibilidad de padecer enfermedades crónicas, dado que se ha comprobado que promueven beneficios terapéuticos, brindan la posibilidad de desarrollar productos con valor agregado (De la Rosa *et al.*, 2022).

6.1.4 Capacidad antioxidante método ABTS

La capacidad antioxidante se cuantificó por el método ABTS en la **Tabla 12** se muestra que el extracto metanólico fue el que presentó mayor contenido de 3644.71 ± 0.68 mg de equivalentes de trolox por 100 g de muestra ($p < 0.05$) y un porcentaje de inhibición de $98.12 \pm 0.81\%$, seguido de extracto acuoso con 93.43 ± 0.81 estos resultados son similares con lo reportado por Vargas *et al.* (2018), quienes evaluaron diversos extractos de *H. sabdariffa*, obtuvieron que el porcentaje de inhibición del extracto acuoso fue de $94.61 \pm 2.01\%$ y el

etanólico presentó menor porcentaje de inhibición $20.25 \pm 1.97\%$, este último, a diferencia de lo obtenido en este estudio, se obtuvo un valor de $66.44 \pm 0.28\%$. Ruelas *et al.* (2014), evaluaron tres diferentes variedades de jamaica (China, Reina, Huajicori), con el objetivo de determinar la actividad antioxidante de extractos de cálices de jamaica, reportaron que los extractos acuosos tenían 3592.7 mg (ABTS) valores similares a los obtenidos en esta investigación.

Tabla 12. Capacidad antioxidante por el método ABTS para extractos de *H. sabdariffa*

Tipo de extracto	Porcentaje de inhibición (%)	Actividad antioxidante (ABTS) mg Etrolox/100g muestra
Acuoso	93.43±0.81 b	3417.32 ±0.47 b
Etanólico	66.44±0.28 e	2336.65±0.82 e
Metanólico	98.12±0.81 a	3644.71±0.68 a
Acetónico	78.01±0.89 d	2738.80 ±0.55 d
Acuoso en ebullición	88.36±0.91 c	3148.50 ±0.33 c

Datos expresados como media \pm desviación estándar. Diferentes letras minúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Etrolox: Equivalentes de trolox.

Los antioxidantes, sustancias existentes que actúan protegiendo al organismo de la acción de los radicales libres, causantes de los procesos de envejecimiento (Gutiérrez *et al.*, 2007). Existen diversos métodos para evaluar la actividad antioxidante, ya sea *in vitro* o *in vivo*. Una de las estrategias más aplicadas en las medidas *in vitro* de la capacidad captadora de radicales libres de un compuesto, mezcla o alimento, determinando la actividad frente a sustancias cromógenas de naturaleza radical; la pérdida de color ocurre de forma proporcional con la concentración, dando así una idea de su potencial como antioxidante. Sin embargo, las determinaciones realizadas *in vitro* nos dan sólo una idea aproximada, de lo que ocurre en situaciones complejas *in vivo*. Actualmente el método ABTS ha sido ampliamente usado tanto para materiales biológicos, como compuestos puros o extractos de plantas de naturaleza hidrófila o lipofílica (Palacios, 2013).

6.1.5 Capacidad Antioxidante método DPPH

En la **Tabla 13** se presentan los resultados de la capacidad antioxidante (DPPH), el extracto metanólico fue el que mayor concentración presentó con un valor de 1769.07 ± 0.64 a EAC/100 g y porcentaje de inhibición del 38.95 ± 0.41 % en comparación con los otros extractos evaluados. En un estudio realizado por Ruelas *et al.* (2014), donde analizaron los cálices de *H. sabdariffa* por medio de DPPH, reportaron que los cálices de extracto acuoso obtuvieron 1250.2 EAC/100g muestra. Valores similares a los obtenidos en esta investigación 1436.22 ± 0.40 EAC/100g muestra. Por parte, Fitrotunnisa *et al.* (2019), demostraron que el extracto etanólico presentó un porcentaje de inhibición de 24.1%, valores similares a lo reportado en esta investigación (23.64%).

Tabla 13. Capacidad antioxidante método DPPH por extracto de *H. sabdariffa*

Tipo de extracto	Porcentaje de inhibición (%)	Actividad antioxidante (DPPH) mg EAC/100g muestra
Acuoso	31.40 ± 0.92 c	1436.22 ± 0.40 c
Etanólico	23.64 ± 0.68 d	1147.78 ± 0.56 e
Metanólico	38.95 ± 0.41 a	1769.07 ± 0.64 a
Acetónico	23.74 ± 0.54 d	1158.74 ± 0.80 d
Acuoso en ebullición	37.57 ± 0.97 b	1615.41 ± 0.45 b

Datos expresados como media \pm desviación estándar. Diferentes letras minúsculas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). EAC. Equivalentes de Ácido ascórbico.

6.2 Formulación de bacterias ácido lácticas con extracto de *H. sabdariffa*

6.2.1 Evaluación del efecto de diferentes extractos de *H. sabdariffa*, sobre la viabilidad de bacterias ácido lácticas

En la **Figura 7** se muestra los resultados de la prueba para evaluar el efecto de los diferentes extractos (acuoso, metanólico, etanólico y acetónico) sobre la viabilidad de las bacterias ácido lácticas: *Lacticaseibacillus paracasei* (L-20) y *Enterococcus lactis* (L-17, L-19, L-25). Se obtuvo que los extractos al 10 % (p/v) no presentaron ninguna actividad inhibitoria contra las bacterias evaluadas, ya que no hubo formación de halos de inhibición, todas las bacterias crecieron uniformemente (**Figura 7**).

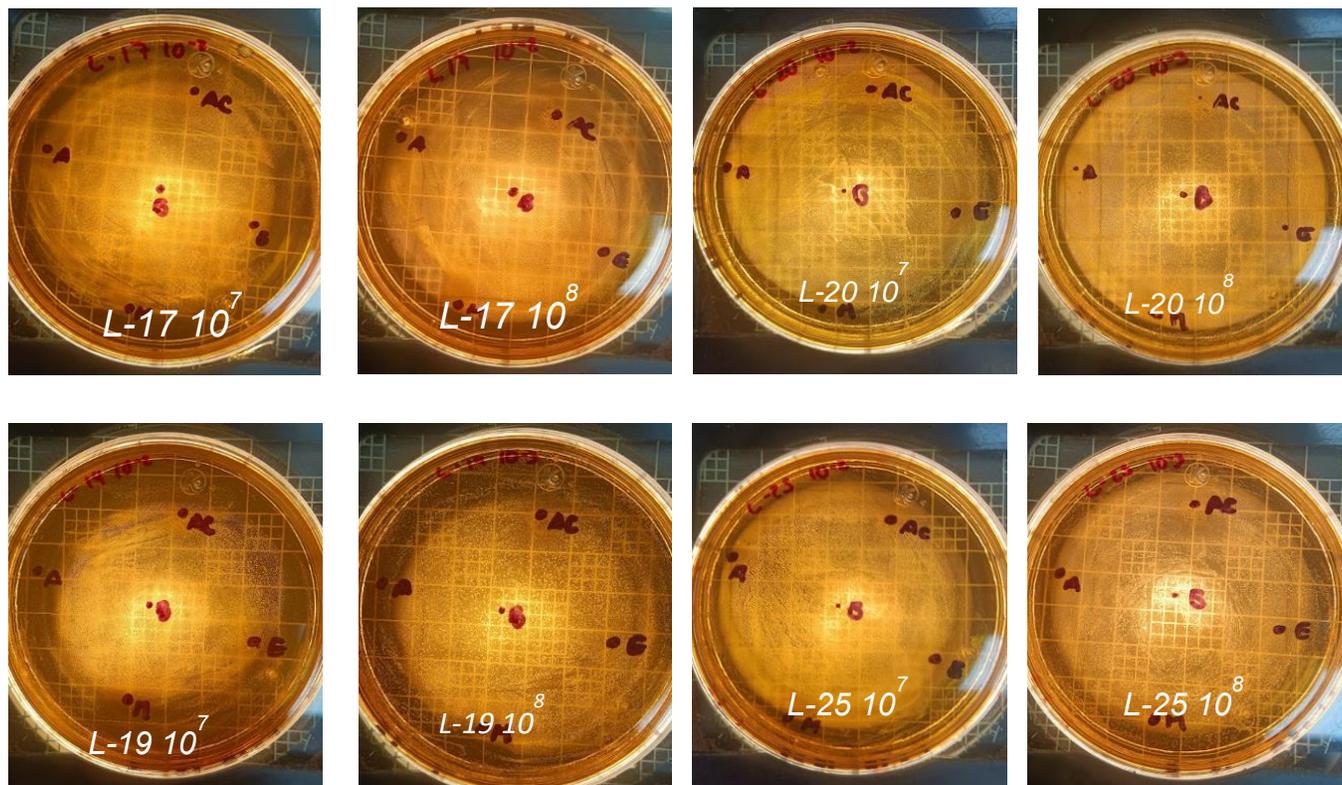


Figura 7. Evaluación de la actividad de extractos (acuoso, metanólico, etanólico y acetónico) sobre la viabilidad de bacterias ácido lácticas: *Lacticaseibacillus paracasei* (L-20) y *Enterococcus lactis* (L-17, L-19, L-25).

6.2.2 Evaluación de la viabilidad de las bacterias ácido lácticas a diferentes concentraciones (5 y 10 % p/v) de extracto metanólico de *H. sabdariffa* durante agitación (1 h)

En la **Tabla 14** se presentan los valores de la viabilidad de las diferentes bacterias a dos concentraciones (5 y 10% p/v) de extracto metanólico (extracto seleccionado de acuerdo a los altos valores de compuestos bioactivos), se obtuvo que a una concentración de 10% p/v ninguna de las bacterias presentó viabilidad, el contacto por una hora y la agitación son factores que no permiten la viabilidad de la bacteria a esta concentración; sin embargo, para la concentración de 5 % p/v la bacteria que presentó viabilidad fue *Enterococcus lactis* UAEH 25 (L-25) mientras que la bacteria *Enterococcus lactis* UAEH 19 (L-19) no presentó resistencia por lo tanto se descartó para siguientes pruebas.

Tabla 14. Viabilidad de las bacterias ácido lácticas a diferentes concentraciones (5 y 10 % p/v) de extracto metanólico de *H. sabdariffa* con agitación constante de 1 h.

Bacteria	Viabilidad (Log UFC/mL) 5 % p/v	Viabilidad (Log UFC/mL) 10 % p/v
<i>Enterococcus lactis</i> (L-17)	8.73 ±0.07 a	ND
<i>Enterococcus lactis</i> (L-19)	0	ND
<i>Lacticaseibacillus paracasei</i> (L-20)	8.79±0.03 a	ND
<i>Enterococcus lactis</i> (L-25)	8.99±0.04 b	ND

Datos expresados como media ± desviación estándar. Diferentes letras minúsculas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). ND: no se detectó.

6.2.3 Evaluación de la viabilidad de las bacterias ácido lácticas a diferentes pH del extracto metanólico 5% de *H. sabdariffa*

En la **Tabla 15** se muestra la evaluación de la viabilidad de las bacterias ácido lácticas a diferentes pH del extracto metanólico 5% de *H. sabdariffa*, las bacterias que exhiben un mayor crecimiento fueron *Enterococcus lactis* UAEH 25 (L-25) a pH 6 ($p < 0.05$).

Tabla 15. Viabilidad de las bacterias ácido lácticas a diferentes pH del extracto metanólico 5% de *H. sabdariffa*.

Bacteria	(Log UFC/mL) pH 4	(Log UFC/mL) pH 6
<i>Enterococcus lactis</i> (L-17)	8.67 ± 0.02 a	8.60 ± 0.01 a
<i>Lacticaseibacillus paracasei</i> (L-20)	8.53 ± 0.04 b	8.65 ± 0.11 a
<i>Enterococcus lactis</i> (L-25)	9.11 ± 0.02 c	9.14 ± 0.02 b

Datos expresados como media ± desviación estándar. Diferentes letras minúsculas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$).

Cuando el pH del entorno o medio MRS en el que se encuentran las bacterias ácido lácticas se desvía de su rango óptimo, entre 3.0-5.0, las bacterias ácido lácticas pueden presentar cambios significativos en su estructura y función (Madigan *et al.*, 2014). Estos cambios pueden impactar tanto en la integridad de la membrana como en el equilibrio energético de las células, promoviendo la desnaturalización de proteínas y alteraciones en la estructura de las macromoléculas, así como el colapso de gradientes de protones que afectan la producción de energía de la célula (Russell & Diez-Gonzalez, 2020). La desnaturalización de proteínas: los

cambios en el pH pueden modificar la ionización de los grupos funcionales de los aminoácidos e interrumpir los enlaces de hidrógeno, lo que a su vez promueve cambios en el plegamiento de las proteínas, llevando a su desnaturalización y pérdida de actividad. Efectos en la estructura de las macromoléculas: un pH extremadamente bajo puede afectar la estructura de todas las macromoléculas en la célula (Prescott *et al.*, 2002). Producción de energía: la fuerza motriz protónica responsable de la producción de ATP en la respiración celular depende del gradiente de concentración de H⁺ a través de la membrana plasmática. Si los iones H⁺ son neutralizados por iones hidróxido, el gradiente de concentración colapsa y perjudica la producción de energía (Prescott *et al.*, 2002).

6.2.4 Actividad antioxidante por el método ABTS y DPPH de extracto metanólico 5% de *H. sabdariffa* a diferente pH

En la **Tabla 16** se presenta la evaluación de la actividad antioxidante de los extractos metanólicos ajustados a diferentes valores de pH (4 y 6). Al analizar los resultados, se observó que a medida que el pH aumenta, la capacidad antioxidante de la jamaica (*H. sabdariffa*) disminuye. Muchos antioxidantes son más efectivos en ambientes ácidos (pH bajo) porque su estructura química se mantiene estable (Benítez *et al.*, 2020). A medida que el pH aumenta, estos antioxidantes pueden descomponerse o modificar su estructura, perder protones (H⁺), lo que puede alterar su capacidad para donar electrones y neutralizar radicales libres (Escorza *et al.*, 2009).

Tabla 16. Actividad antioxidante de método ABTS y DPPH de extracto metanólico al 5% ajustado a pH 4 y 6.

Extracto metanólico 5% (p/v)	ABTS Porcentaje de inhibición (%)	ABTS mg Etrolox/100 g	DPPH Porcentaje de inhibición (%)	DPPH mg EAC/100 g
pH 4	97.26±0.75 a	26.54±0.25 a	81.90 ± 0.82 a	16.89 ± 0.82 a
pH 6	89.18 ± 0.75 b	23.93 ± 0.25 b	80.48 ± 0.82 a	21.65 ± 0.82 b

Datos expresados como media ± desviación estándar. Diferentes letras minúsculas en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas (p<0.05). Etrolox: Equivalentes de Trolox; EAC: Equivalentes de Ácido ascórbico.

6.2.5 Estudio preliminar para la microencapsulación de L25 con extracto metanólico 5% (p/v) y pH 4 de *H. sabdariffa*

En la **Tabla 17** se muestra la viabilidad de la bacteria L-25 antes y después del secado por aspersión, con lo cual se puede determinar que la bacteria sobrevive a las condiciones de secado y de pH 4, al igual a los tiempos en contacto con el extracto durante el proceso de secado.

Tabla 17. Viabilidad de bacteria ácido láctica (L-25) encapsulada en disolución *H. sabdariffa* 5% (p/v) y pH 4.

Bacteria	Antes de proceso de microencapsulación Log UFC/mL	Después de proceso de microencapsulación Log UFC/g
<i>Enterococcus lactis</i> (L-25)	8.20 ± 0.03	8.26 ± 0.04

Datos expresados como media ± desviación estándar.

6.2.6 Morfología de las microcápsulas con bacterias ácido lácticas (estudio preliminar)

En la siguiente (**Figura 8**) se muestra la imagen de las microcápsulas a través de un microscopio electrónico de barrido (SEM) del estudio preliminar con 30 % de sólidos utilizando N-lok como material pared, a una concentración de 5% de extracto metanólico y un pH de 4. Las microcápsulas aparecen como estructuras irregulares con texturas superficiales variadas, algunas lisas y otras con indentaciones o protuberancias. Navidad-Murrieta *et al.* (2020), mencionan que la formación de concavidades en la superficie de las partículas atomizadas puede contribuir a una contracción durante el secado. La formación de arrugas se produce debido a la lenta formación de una película de cobertura cuando se atomizan las gotas, influenciada principalmente por la temperatura de secado Zárate *et al.* (2021). Además, no se presenta evidencia de bacterias en el exterior por lo que hace del proceso de secado eficiente.

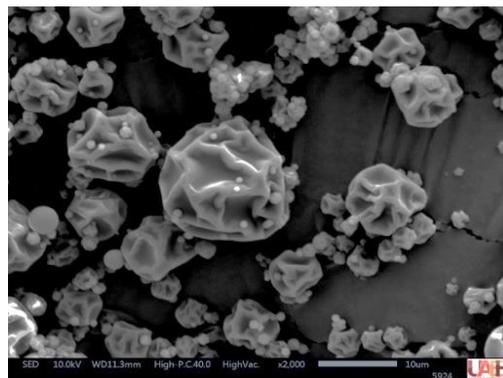


Figura 8. Microencapsulados con 30 % N-lok y 5% de extracto metanólico a un pH de 4.

Con base a los resultados obtenidos en los preliminares se propuso un diseño de experimentos con variables independientes el pH del extracto metanólico de jamaica (3-6) y los sólidos del material pared (**Tabla 8**).

6.3 Proceso de microencapsulación

6.3.1 Análisis estadístico del diseño central compuesto

En la **Tabla 18** se muestran los coeficientes estimados del modelo ajustado y nivel de significancia para las variables respuestas: viabilidad de la bacteria L-25 (%), eficiencia de microencapsulación en función de los compuestos fenólicos totales (%), rendimiento (%), capacidad antioxidante métodos ABTS y DPPH (porcentaje de inhibición %) y actividad de agua en microencapsulados con extracto de jamaica con la bacteria L-25.

6.3.2 Efecto del pH y contenido de sólidos sobre la viabilidad (%) de la bacteria *Enterococcus lactis* (L-25)

Para la viabilidad (%) de la bacteria *Enterococcus lactis* (L-25) después del proceso de encapsulación, el análisis de varianza mostró para el modelo de regresión un valor de $R^2 \geq 0.9185$, un coeficiente de variación de 0.81 y un valor de $p < 0.0001$. De acuerdo a la **Tabla 16**, el pH del extracto de jamaica y los sólidos totales usados en el proceso de la microencapsulación, presentaron efecto significativo en todos sus términos lineales (b_1 y b_2), cuadráticos (b_{11} , b_{22}) e interacción (b_{12}) ($p < 0.05$). En la **Figura 9**, se muestra la superficie respuesta del efecto del pH del extracto y los sólidos totales del material pared, sobre la viabilidad (%) de las bacterias. Se observó que conforme se incrementó el pH del extracto se incrementó la viabilidad (%) de la bacteria *Enterococcus lactis* (L-25). A mayor concentración de sólidos totales, se presentó la mayor viabilidad (%), esto podría estar relacionado con mayor protección para las células durante el secado.

Tabla 18. Los coeficientes estimados del modelo ajustado y nivel de significancia para las variables respuestas.

Respuesta	Intercepto	Lineal		Interacción	Cuadrático	
		b ₀	b ₁		b ₂	b ₁₂
Viabilidad (%) de la bacteria <i>Enterococcus lactis</i> (L-25). R ² =0.9185, CV=0.81, p< 0.0001	100	2.18 (< 0.0001)	1.91 (< 0.0001)	-1.44 (< 0.0001)	-1.12 (< 0.0001)	-1.54 ((< 0.0001)
Eficiencia de encapsulación (EE%) R ² =0.4958, CV=5.41, p< 0.0021	84.32	1.90 (0.0595)	-2.07 (0.0319)	2.56 (0.0637)	-2.07 (0.0678)	-3.31 (0.0038)
Rendimiento (%) R ² =0.5391, CV=8.78, p< 0.0003	93.72	-5.12 (0.0087)	4.29 (0.0181)	-2.60 (0.3178)	-7.70 (0.0003)	2.81 (0.1285)
Capacidad antioxidante - ABTS (Porcentaje de Inhibición %) R ² =0.6098, CV=9.63, p<0.0001	70.30	-4.05 (0.0142)	-8.60 (<0.0001)	3.09 (0.1664)	-1.02 (0.5298)	1.26 (0.4116)
Capacidad antioxidante - DPPH (Porcentaje de Inhibición %) R ² =0.6213, CV=33.52, p<0.0001	16.79	3.59 (0.0722)	-0.26 (0.8859)	-10.95 (0.0002)	6.50 (0.0030)	8.66 (< 0.0001)
Actividad de agua (a _w) R ² =0.4483, CV=3.62, p<0.0017	0.36	+4.155E-003 (0.1485)	+4.548E-003 (0.0961)	+4.548E-003 (0.1750)	-9.199E-003 (0.0038)	-8.155E-003 (0.0065)
Humedad (%) R ² =0.3418, CV=10.04, p<0.0187	5.97	-0.38 (0.0052)	-0.073 (0.5502)	+0.16 (0.3757)	-0.19 (0.1689)	-0.27 (0.0407)

b₁: pH del extracto de jamaica y b₂: sólidos totales de material pared. CV=Coeficiente de Variación (%), p= p-value del modelo. Letras en negritas indican efecto significativo con valor de p<0.05

Se obtuvieron valores de viabilidad de la bacteria altos (90-98%) con concentraciones de 8.1 a 9.7 UFC/g de polvo encapsulado. De acuerdo con la FAO/WHO (2002), para que los microorganismos probióticos tengan un efecto beneficioso sobre la salud, la concentración recomendada de células viables es $>10^6$ - 10^8 CFU/g o 10^8 - 10^{10} CFU/día en el producto en el tiempo de consumo (Champagne *et al.*, 2011). Por lo tanto, los resultados obtenidos en los polvos con microencapsulados, tienen alto potencial para ser consumidos y cumplir con la concentración recomendable.

Resultados similares fueron obtenidos por Hernández-López *et al.* (2018), indicaron que la optimización del proceso de secado por atomización permitió obtener cápsulas con una alta viabilidad de *Lactobacillus pentosus*, alcanzando niveles óptimos de UFC/g tras el proceso, la concentración se mantuvo en 9 log UFC/g hasta el final del almacenamiento (12 semanas), con el uso de una mezcla de almidón y pulque como material de pared. Cabrera-Canales *et al.* (2023) evaluaron el desarrollo y la aplicación de almidones gelatinizados como materiales de pared para la microencapsulación de *Lacticaseibacillus paracasei*, en este estudio se evaluó la viabilidad de los microorganismos bajo condiciones específicas de pH y temperatura, así como su estabilidad durante el almacenamiento y procesamiento. Los resultados mostraron que todos los almidones evaluados y modificados fueron adecuados como materiales de pared para la microencapsulación de altas concentraciones de *Lacticaseibacillus paracasei* (superiores a 9 Log UFC/g). Cortés *et al.* (2014) evaluó la eficacia del almidón de amaranto modificado como material de cubierta para la encapsulación de probióticos, analizando su viabilidad, estabilidad y las propiedades fisicoquímicas del almidón obtuvo que la mejor viabilidad para *L. casei* ATCC 334, se obtuvo a 4°C durante 35 días de almacenamiento y a una a_w de 0,355 con almidones de amaranto succinatado y almidón de maíz control, por lo que todo lo anterior evidencia al almidón modificado como un excelente material pared, para la encapsulación de bacterias probióticas.

Design-Expert® Software

Viabilidad (%)

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

100

91.6021

X1 = A: pH

X2 = B: Sólidos

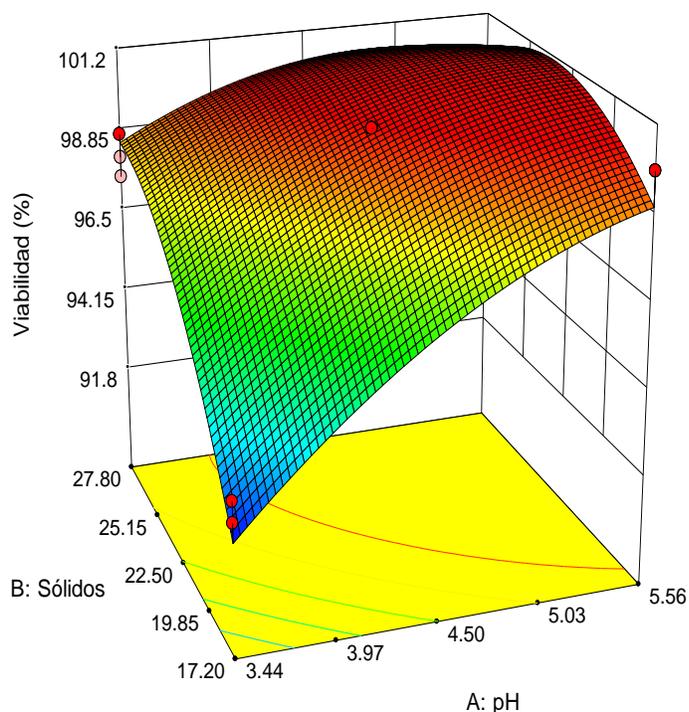


Figura 9. Efecto del pH del extracto de jamaica y contenido de sólidos del material pared, sobre la viabilidad (%) de la bacteria *Enterococcus lactis* (L-25), después del proceso de encapsulación por secado por aspersión.

6.3.3 Efecto del pH y contenido de sólidos sobre la eficiencia de encapsulación (EE%)

Para la eficiencia de encapsulación (EE%) calculada a partir de los fenoles totales y superficiales después del proceso de encapsulación, el análisis de varianza mostró un modelo de regresión de $R^2 \geq 0.4958$, un coeficiente de variación de 5.41 y un valor de $p < 0.0021$. De acuerdo a la **Tabla 16**, el pH del extracto de jamaica y los sólidos del material pared usados en la microencapsulación, presentaron efecto significativo en sus términos lineal (b_1) y del cuadrático (b_{22}) ($p < 0.05$). En la **Figura 10**, se muestra la superficie respuesta del efecto del pH del extracto y los sólidos totales del material pared sobre la (EE%). Se observó que pH del extracto con valores intermedios de 4.5 a 5.0, se

obtuvo las mayores EE%. Con respecto a los sólidos totales del material utilizado, se observó que a menores sólidos totales la EE% incrementó. El contenido de sólidos puede determinar la retención de compuestos volátiles durante el secado, a valores bajos incrementa la retención, debido a una reducción del tiempo necesario para formar una membrana semipermeable en la superficie de la partícula al secarse. La mayoría de los estudios sugieren que debe de usarse la concentración de sólidos más alta posible, mientras que otros trabajos sugieren que existe un contenido de sólidos óptimo para cada sistema de soportes (Bringas *et al.*, 2012). Archundia-Sánchez (2022), menciona que la microencapsulación se considera una técnica especial para proteger compuestos químicos "lábil" contra ambientes dañinos como temperatura, humedad, radiación y microorganismos, entre otros. La pérdida de compuestos fenólicos durante el secado por aspersión debe a la exposición al oxígeno y a las altas temperaturas, que provocan la descomposición y polimerización (Saavedra & Távara, 2017). Gómez-Aldapa *et al.* (2019), estudiaron el uso de almidón modificado de achira como material de pared para encapsular extracto de *H. sabdariffa*, estos autores reportaron que una concentración de sólidos de 14,27 %, la temperatura de secado (105 °C), se obtuvo la eficiencia de microencapsulación más alta (68,56%), sin embargo, en esta investigación se obtuvieron valores mayores al 80% de EE. Gharsallaoui *et al.* (2007), mencionan que la eficiencia de microencapsulación se puede aumentar, al aumentar la solución de pared, y con respecto a las altas temperaturas de entrada de aire, (temperaturas > 160 y 180 °C) causaron mayores pérdidas de antocianinas debido al calor elevado, lo cual compromete su estabilidad y eficacia en aplicaciones alimentarias o farmacéuticas.

EE (%)

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

89.0195

69.6083

X1 = A: pH

X2 = B: Sólidos

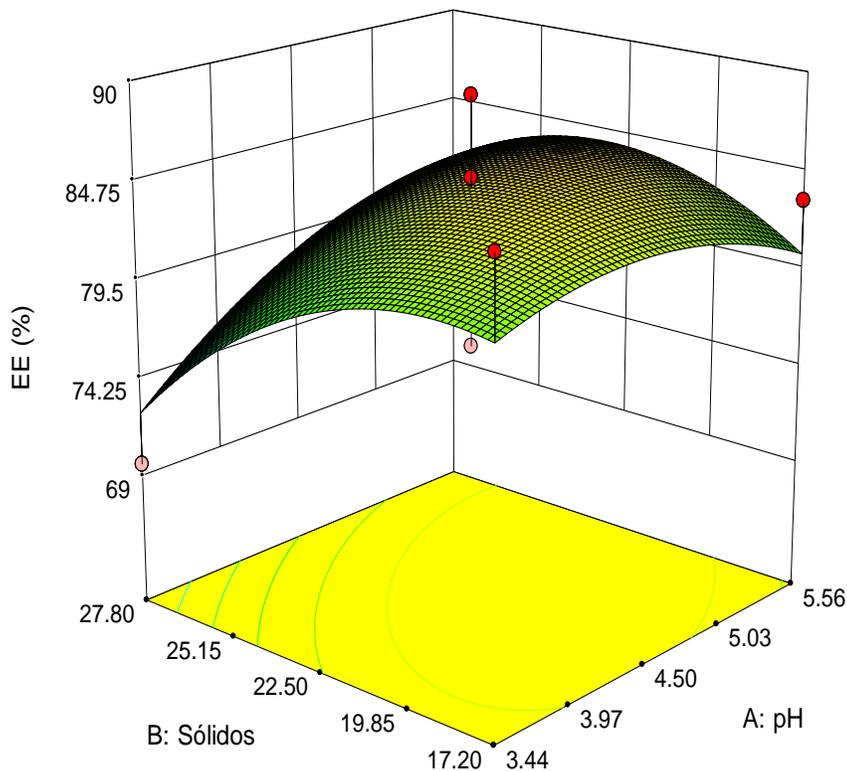


Figura 10. Efecto del pH del extracto de jamaica y contenido de sólidos del material pared, sobre la eficiencia de encapsulación (EE%), después del proceso de encapsulación por secado por aspersión.

6.3.4 Efecto del pH y contenido de sólidos sobre el rendimiento (%)

Para el rendimiento (%) el análisis de varianza mostró para el modelo de regresión un valor de $R^2 \geq 0.5391$, un coeficiente de variación de 8.78 y un valor de $p < 0.0003$. De acuerdo a la **Tabla 18**, el pH del extracto de jamaica y los sólidos del material pared usados en la microencapsulación, presentaron efecto significativo en sus términos lineal (b_1 y b_2) y del pH en su término cuadrático (b_{11}) ($p < 0.05$). En la **Figura 11**, se muestra la

superficie respuesta del efecto del pH del extracto y los sólidos totales del material pared. Con respecto a la EE%, se observó que a mayores sólidos totales del material de pared utilizado, se tuvo un mayor rendimiento de encapsulación. Ya que se obtuvieron valores de rendimiento de encapsulación por secado por aspersión de 69.3 a 92.6%.

Las propiedades de los materiales de las paredes y del núcleo, así como las propiedades de la emulsión y los parámetros de secado son factores que pueden afectar el rendimiento de la microencapsulación. Para encontrar el valor óptimo de los sólidos totales en la encapsulación debe considerarse que, la adición de más soporte puede sobrepasar su solubilidad aun cuando sea posible bombear y atomizar esta matriz con alto contenido, el soporte sin disolver no proporciona ningún efecto encapsulante efectivo durante el secado, la segunda consideración está relacionada con la viscosidad pues altas viscosidades retrasan la formación de la partícula durante la atomización, lo que favorece la pérdida de compuestos volátiles durante el proceso (Reineccius, 2004).

Rendimiento (%)

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

100

56.3291

X1 = A: pH

X2 = B: Sólidos

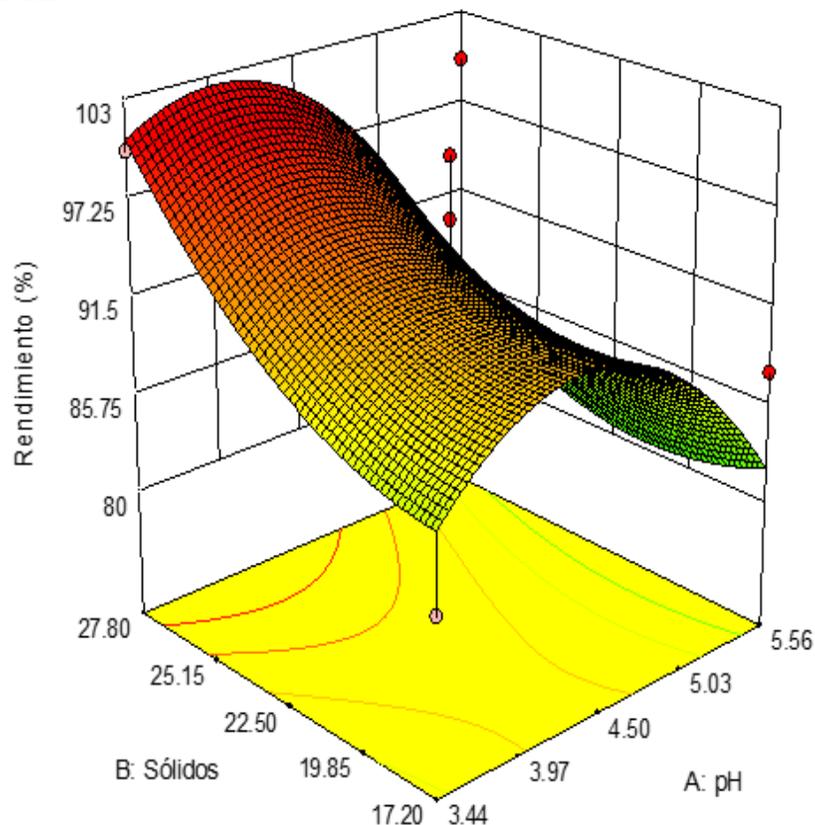


Figura 11. Efecto del pH del extracto de jamaica y contenido de sólidos del material pared, sobre el rendimiento (%), después del proceso de encapsulación por secado por aspersión.

6.3.5 Efecto del pH y contenido de sólidos sobre capacidad antioxidante con el método ABTS

Para la capacidad antioxidante (porcentaje de inhibición del radical ABTS) el análisis de varianza mostró para el modelo de regresión un valor de $R^2 \geq 0.6098$, un coeficiente de variación de 9.63 y un valor de $p < 0.0001$. De acuerdo a la **Tabla 18**, el pH del extracto de jamaica y los sólidos del material pared usados en la microencapsulación, presentaron efecto significativo en sus términos lineales (b_1 y b_2) ($p < 0.05$). En la **Figura**

12, se muestra la superficie respuesta del efecto del pH del extracto y los sólidos totales del material pared, sobre el porcentaje de inhibición del radical ABTS. Se observó que, a menores sólidos totales del material de pared utilizado, se obtuvo un mayor porcentaje de inhibición del radical ABTS (%). Y con respecto al pH que, a valores de intermedios a bajos, se obtuvieron los resultados más altos. Se obtuvieron valores de porcentaje de inhibición del radical ABTS después del secado por aspersión de 51.9 % a 89.9 %. La actividad antioxidante depende de la estabilidad oxidativa del portador a que la extinción de los radicales libres es, en última instancia, un reflejo de la capacidad de transferencia de electrones, a un pH bajo aumenta la concentración de iones H⁺ y la capacidad antioxidante debido a una mayor capacidad de extracción y estabilidad de los componentes de la planta (Dawidowicz & Olszowy, 2011).

Romo *et al.* (2024) realizaron la microencapsulación de compuestos bioactivos de la flor de jamaica en suero de leche y su aplicación en yogurt, los resultados para ABTS fueron 36.62%. Rezvankhah *et al.* (2020), los autores realizaron diversas técnicas de secado, como la atomización y la liofilización, para la encapsulación, prepararon un yogurt estandarizado con extracto metanólico de flor de jamaica, obtuvieron un valor de 33.33 % inhibición de ABTS, los valores anteriores comparados con los obtenidos en este trabajo fueron menores, debido a que en este proyecto se obtuvieron valores de 51.9% a 89.9% de capacidad antioxidante.

ABTS (Inhibición %)

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

89.8734

50.6329

X1 = A: pH

X2 = B: Sólidos

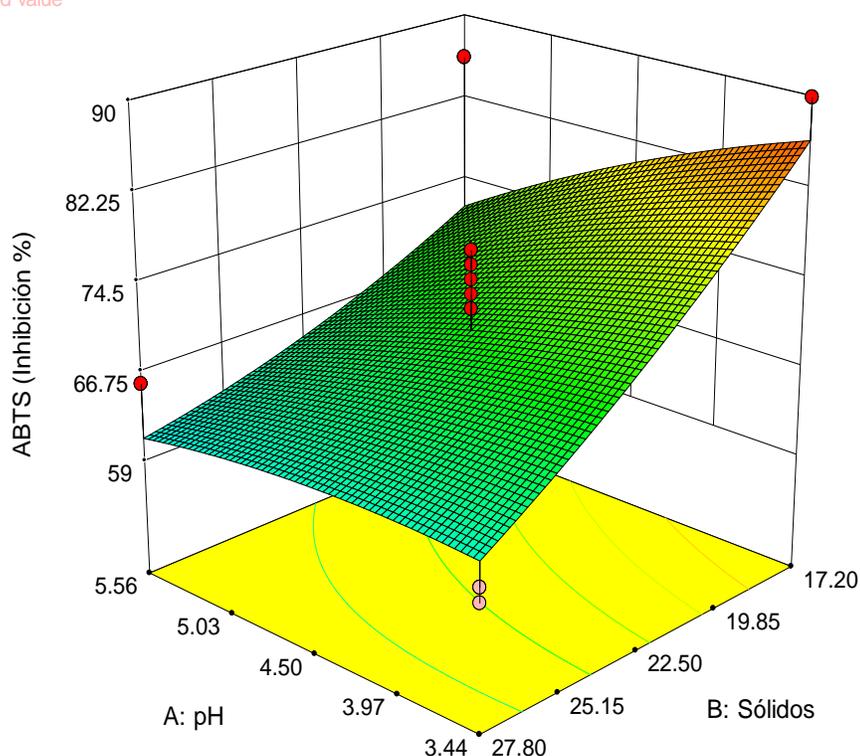


Figura 12. Efecto del pH del extracto de jamaica y contenido de sólidos del material pared, sobre la capacidad antioxidante (porcentaje de inhibición del radical ABTS).

6.3.6 Efecto del pH y contenido de sólidos sobre capacidad antioxidante con el método DPPH

Para la capacidad antioxidante (porcentaje de inhibición del radical DPPH) el análisis de varianza mostró para el modelo de regresión un valor de $R^2 \geq 0.6213$, un coeficiente de variación de 33.52 y un valor de $p < 0.0001$. De acuerdo a la **Tabla 18**, la interacción del pH del extracto de jamaica y los sólidos del material pared usados en la microencapsulación, prestaron efecto significativo en su término lineal (b_{12}) ($p < 0.05$). En la **Figura 13**, se muestra la superficie respuesta del efecto del pH del extracto y los sólidos totales del material pared, sobre el porcentaje de inhibición del radical DPPH. Se observó

que, a menores sólidos totales del material de pared utilizado, se obtuvo un mayor porcentaje de inhibición del radical DPPH. Y con respecto al pH que, a valores de intermedios a altos, se obtuvieron los resultados con el mayor porcentaje de inhibición (%). Además se obtuvieron valores de porcentaje de inhibición del radical DPPH después del secado por aspersión de 7.17 a 48.52%. Campo-Fernández *et al.* (2021), evaluaron la microencapsulación mediante secado por aspersión a partir de un extracto de los cálices de *H. sabdariffa* L” donde obtuvieron resultados de DPPH de 25.9 ±1% porcentaje de inhibición utilizando una mezcla de goma arábica y maltodextrina como material pared y una mezcla agua: etanol (80:20) para la obtención de extractos a pH 2.70. Concluyeron que el pH puede influir en la estructura y su estabilidad antioxidante de las antocianinas. Cuando los valores de pH en disoluciones inferiores a 2, se favorece la forma estructural más estable (catión flavilio), apreciándose el color rojo intenso. Sin embargo, a valores de pH superiores a 7, se presentan las formas quinoidales, que se degradan rápidamente por oxidación (Hutchings, 2011). Báez-García *et al.* (2020), evaluaron los compuestos fenólicos presentes en aderezos instantáneos de jamaica ‘criolla’ por medio de microencapsulación, permitiendo conservar su estabilidad durante el almacenamiento, manteniendo su actividad antioxidante y mejorando su bioaccesibilidad, obteniendo un porcentaje de inhibición de DPPH de 59.20 ± 0.98 % y 56.34 ± 0.73 % utilizando goma arábica y maltodextrina como material pared.

Archundia-Sánchez (2022), realizó la evaluación del almidón de maíz doblemente modificado como agente encapsulante del extracto de *H. sabdariffa*, utilizando extracto acuoso al 10%, donde obtuvo un valor de 39% de inhibición. Comparado con los valores obtenidos en este experimento del extracto metanólico 10%, muestra valores mayores de 48.52% para la inhibición de radicales

Design-Expert® Software

DPPH (Inhibición %)

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

49.3671

6.32911

X1 = A: pH

X2 = B: Sólidos

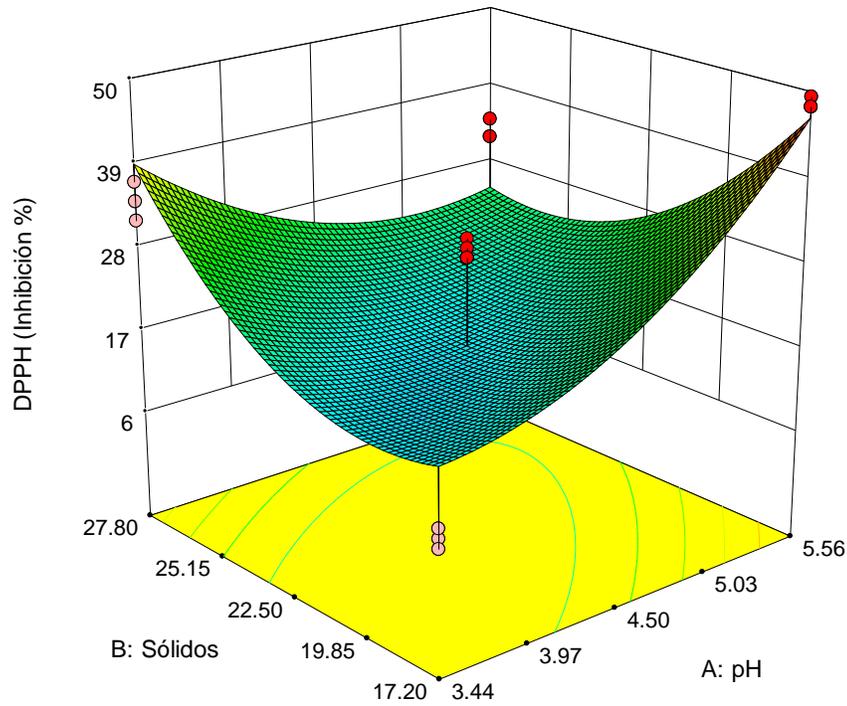


Figura 13. Efecto del pH del extracto de jamaica y contenido de sólidos del material pared, sobre la capacidad antioxidante (porcentaje de inhibición del radical DPPH).

6.3.7 Efecto del pH y contenido de sólidos sobre la actividad de agua (a_w)

Para la actividad del agua el análisis de varianza mostró para el modelo de regresión de $R^2 \geq 0.4483$, un coeficiente de variación de 3.62 y un valor de $p < 0.0017$. De acuerdo a la **Tabla 18**, En sus términos cuadráticos el pH del extracto de jamaica y los sólidos del material pared usados en la microencapsulación, prestaron efecto significativo (b_{11}, b_{22}) ($p < 0.05$). En la **Figura 14**, se muestra la superficie respuesta del efecto del pH del extracto y los sólidos totales del material pared, sobre la actividad de agua. Se observó que, a menores sólidos totales del material de pared utilizado, se obtuvo una menor actividad de agua. Con respecto al pH que, a valores menores, la actividad de agua disminuyó. Se obtuvieron valores de la actividad de agua después del secado por

aspersión de 0.3 a 0.4. La actividad de agua (a_w), disminuye con el incremento de la temperatura del aire de entrada, lo que provoca una transferencia de calor más rápida para la eliminación del agua, los productos que se obtienen del proceso de secado por aspersión tienen una baja actividad de agua y son muy estables frente a factores físicos y microbiológicos (Koh *et al.*, 2022). Se recomienda una a_w para materiales microencapsulados por secado por aspersión entre 0.3 a 0.5, ya que por encima de los 0.60 los alimentos tienen mayor riesgo de contaminarse con bacterias, mohos y levaduras (Gámez *et al.*, 2023). En el estudio de Selim *et al.* (2022), se evaluó la estabilidad de los pigmentos de *H. sabdariffa* encapsulados a diferentes niveles de actividad acuosa (a_w). Los resultados mostraron que los encapsulados en maltodextrina DE 20 fueron los más efectivos para estabilizar las antocianinas, con una vida media de las antocianinas de 433.1 días a una a_w de 0.43

aw

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value



X1 = A: pH

X2 = B: Sólidos

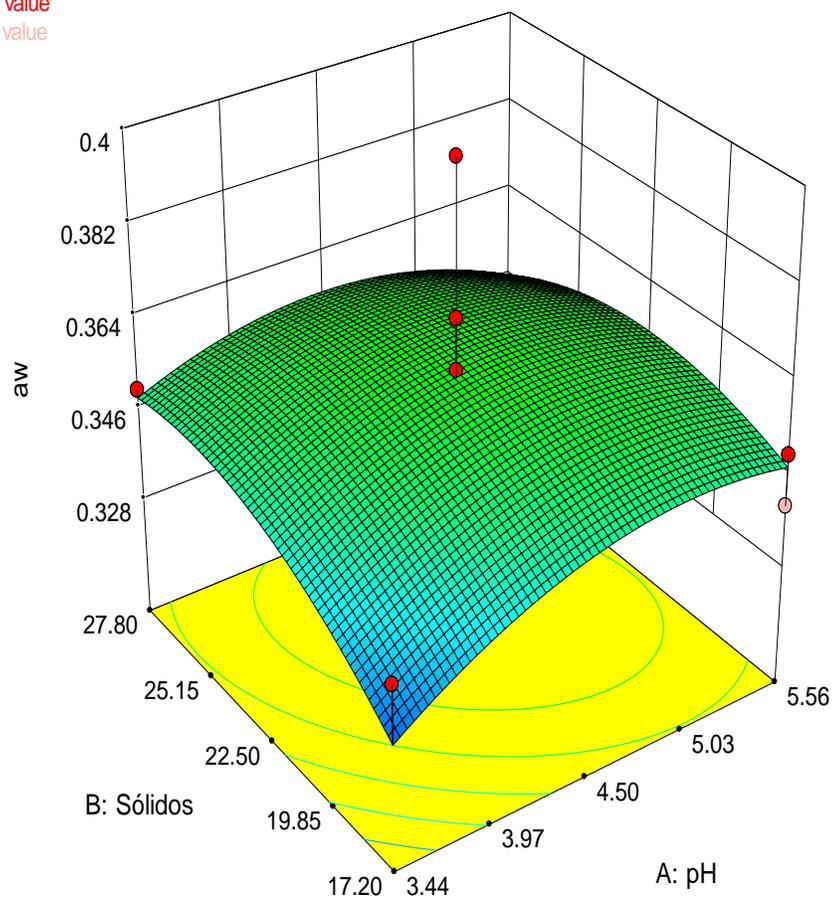


Figura 14. Efecto del pH del extracto de jamaica y contenido de sólidos del material pared, sobre la actividad de agua (a_w) en encapsulados.

6.3.7 Efecto del pH y contenido de sólidos sobre la humedad (%)

Para la humedad de los encapsulados el análisis de varianza mostró para el modelo de regresión un valor de $R^2 \geq 0.3418$, un coeficiente de variación de 10.04 y un valor de $p < 0.0187$. De acuerdo a la **Tabla 18**, En sus términos cuadráticos el pH del extracto de jamaica, presentó efecto significativo en su término lineal (b_1) y los sólidos del material pared utilizado en su término cuadrático (b_{22}) ($p < 0.05$). En la **Figura 15**, se muestra la superficie respuesta del efecto del pH del extracto y los sólidos totales del material pared, sobre la a_w . Se observó que, a menores sólidos totales del material de

pared utilizado, se obtuvo una menor humedad en los encapsulados. Se obtuvieron valores de humedad (%) después del secado por aspersión de 4.4 a 6.2. El pH y el contenido de sólidos afectan significativamente el porcentaje de humedad en microencapsulados de extractos de jamaica. Un pH ácido favorece la estabilidad del catión flavilio en las antocianinas, que a su vez impacta la retención de humedad en el microencapsulado (Millinia *et al.*, 2024). Albacete & Rodríguez (2013), menciona que la humedad es una propiedad importante del polvo, relacionada con la eficiencia del secado, la fluidez del polvo, la pegajosidad y la estabilidad durante el almacenamiento. Además, un menor contenido de humedad limita la capacidad de la a_w como plastificante y reduce la temperatura de transición vítrea (Vellido, 2015). Durante el proceso de secado por aspersión, la alta temperatura acelera dramáticamente la tasa de eliminación de humedad, lo que da como resultado la superficie rugosa de la microesfera, liberando una porción de los químicos activos y causando su deterioro, normalmente los productos secados por aspersión tienen un contenido de humedad inferior al 5% (Rios-Aguirre, 2021).

Millinia *et al.* (2024), evaluó la microencapsulación de antocianinas extraídas de *H. sabdariffa* L. (jamaica) mediante secado por atomización. Utilizaron matrices de maltodextrina y combinaciones con trehalosa para optimizar la estabilidad del polvo encapsulado. La humedad de los microencapsulados de antocianinas de jamaica osciló entre el 3-5%, influenciada por el tipo de matriz utilizada y las condiciones de secado, lo que impacta en la estabilidad del producto final. González-Palomares *et al.* (2009), evaluó el impacto de la temperatura de secado por aspersión sobre el contenido de humedad en extractos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). A diferentes temperaturas el porcentaje de humedad en los microencapsulados se redujo significativamente al aumentar la temperatura de secado, manteniendo niveles de humedad inferiores al 5% en condiciones óptimas de aspersión. Nguyen *et al.* (2022), evaluaron los valores específicos de humedad en polvos de antocianinas encapsuladas en condiciones variables. Los porcentajes de humedad se situaron entre 5.28% y 16.38%, variando según el tipo de pared usada y las condiciones ambientales. Los encapsulados con paredes de levadura mostraron menor contenido de humedad en condiciones controladas, lo que les dio mejor estabilidad frente a la oxidación y degradación por

humedad en comparación con aquellos con paredes de maltodextrina. Los datos obtenidos en este experimento a comparación con los autores antes citados son mayores y en algunos están dentro del promedio esta variación podría deberse al material pared condiciones de microencapsulación y porcentajes de sólidos utilizados.

Design-Expert® Software

Humedad (%)

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

6.69

4.38

X1 = A: pH

X2 = B: Sólidos

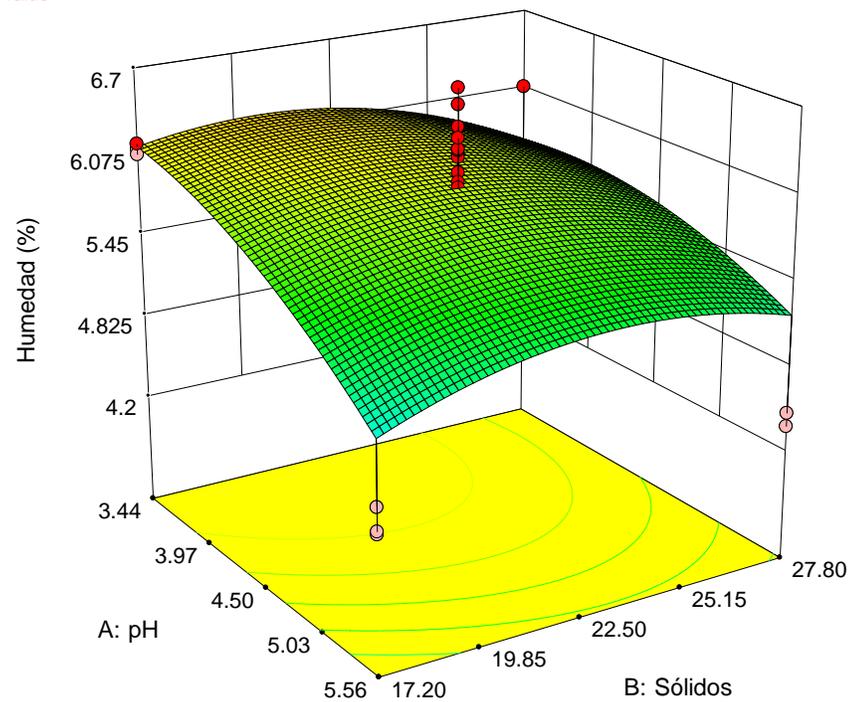


Figura 15. Efecto del pH del extracto de jamaica y contenido de sólidos del material pared, sobre la humedad (%) en encapsulados.

6.4 Optimización del proceso de microencapsulación en software y validación experimental

De acuerdo a las variables dependientes evaluadas el proceso se optimizó considerando los valores más altos para la eficiencia de encapsulación (EE%), viabilidad de la bacteria ácido láctica (L-25), rendimiento (%) la alta actividad antioxidante por

ambos métodos ABTS y DPPH, y bajo contenido de actividad de agua (a_w) y humedad (%). De acuerdo a los resultados del software se obtuvo que: a **pH 5.33 y un contenido de sólidos de 17.20** (base seca) de material de pared, se obtuvieron los valores más altos para las variables mencionadas con una Desirability de 0.70.

En la **Tabla 19** se muestran los valores obtenidos por el software y optimización numérica y los resultados de la validación experimental. En la **Figura 16**, se muestra la optimización gráfica.

Tabla 19. Valores obtenidos para la optimización del proceso de encapsulación de extracto metanólico de *H. sabdariffa* con bacteria ácido láctica (L-25).

	Viabilidad de la bacteria (%)	Eficiencia de Encapsulación (%)	Rendimiento (%)	ABTS (Porcentaje de inhibición%)	DPPH (Porcentaje de inhibición %)
Software	98.70	81.29	85.53	73.92	41.10
Experimental	96.64	82.93	84.30	89.32	50.06

Design-Expert® Software

Overlay Plot

Rendimiento (%)
EE (%)
DPPH (Inhibición %)
ABTS (Inhibición %)
aw
Viabilidad (%)
● Design Points

X1 = A: pH
X2 = B: Sólidos

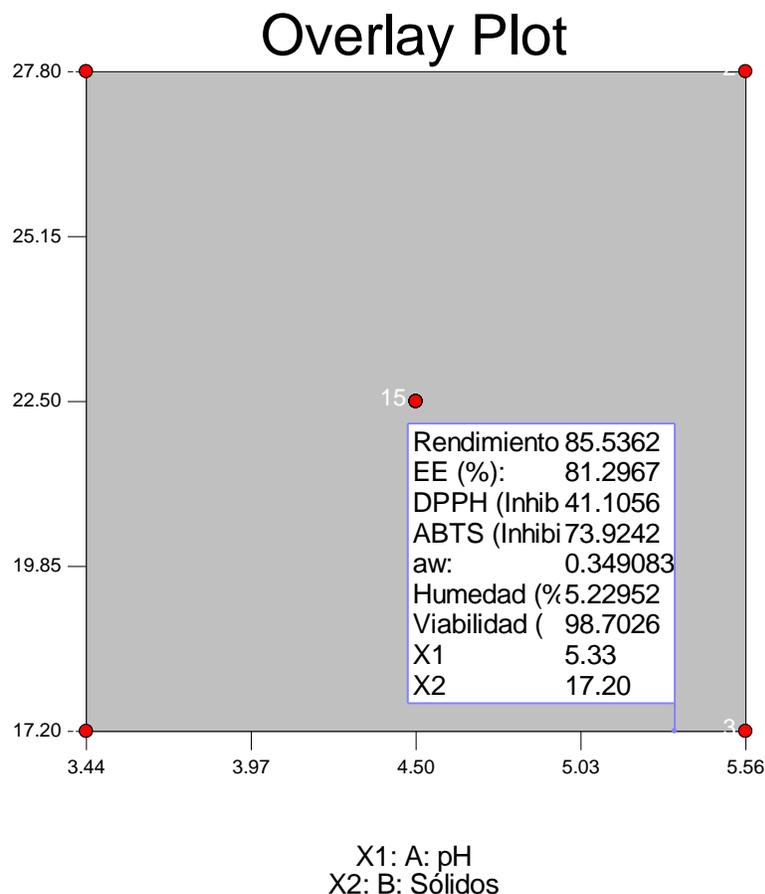


Figura 16 Optimización gráfica de la microencapsulación de extracto metanólico de *H. sabdariffa* con *Enterococcus lactis* (L-25).

6.4.1 Morfología de microcápsulas obtenidas bajo el proceso optimizado

Durante el proceso de secado las microcápsulas sufren una serie de cambios en su forma y tamaño, que usualmente se encuentran asociados al contenido de humedad del material a secar y de la temperatura de secado durante la operación. En la **Figura 17** se muestran las microcápsulas del tratamiento óptimo, se observó que las microcápsulas son de forma irregular con superficie rugosa de tamaño variado de 3 a 5 micras. La microestructura de una microcápsula influye en las características físicas y funcionalidad, dispersabilidad y capacidad de flujo libre (Pérez *et al.*, 2013). Archundia & Sánchez (2022), realizó la evaluación del almidón de maíz doblemente modificado como agente encapsulante del extracto de *H. sabdariffa*, obtuvo cápsulas con forma redonda, ovalada,

irregular y la presencia de algunos aglomerados. Cabrera-Canales *et al.* (2023) obtuvo microcápsulas con cavidades en la superficie debido a la rápida evaporación en el secador, con morfología irregular y encogidas, características en polvos con microencapsulados obtenidos por secado por aspersion. Mendoza (2023), evaluó el efecto de la modificación térmica del almidón en la estabilidad de antocianinas microencapsuladas obtenidas del extracto acuoso de *H. sabdariffa*. Observo la formación de estructuras esféricas y la aglomeración de gránulos de almidón formados durante el proceso de aspersion, con la formación de concavidades de distintos tamaños y en diferentes zonas dando una apariencia rugosa en la esfera. Hernández-López *et al.* (2018), microencapsuló *Lactobacillus pentosus*, utilizaron como material pared almidón-pulque, las microcápsulas obtenidas presentaron una superficie rugosa y esférica, lo que sugiere una distribución uniforme del material de pared, esta estructura es crucial para asegurar la viabilidad del probiótico y su liberación controlada en aplicaciones alimentarias.

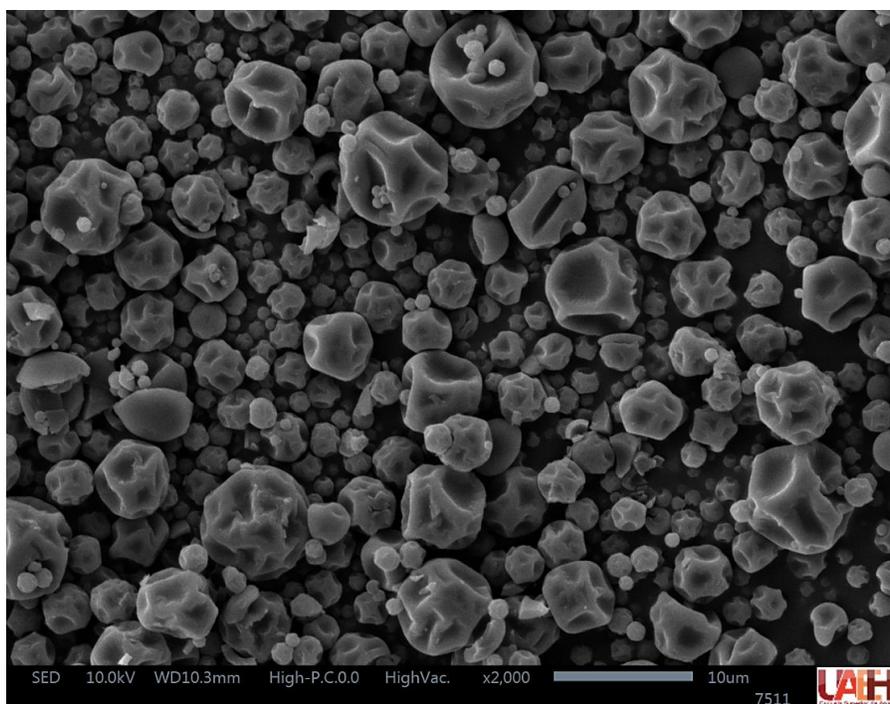


Figura 17. Morfología de microcápsulas con extracto metanólico de *H. sabdariffa* y *Enterococcus lactis* (L-25).

VIII.CONCLUSIONES

La presente investigación ha demostrado que la jamaica (*Hibiscus sabdariffa*), posee compuestos fitoquímicos (fenoles y flavonoides totales, antocianinas) y capacidad antioxidante (ABTS y DPPH) en concentraciones atractivas para funcionar como un coadyuvante en la ENT.

La formulación de mezclas con extracto de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) y probióticos (L-17, L-19, L-20, L-25) en diferentes mezclas (5 y 10 g (p/v) de jamaica) y pH (4 y 7) afecta la viabilidad de las bacterias ácido lácticas, cuando estas son expuestas en agitación.

La optimización del proceso de microencapsulación de mezcla de probióticos (*Enterococcus lactis* (L-25)) con extracto metanólico de jamaica (*Hibiscus sabdariffa*), usando la técnica de secado por aspersión dio como resultado un polvo que podría ser utilizado como coadyuvante en el tratamiento para la población con ENT debido a la capacidad antioxidante y contenido de probióticos.

IX. REFERENCIAS

- Abalo, J. A. G. (2016). Enfermedades crónicas no transmisibles: un abordaje desde los factores psicosociales. *Salud & Sociedad*, 7(2), 138-166.
- Abatenh, E., Gizaw, B., Tsegay, Z., Tefera, G., & Aynalem, E. (2018). Health benefits of probiotics. *J Bacteriol Infec Dis*, 2(1).
- Albacete Rodríguez, C. (2013). Efecto de la humedad y del glicerol en las transiciones de fase de biopolímeros: proteína de guisante y quitosano.
- Alfaro Galarza, O. (2019). Microencapsulación de *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* mediante secado por aspersión
- Anokwuru, C. P., Esiaba, I., Ajibaye, O., & Adesuyi, A. O. (2011). Polyphenolic content and antioxidant activity of *Hibiscus sabdariffa* calyx. *Research Journal of Medicinal Plant*, 5(5), 557-566.
- Archundia Sánchez, A. (2022). Evaluación del almidón de maíz doblemente modificado como agente encapsulante del extracto de *Hibiscus sabdariffa*. [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. Repositorio Institucional UAEH. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/handle/231104/2837>
- Ariza Flores, R., Serrano Altamirano, V., Michel Aceves, A. C., Barrios Ayala, A., Otero Sánchez, M. A., Avendaño Arrazate, C. H., & Noriega Cantú, D. H. (2017). Características bioquímicas y calidad nutracéutica de cinco variedades de jamaica cultivadas en México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 269-280.
- Arslan, S., Erbas, M., Tontul, I., & Topuz, A. (2015). Microencapsulation of probiotic *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* with different wall materials by spray drying. *LWT-Food Science and Technology*, 63(1), 685-690.
- Atlas, R.M. (1997). Principles of Microbiology. Wm. C. Brown Publishers.
- Babalola, S. O.; Babalola, A. O.; Aworth, O. C. 2001. Composition attributes of the calyces of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *The Journal of Food Technology in Africa* 6: 133-134. <http://hdl.handle.net/1807/3404>.

- Báez-García, J. E., Pérez-Jiménez, J., Sánchez-Burgos, J. A., González-Aguilar, G. A., & Sáyago-Ayerdi, S. G. (2020). Caracterización proximal y bioaccesibilidad de compuestos fenólicos en aderezos instantáneos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) 'criolla'.
- Barboza, J., Vázquez, H., Salcedo, R., & Bautista, M. (2004). Probióticos y conservadores naturales en alimentos. *Acta Universitaria*, 14(3), 32-38.
- Beatriz Mendoza, A. (2023). Efecto de la modificación térmica del almidón en la estabilidad de antocianinas microencapsuladas obtenidas del extracto acuoso de *Hibiscus sabdariffa* L. [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. Repositorio Institucional UAEH. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/handle/231104/3418>
- Behboudi-Jobbehdar, S., Soukoulis, C., Yonekura, L., & Fisk, I. (2013). Optimization of Spray-Drying Process Conditions for the Production of Maximally Viable Microencapsulated *L. acidophilus* NCIMB 701748. *Drying Technology*, 31(11), 1274-1283.
- Benítez-Estrada, A., Villanueva-Sánchez, J., González-Rosendo, G., Alcántar-Rodríguez, V. E., Puga-Díaz, R., & Quintero-Gutiérrez, A. G. (2020). Determinación de la capacidad antioxidante total de alimentos y plasma humano por fotoquimioluminiscencia: Correlación con ensayos fluorométricos (ORAC) y espectrofotométricos (FRAP). TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas, 23.
- Beratarrechea, A. G. (2010). Actualización: Las enfermedades crónicas (Primera parte). *Evidencia, actualizacion en la práctica ambulatoria*, 13(2).
- Biruite Guzmán, A., Juárez Hernández, E., Sieiro Ortega, E., Romero Viruegas, R., & Silencio Barrita, J. L. (2009). Los nutracéuticos. Lo que es conveniente saber. *Revista Mexicana de pediatría*, 76(3).ç
- Bringas-Lantigua, M. A. D. A. I., & Pino, J. A. (2012). *Microencapsulación de saborizantes mediante secado por atomización*. Revista ReCiTeIA.
- Cabrera-Canales, Z. E., Gómez-Aldapa, C. A., Castro-Rosas, J., Díaz-Batalla, L., Navarro-Cortez, R. O., Calcáneo Martínez, N., & Falfán-Cortés, R. N. (2023). Development and application of gelatinized starches as wall

materials for *Lacticaseibacillus paracasei* encapsulation. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 28(7), 684-696.
<https://doi.org/10.1080/1023666X.2023.2241979>

Campo-Fernández, M., Granja-Rizzo, D. F., Matute-Castro, N. L., Cuesta-Rubio, O., & Márquez-Hernández, I. (2021). Microencapsulación mediante secado por atomización a partir de un extracto de los cálices de *Hibiscus sabdariffa* L. *Revista Colombiana de Química*, 50(1), 40-50.

Carvajal-Zarrabal, O., Barradas-Dermitz, D. M., Orta-Flores, Z., Hayward-Jones, P. M., Nolasco-Hipólito, C., Aguilar-Uscanga, M. G., ... & Bujang, K. B. (2012). *Hibiscus sabdariffa* L., roselle calyx, from ethnobotany to pharmacology. *Journal of experimental pharmacology*, 25-39.

Castañeda, R., & Cáceres, A. (2014). Compuestos bioactivos y propiedades terapéuticas de los cálices de rosa de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* Linn). *Revista científica*, 24(1), 7-24.

Castañeta, H., Gemio, R., Yapu, W., & Nogales, J. (2011). Microencapsulación, un método para la conservación de propiedades fisicoquímicas y biológicas de sustancias químicas. *Revista Boliviana de Química*, 28(2), 135-140

Castro-Rosas, et al., 2021. Characterisation, storage viabilit, and application of microspheres with *Lactobacillus paracasei* obtained by the extrusion technique, *International Journal of Food Science & Technology*, 56(4), 1809-1817.

Cauich, I. C., Rodríguez, J. F. G., Fernández, V. G. P., & Ambrosio, V. L. (2020). Análisis de la rentabilidad de la producción de Flor de Jamaica (*Hibiscus Sabdariffa*). *Panorama Económico*, 28(2), 94-101.

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>

Cid-Ortega, S., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2012). Propiedades funcionales de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 6(2), 47-63.

- Contreras-Loya, D., Reding-Bernal, A., Gómez-Dantés, O., Puentes-Rosas, E., Pineda-Pérez, D., Castro-Tinoco, M., & Garrido-Latorre, F. (2013). Abasto y surtimiento de medicamentos en unidades especializadas en la atención de enfermedades crónicas en México en 2012. *salud pública de méxico*, 55(6), 618-626
- Cook, M., Tzortzis, G., Charalampopoulos, D., & Khutoryanskiy, V. (2012). Microencapsulation of probiotics for gastrointestinal delivery. *Journal of controlled release*, 162(1), 56-67.
- Corral Martín, A., & Pría Barros, M. D. C. (2018). Mortalidad por enfermedades no transmisibles según condiciones de vida. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 34(4), 31-41ç
- Corrales Benedetti, D., & Arias Palacios, J. (2020). Los probióticos y su uso en el tratamiento de enfermedades. *Revista Ciencias Biomédicas*, 9(1), 54-66.
- Corzo, N., Alonso, J., Azpiroz, F., Calvo, M., Cirici, M., Leis, R., Lombo, F., Mateos, I., Piou, F., Ruas, P., Rúperez, P., Redondo, A., Sanz, M., & Clemente, A. (2015). Prebióticos; concepto, propiedades y efectos beneficiosos. *Nutrición Hospitalaria*, 31(1), 99-118.
- Creus, E. G. (2004). Compuestos fenólicos. *Offarm*, 23(6), 80-84.
- Cueto, C., & Aragón, S. (2012). Evaluación del potencial probiótico de bacterias ácido lácticas para reducir el colesterol in vitro. *Scientia Agropecuaria*, 3(1), 45-50.
- Cueto, M., Acuña, Y., & Valenzuela, J. (2010). Evaluación in vitro del potencial probiótico de bacterias ácido lácticas aisladas de suero costeño. *Actualidades biológicas*, 32(93), 129-138
- Damjanovic-Vratnica, B., Sukovic, D., & Perovic, S. (2016). Essential oil components and antimicrobial activity of peppermint (*Mentha piperita*) from Montenegro. *Poljoprivreda i Sumarstvo*, 62(1), 259.
- Dantés, O. G., Sesma, S., Becerril, V. M., Knaul, F. M., Arreola, H., & Frenk, J. (2011). Sistema de salud de México. *Salud pública de México*, 53(suppl 2), s220-s232

- Dawidowicz, A. L., & Olszowy, M. (2011). Antioxidant properties of BHT estimated by ABTS assay in systems differing in pH or metal ion or water concentration. *European Food Research and Technology*, 232, 837-842.
- De Araújo, U., Ramírez, L., Villadiego, O., & Campuzano, O. (2015). Técnicas para la microencapsulación de probióticos y el impacto en su funcionalidad: una revisión. *Alimentos Hoy*, 23(36), 112-126.
- De las Cagigas Reig, A., & Anesto, J. (2002). Prebióticos y probióticos, una relación beneficiosa. *Revista Cubana Aliment Nutr*, 16(1), 63-8.
- De paz, r. a. m. o. s., & monzerrat, a. (2012). estudio de la eficiencia de microencapsulación de probióticos.
- Desmiaty, Y., & Alatas, F. (2008, October). Determination of quercetin in Hibiscus sabdariffa L. calyces by High-Performance Liquid Chromatography (HPLC). In *Proceeding of The International Seminar on Chemistry* (Vol. 1, No. 1, pp. 385-338).disease prevention. *Journal of Food Science*, 69(5), R146-R149.
- Enfermedades no transmisibles. (s. f.). OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. <https://www.paho.org/es/temas/enfermedades-no-transmisibles>
- Escobar-Millán, Z., García-Iglesias, T., Gómez-Leyva, J. F., Ramírez-Alvarado, D., Figueroa-Martínez, R., Torres-Bugarín, O., & García-García, M. R. (2018). Extracto de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.): Efecto antioxidante y terapéutico. *Acta de Ciencia en Salud*, (5), 14-19
- Escorza, M. A. Q., & Salinas, J. V. C. (2009). La capacidad antioxidante total. Bases y aplicaciones. *Revista de educación bioquímica*, 28(3), 89-101.
- Espinoza, N. (2013). *Caracterización de biopolímeros y su aplicación en la microencapsulación de probióticos de liberación específica* (Doctoral dissertation).
- Esquivel B., Martínez, L., & Rutiaga, O. (2015). Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(2), 180-192.
- Etchepare, M., Barin, J., Cichoski, A., Jacob, E., Wagner, R., Fries, L., & Menezes, C. (2015). Microencapsulation of probiotics using sodium alginate. *Ciência Rural*, 45(7), 1319-1326.

- F de la Rosa Reyna, X., García León, I., Hernández Mendoza, J., Morales Baquera, J., & Quiroz Velásquez, J. D. C. (2022). Antocianinas, propiedades funcionales y potenciales aplicaciones terapéuticas. *Revista Boliviana de Química*, 39(5), 1-9.
- FAO/WHO (Food and Agricultural Organization of the United Nations and World Health Organization) (2002). 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); Available: <http://fanus.com.ar/posgrado/10-09-25/fao%20probiotics.pdf>
- Fitrotunnisa, Q., Arsianti, A., Tejaputri, N. A., & Qorina, F. O. N. A. (2019). Antioxidative activity and phytochemistry profile of Hibiscus sabdariffa herb extracts. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 11(6), 29-32.
- Food and Agriculture Organization/ World Health Organization. (2006). Probióticos en los alimentos. Propiedades saludables y nutricionales y directrices para la evaluación. <http://www.fao.org/documents/card/es/c/7dccb60a-88be-53fa-9c77-d6f81b7ca368>
- Galicia-Flores, L. A., Salinas-Moreno, Y., Espinoza-García, B. M., & Sánchez-Feria, C. (2008). Caracterización fisicoquímica y actividad antioxidante de extractos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) nacional e importada. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 14(2), 121-129.
- Gámez, H. J., Córdoba, J. F. C., & Solarte, A. P. D. (2023). Diseño de un alimento funcional a base de mora y chilacuan con adición de *Lactobacillus lactis* atcc 19435 microencapsulado como una alternativa de aplicación al sector agroindustrial. *Aglala*, 14(1), 235-247.
- Garzón, J. C., Díaz, L. F., & Bohórquez, E. (2023). Revisión: sobre la aplicación de la microencapsulación en la industria alimentaria. *Alimentos Hoy*, 31(60), 3-36. <https://doi.org/10.22201/ulead.20072864e.2023.60.335>
- Gaviria, A., Correa, C. E., Mosquera, O. M., Niño, J., & Correa, Y. M. (2015). Evaluación de las actividades antioxidante y antitopoisomerasa de extractos de plantas de la ecorregión cafetera colombiana. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(1), 86-101.

- Gebara, C., Chaves, K., Ribeiro, M., Souza, F., Grosso, C., & Gigante, M. (2013). Viability of *Lactobacillus acidophilus* La5 in pectin–whey protein microparticles during exposure to simulated gastrointestinal conditions. *Food research international*, 51(2), 872-878.
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food research international*, 40(9), 1107-1121.
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food research international*, 40(9), 1107-1121.
- Goldin, B. (1998). Health benefits of probiotics. *British Journal of Nutrition*, 80(S2), S203-S207.
- Gómez-Aldapa, C. A., Castro-Rosas, J., Rangel-Vargas, E., Navarro-Cortez, R. O., Cabrera-Canales, Z. E., Díaz-Batalla, L., ... & Falfan-Cortes, R. N. (2019). A modified Achira (*Canna indica* L.) starch as a wall material for the encapsulation of *Hibiscus sabdariffa* extract using spray drying. *Food Research International*, 119, 547-553. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.003>
- Gotcheva, V., Hristozova, E., Hristozova, T., Guo, M., Roshkova, Z., & Angelov, A. (2002). Assessment of potential probiotic properties of lactic acid bacteria and yeast strains. *Food Biotechnology*, 16(3), 211-225.
- González-Palomares, S., Estarrón-Espinosa, M., Gómez-Leyva, J. F., & Andrade-González, I. (2009). Efecto de la temperatura en el secado por aspersión de extractos de jamaica (**Hibiscus sabdariffa* L.*). **Plant Foods for Human Nutrition*, 64*(1), 62–67. <https://doi.org/10.1007/s11130-008-0103-y>
- Guillot, C. (2017). Microbiota intestinal, probióticos y prebióticos. *Enfermería investiga: investigación, vinculación, docencia y gestión*, 2(4), 156-160.
- Hamrita, B., Emira, N., Papetti, A., Badraoui, R., Bouslama, L., Ben Tekfa, M. I., ... & Snoussi, M. (2022). Phytochemical analysis, antioxidant, antimicrobial, and anti-swarming properties of *hibiscus sabdariffa* L. calyx extracts: In Vitro and

In Silico modelling approaches. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2022.

- Hapsari, B. W., & Setyaningsih, W. (2021). Methodologies in the analysis of phenolic compounds in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.): Composition, biological activity, and beneficial effects on human health. *Horticulturae*, 7(2), 35.
- Hernández, Z., Rangel, E., Castro, J., Gómez., C., Cadena, A., Acevedo, O., Gordillo, A., Falfán, R. (2018). Optimization of a spray-drying process for the production of maximally viable microencapsulated *Lactobacillus pentosus* using a mixture of starch-pulque as wall material. *LWT*, 95(), 216–222. doi:10.1016/j.lwt.2018.04.075
- Herrera Chalé, F., Betancur Ancona, D., & Segura Campos, M. R. (2014). Compuestos bioactivos de la dieta con potencial en la prevención de patologías relacionadas con sobrepeso y obesidad: péptidos biológicamente activos. *Nutrición hospitalaria*, 29(1), 10-20.
- Hopkins, A. L., Lamm, M. G., Funk, J. L., & Ritenbaugh, C. (2013). *Hibiscus sabdariffa* L. in the treatment of hypertension and hyperlipidemia: a comprehensive review of animal and human studies. *Fitoterapia*, 85, 84-94.
- Huertas, R. (2010). Bacterias ácido lácticas: Papel funcional en los alimentos. *Biotechnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 8(1), 93-105.
- Huertas, R. (2010). Revisión: Microencapsulación de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 63(2), 5669-5684.
- Hutkins, R., Krumbeck, J., Bindels, L., Cani, P., Fahey Jr, G., Goh, Y., Hamaker, B., Martens, E. Mills, D., Rastal, R., Vaughan, E., & Sanders, M. (2016). Prebiotics: why definitions matter. *Current opinion in biotechnology*, 37, 1-7.
- Hutchings, J. B. (Ed.). (2011). *Food colour and appearance*. Springer Science & Business Media.
- Irazusta, A. (2019). Nuevas alternativas naturales para la prevención y control de enfermedades crónicas no transmisibles.

- Jaroni, D., Kakani, R., Ravishankar, S., & Jadeja, R. (2017). Efficacy of roselle (*Hibiscus sabdariffa*) calyx formulations against *Escherichia coli* O157: H7 during flume-washing of organic leafy greens. *Quality assurance and safety of crops & foods*, 9(1), 115-121.
- Kailasapathy, K. (2002). Microencapsulation of probiotic bacteria: technology and potential applications. *Current issues in intestinal microbiology*, 3(2), 39-48.
- Kechagia, M., Basoulis, D., Konstantopoulou, S., Dimitriadi, D., Gyftopoulou, K., Skarmoutsou, N., & Fakiri, E. M. (2013). Health benefits of probiotics: a review. *International Scholarly Research Notices*, 2013.
- Wood, B. J. B., & Holzapfel, W. H. (1995). *The Lactic Acid Bacteria: The Genera of Lactic Acid Bacteria*. Springer
- Klein, G., Pack, A., Bonaparte, C., & Reuter, G. (1998). Taxonomy and physiology of probiotic lactic acid bacteria. *International journal of food microbiology*, 41(2), 103-125
- Ko, S. H., Choi, S. W., Ye, S. K., Yoo, S., Kim, H. S., & Chung, M. H. (2008). Comparison of anti-oxidant activities of seventy herbs that have been used in Korean traditional medicine. *Nutrition Research and Practice*, 2(3), 143-151
- Kociubinski, G., Perez, P., Añon, M., & De Antoni, G. (1999). A method for the screening of lactic acid bacteria with high inhibitory power. *J Food Prot*, 59, 739.
- Koh,W,y.,Lim,X.X.,Tan,T.C.,Kobun,R Y Rasti,B.(2022).Encapsulated Probiotics Potential Techniques and Coating Materials fon Non-Dairy Food Applications.*Applied sciences*,12819),10005.
- Leyva Daniel, D. E. (2009). Determinación de antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante en licores y fruto de mora. *Química y taller de procesamiento de alimentos*, 1-69
- Liu, Q., Rauth, A., & Wu, X. (2007). Immobilization and bioactivity of glucose oxidase in hydrogel microspheres formulated by an emulsification–internal gelation–adsorption–polyelectrolyte coating method. *International journal of pharmaceutics*, 339(1-2), 148-156.
- López, O. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana de Farmacia*, 44(3), 381-389.

- Luján, C. G., Martínez, A., Ortega, J. L., & Castro, F. (2010). Componentes químicos y su relación con las actividades biológicas de algunos extractos vegetales. *Química Viva*, 9(2), 86-96.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Bender, K. S., Buckley, D. H., & Stahl, D. A. (2014). *Brock Biology of Microorganisms*. Pearson
- Mananigandan, T., Mangaiyarkarasi, S., Hemalatha, R., & Murali, N. (2012). Probiotic, prebiotics and synbiotics-a review. *Biomedical & Pharmacology Journal*, 5(2), 295.
- 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.
- Manning, T., & Gibson, G. (2004). Prebiotics. *Best practice & research clinical gastroenterology*, 18(2), 287-298.
- Martín, M. J., Lara-Villoslada, F., Ruiz, M. A., & Morales, M. E. (2015). Microencapsulation of bacteria: A review of different technologies and their impact on the probiotic effects. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 27, 15-25.
- Martínez, P., Benavides, A., & Ortíz, M. (2016). Microencapsulación mediante secado por aspersión de aceite de mora (*Rubus glaucus*) extraído con CO₂ supercrítico. *Revista Colombiana de Química*, 45(2), 39-47.
- Martínez, P., Peña, F., Gómez, Y., Vargas, G., & Velezmoro, C. (2019). Propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y acetilados obtenidos a partir de la papa (*Solanum tuberosum*) var. 'única'. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(3), 338-351.
- Medina-Carrillo, R. E., Sumaya-Martínez, M. T., Machuca-Sánchez, M. L., Sánchez-Herrera, L. M., Balois-Morales, R., & Jiménez-Ruiz, E. I. (2013). Actividad antioxidante de extractos de cálices deshidratados de 64 variedades de jamaica (*hibiscus sabdariffa*.) en función de fenólicos y antocianinas totales. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22, 41-44.
- Morales-Luna, E., Pérez-Ramírez, I. F., Salgado, L. M., Castaño-Tostado, E., Gómez-Aldapa, C. A., & Reynoso-Camacho, R. (2019). The main beneficial effect

of roselle (*Hibiscus sabdariffa*) on obesity is not only related to its anthocyanin content. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(2), 596-605.

- Moyes, R., Reynolds, J., & Breakwell, D. (2009). Differential staining of bacteria: gram stain. *Current Protocols in Microbiology*, 15(1), A-3C
- Murrieta, M., Vázquez, G., Burgos, J., Gasga, V., & Ayerdi, S. (2014). Flor de Jamaica. Universidad de México.
- Najafian, S., Moradi, M., & Sepehrimanesh, M. (2016). Polyphenolic contents and antioxidant activities of two medicinal plant species, *Mentha piperita* and *Stevia rebaudiana*, cultivated in Iran. *Comparative Clinical Pathology*, 25, 743-747.
- Navidad-Murrieta, M. S., Pérez-Larios, A., Sánchez-Burgos, J. A., Ragazzo-Sánchez, J. A., Luna-Bárceñas, G., & Sáyago-Ayerdi, S. G. (2020). Use of a taguchi design in *Hibiscus sabdariffa* extracts encapsulated by spray-drying. *Foods*, 9(2), 128.
- Neeraj, T., Prakash, A., & Seema, Y. (2013). Antimicrobial activity and medicinal values of essential oil of *Mentha piperita* L. *Int J Eng Innov Technol*, 2(8), 214-8.
- Nguyen, Q. D., Dang, T. T., Nguyen, T. V. L., Nguyen, T. T. D., & Nguyen, N. N. (2022). Microencapsulation of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) anthocyanins: Effects of different carriers on selected physicochemical properties and antioxidant activities of spray-dried and freeze-dried powder. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 359-374.
- Russell, J. B., & Diez-Gonzalez, F. (2020). The effects of pH on microbial protein function and cell structure in acidic environments: Implications for lactic acid bacteria. *Frontiers in Microbiology*, 11, 395. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00395>
- Núñez, B., & López, O. (2022). Extracción, microencapsulación y evaluación de la capacidad antioxidante de las antocianinas presentes en las flores de *Hibiscus sabdariffa* cultivadas en el cantón Milagro, provincia del Guayas. Universidad Técnica de Ambato.

- Ojulari, OV, Lee, SG y Nam, JO (2019). Efectos beneficiosos de los compuestos bioactivos naturales de Hibiscus sabdariffa L. sobre la obesidad. *Moléculas*, 24 (1), 210.
- Olagnero, G., Abad, A., Bendersky, S., Genevois, C., Granzella, L., & Montonati, M. (2007). Alimentos funcionales: fibra, prebióticos, probióticos y simbióticos. *Diaeta*, 25(121), 20-33.
- Olmedilla Alonso B, Granado Lorenzo F. Componentes bioactivos. En: *Alimentos Funcionales. Aproximación a una Nueva Alimentación. Dirección general de salud pública y alimentación 2008*; 170-93.
- Oliveira, G., & González, I. (2016). Actualización de probióticos, prebióticos y simbióticos en nutrición clínica. *Endocrinología y Nutrición*, 63(9), 482-494.
- Palacios Castillo, M. (2013). Influencia de blanqueado y secado a dos temperaturas en el contenido de compuestos fenolicos, carotenoides y capacidad antioxidante de los tubérculos de mashua (*Tropaeolum Tuberosum* Ruiz & Pavón).
- Panorama epidemiológico de las enfermedades no transmisibles en México, cierre 2021. (2021). www.gob.mx. Recuperado 26 de enero de 2023, de <https://www.gob.mx>
- Parra Huertas, R. A. (2010). Bacterias ácido lácticas: Papel funcional en los alimentos. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 8(1), 93-105.
- Pasin, B., Azón, C., & Garriga, A. (2012). Microencapsulación con alginato en alimentos. Técnicas y aplicaciones. *Revista venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(1), 130-151.
- Pérez, H., Bueno, G., Brizuela, M., Tortoló, K., & Gastón, C. (2013). Microencapsulación: una vía de protección para microorganismos probióticos. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 47(1), 14-25.
- Pérez, M. G. F., Rocha-Guzmán, N. E., Mercado-Silva, E., Loarca-Piña, G., & Reynoso-Camacho, R. (2014). Effect of chemical elicitors on peppermint (*Mentha piperita*) plants and their impact on the metabolite profile and antioxidant capacity of resulting infusions. *Food Chemistry*, 156, 273-278.

- 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.
- Prescott, L.M., Harley, J.P., & Klein, D.A. (2002). *Microbiology*. McGraw-Hill.
- Ramirez Ramirez, J. C., Rosas Ulloa, P. E. T. R. A., VELAZQUEZ GONZALEZ, M. Y., Ulloa, J. A., & Arce Romero, F. (2011). Bacterias lácticas: Importancia en alimentos y sus efectos en la salud. *CONACYT*.
- Ranadheera, R. D. C. S., Baines, S. K., & Adams, M. C. (2010). Importance of food in probiotic efficacy. *Food Research International*, 43(1), 1-7. doi: 10.1016/j.foodres.2009.09.009
- Reineccius, G. A. (2004). The spray drying of food flavors. *Drying technology*, 22(6), 1289-1324.
- Reyes-Luengas, A., Salinas-Moreno, Y., Ovando-Cruz, M. E., Arteaga-Garibay, R. I., & Martínez-Peña, M. D. (2015). Análisis de ácidos fenólicos y actividad antioxidante de extractos acuosos de variedades de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) con cálices de colores diversos. *Agrociencia*, 49(3), 277-290
- Rezvankhah, A., Emam-Djomeh, Z., & Askari, G. (2020). Encapsulation and delivery of bioactive compounds using spray and freeze-drying techniques: A review. *Drying Technology*, 38(1-2), 235-258. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1598418>
- Riaz, G., & Chopra, R. (2018). A review on phytochemistry and therapeutic uses of *Hibiscus sabdariffa* L. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 102, 575-586..
- 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, F., Bautist, J., Arroyo, F., Romero, V., Jiménez, R., Garrido, A., & García, P. (2013). Table olive fermentation with multifunctional *Lactobacillus pentosus* strains. *Food Control*, 34(1), 96-105.
- Rodríguez, R. G., & García, J. C. (2018). Behavior of non-transmissible chronic diseases in elder adults. *Revista de Enfermedades no Transmisibles Finlay*, 8(2), 103-110.

- Romo, S. E. A., Zavala, E. L., Perez, D. M. G., Torres, M. G., & Gutierrez-Tlahque, J. O. R. G. E. (2024). Microencapsulación de compuestos bioactivos de flor de jamaica en suero de leche y su aplicación en yogurt. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 9(1), 43-52.
- Ruelas Hernandez, P. G., Aguilar Castillo, J. A., Martinez, S., Teresa, M., Lopez Guzman, G. G., Juarez Rosete, C. R., ... & Sanchez Herrera, L. M. (2014). Aptitud combinatoria de la actividad antioxidante de extractos de cálices de jamaica.
- Saavedra Baca, J. D. C., & Távora Guerrero, C. P. (2017). Microencapsulación y su efecto en la retención de la capacidad antioxidante de la mashua (*tropaeolum tuberosum*) secada por atomización-Lambayeque 2014.
- Salcedo-Álvarez, R. A., Zárata-Grajales, R. A., González-Caamaño, B. C., Huerta-González, S., & Rodríguez-Rodríguez, O. E. (2017). Cobertura de atención de enfermería y su impacto en la mortalidad por enfermedades crónicas no transmisibles en México, 2013. *Index de Enfermería*, 26(1-2), 108-112.
- Salinas-Moreno, Y., Zúñiga-Hernández, A. R. E., Serrano-Altamirano, V., & Sánchez-Feria, C. (2012). Color en cálices de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) y su relación con características fisicoquímicas de sus extractos acuosos. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 18(3), 395-407.
- Salmerón-Ruiz, M. L., Domínguez-Avila, J. A., Ayala-Zavala, J. F., Alvarez-Parrilla, E., Villegas-Ochoa, M. A., Sáyago-Ayerdi, S. G., ... & González-Aguilar, G. A. (2019). Optimization of total anthocyanin content and antioxidant activity of a *Hibiscus sabdariffa* infusion using response surface methodology. *Biotecnia*, 21(2), 114-122
- Sánchez Gamboa, J. V. (2019). Contenido de antocianinas y actividad antioxidante in vitro de *Hibiscus sabdariffa* L.(Flor de jamaica) procedente de Huaura-Huacho.
- Sánchez, L., & Tromps, J. (2014). Caracterización in vitro de bacterias ácido lácticas con potencial probiótico. *Revista de Salud Animal*, 36(2), 124-129.
- Sanz, Y., Collado, M., & Dalmau, J. (2003). Probióticos: criterios de calidad y orientaciones para el consumo. *Acta pediátrica española*, 61(9), 476-482.

- Semyonov, D., Ramon, O., Kaplun, Z., Levin-Brener, L., Gurevich, N., & Shimoni, E. (2010). Microencapsulation of *Lactobacillus paracasei* by spray freeze drying. *Food Research International*, 43(1), 193-202. doi: 10.1016/j.foodres.2009.09.028
- Serna, L., & Vallejo, V. (2013). Probiotic encapsulation. *African Journal of Microbiology Research*, 7(40), 4743-4753.
- Servin, A. L. (2004). Antagonistic activities of lactobacilli and bifidobacteria against microbial pathogens. *FEMS microbiology reviews*, 28(4), 405-440.
- Shahidi, F. (2004). Functional foods: Their role in health promotion and
- Sindi, H. A., Marshall, L. J., & Morgan, M. R. (2014). Comparative chemical and biochemical analysis of extracts of *Hibiscus sabdariffa*. *Food chemistry*, 164, 23-29.
- Sirag, N., Elhadi, M. M., Algaili, A. M., Hassan, H. M., & Ohaj, M. (2014). Determination of total phenolic content and antioxidant activity of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) calyx ethanolic extract. *Standard Research Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 1(2), 34-39.
- Solanki, H., Pawar, D., Shah, D., Prajapati, V., Jani, G., Mulla, A., & Thakar, P. (2013). Development of microencapsulation delivery system for long-term preservation of probiotics as biotherapeutics agent. *BioMed research international*, 2013.
- Sotomayor, M. F., & Vargas, D. A. (2017). Optimización de extracción, microencapsulación y evaluación de la capacidad antioxidante de antocianinas de flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) mediante secado por aspersion (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2017.).
- Sulaiman, F. A., Kazeem, M. O., Waheed, A. M., Temowo, S. O., Azeez, I. O., Zubair, F. I., ... & Adeyemi, O. S. (2014). Antimicrobial and toxic potential of aqueous extracts of *Allium sativum*, *Hibiscus sabdariffa* and *Zingiber officinale* in Wistar rats. *Journal of Taibah University for Science*, 8(4), 315-322.
- Tomás Barberán, F. (2003). Los polifenoles de los alimentos y la salud

- Uribe, E., Marín, D., Vega-Gálvez, A., Quispe-Fuentes, I., & Rodríguez, A. (2016). Assessment of vacuum-dried peppermint (*Mentha piperita* L.) as a source of natural antioxidants. *Food chemistry*, 190, 559-565.
- Us-Medina, U., Millán-Linares, M. D. C., Arana-Argaes, V. E., & Segura-Campos, M. R. (2020). Actividad antioxidante y antiinflamatoria in vitro de extractos de chaya (*Cnidoscolus aconitifolius* (Mill.) IM Johnst). *Nutrición Hospitalaria*, 37(1), 46-55.
- Duarte, J., & Pérez-Vizcaíno, F. (2015). Protección cardiovascular con flavonoides: enigma farmacocinético. *Ars Pharmaceutica*, 56(4), 193-200. Recuperado de https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S2340-98942015000400003&script=sci_arttext
- Valdez-López, E. N., Ramírez-Moctezuma, E., Cervantes, L. J. S., & Suarez-Diéguez, T. (2019). Cuantificación del contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante in-vitro en extractos de flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*). *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 8(15), 174-179.
- Véguez, N. G. (2009). *Hibiscus sabdariffa: Avances en el estudio del cáncer* (Trabajo fin de grado). <https://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/NOELIA%20GUZMAN%20VEGUEZ.pdf>
- Véliz Rojas, L. (2019). Representaciones sobre los cuidados con plantas medicinales en enfermeras de atención primaria en salud. *Index de Enfermería*, 28(4), 189-193
- Vellido Pérez, J. A. (2015). La temperatura de transición vítrea en el secado por atomización: efecto de la composición del producto
- Villalobos, J. Á. C., Meléndez, J. A. B., Montiel, M. E. R., Lee, G. M., & Moctezuma, C. M. (2023). Overweight and obesity. Current situation and perspectives. *Acta Médica Grupo Angeles*, 21(S1), s51-56
- Villena, M., Hernández, M., Lara., & Martínez, M. (2009). Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos. *Ars Pharmaceutica* (Internet), 50(1), 43-50.

- World Health Organization. (2002). Estrategia de la OMS sobre medicina tradicional 2002-2005 (No. WHO/EDM/TRM/2002.1). Organización Mundial de la Salud
- World Health Organization: WHO. (2023, 16 septiembre). Enfermedades no transmisibles. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>
- Wu, H. Y., Yang, K. M., & Chiang, P. Y. (2018). Roselle anthocyanins: Antioxidant properties and stability to heat and pH. *Molecules*, 23(6), 1357
- Yábar, E., Chirinos, R., & Campos, D. (2019). Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en tres ecotipos de maca (*Lepidium meyenii* Walp.) durante la pre-cosecha, cosecha y secado natural post-cosecha. *Scientia Agropecuaria*, 10(1), 85-97.
- García-Tirado, J., Rieger-Reyes, C., & Saz-Peiro, P. (2012). Efecto de los flavonoides en la prevención del cáncer de pulmón: revisión sistemática. *Medicina Clínica*, 139(8), 358-363. Recuperado de <https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-clinica-2-articulo-efecto-flavonoides-prevencion-del-cancer-S0025775312003649>
- Yao, M., Xie, J., Du, H., McClements, D., Xiao, H., & Li, L. (2020). Progress in microencapsulation of probiotics: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(2), 857-874.
- Zárate-Hernández, E., Hernández-Esquivel, R. A., & Pérez-Urizar, J. T. (2021). Microcápsulas y microesferas: una visión a la caracterización integral y aplicación para la liberación de medicamentos biotecnológicos. *CienciaUAT*, 15(2), 21-36
- Zielińska, D., & Kolożyn, D. (2018). Food-origin lactic acid bacteria may exhibit probiotic properties. *BioMed research international*, 2018
- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects—A review. *Journal of Functional Foods*, 18, 820-897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>

- Pharmaceuticals. (2022). Bioactive compounds in Hibiscus sabdariffa calyces and their biological activities. *Pharmaceuticals*, 15(464). [https://doi.org/10.3390/ph15040464​:contentReference\[oaicite:0\]{index=0}](https://doi.org/10.3390/ph15040464​:contentReference[oaicite:0]{index=0})
- Li, Q., Zhang, F., Wang, Z., Feng, Y., & Han, Y. (2023). Advances in the Preparation, Stability, Metabolism, and Physiological Roles of Anthocyanins: A Review. *Foods*, 12(21), 3969. <https://doi.org/10.3390/foods12213969>
- Li, Q., Zhang, F., Wang, Z., Feng, Y., & Han, Y. (2023). Advances in the Preparation, Stability, Metabolism, and Physiological Roles of Anthocyanins: A Review. *Foods*, 12(21), 3969. <https://doi.org/10.3390/foods12213969>
- Millinia, B. L., Idrus, S., Sutrisno, E., Suwarman, D., Utami, R., Wibowo, S., ... & Marasabessy, A. (2024). Microencapsulation of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) anthocyanins: Effects of maltodextrin and trehalose matrix on selected physicochemical properties and antioxidant activities of spray-dried powder. *Future Foods*, 9, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100300>
- Millinia, B. L., Mashithah, D., Nawatila, R., & Kartini, K. (2024). Microencapsulation of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) anthocyanins: Effects of maltodextrin and trehalose matrix on selected physicochemical properties and antioxidant activities of spray-dried powder. *Future Foods, 9*, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100300>
- Nguyen, T. T. P., He, X., & Zhang, L. (2022). Yeast cell wall and maltodextrin as encapsulating agents for *Hibiscus sabdariffa* anthocyanins: Effects on physicochemical properties and stability of spray-dried powders. *Plant Foods for Human Nutrition*, 77(3), 487-496. <https://doi.org/10.1007/s11130-022-00947-6>
- Selim, K. A., Khalil, K. E., Abdel-Bary, M. S., & Abdel-Azeim, N. A. (2022). Extraction, encapsulation, and utilization of red pigments from roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as natural food colorants. *Food Science and Technology*.

Retrieved from
<https://www.fayoum.edu.eg/English/Agri/FoodSciences/pdf/Extraction,EncapsulationandUtilization.pdf>.

ANEXO A

UDLAP a la izquierda



AMIDIQ

Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C.



XLIV ENCUENTRO NACIONAL DE LA AMIDIQ

Investigación e industria: inclusión, retos y oportunidades para la Ingeniería Química en México

UDLAP

La Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química A.C. otorga el presente

RECONOCIMIENTO

a:

Reyna Nallely Falfán Cortés, Edna Zaranne Martínez Ramírez Martínez Ramírez, Netzahualcoyotl Calcáneo Martínez, Javier Castro Rosas, Fernando Lozano Lopez.

Por la presentación del trabajo:

MICROENCAPSULACIÓN DE BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS EN MEZCLA CON EXTRACTO DE HIBISCUS SABDARIFFA, MEDIANTE SECADO POR ASPERSIÓN

En el área de **INGENIERÍA DE ALIMENTOS** en modalidad **CARTEL**
ID: 729

XLIV Encuentro Nacional de la AMIDIQ

Dr. Aarón Robles Hernández
Presidente del Comité Organizador

Dr. Jorge Ramón Robledo Ortiz
Presidente Nacional de la AMIDIQ

Dr. Tomás Viveros García
Presidente del Comité Técnico

Huatulco, Oaxaca, México 30 de mayo al 2 de junio de 2023