



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

Licenciatura en Química de Alimentos

TESIS

Microencapsulación de fitoquímicos obtenidos de extractos de jamaica (*Hibiscus Sabdariffa L.*) y fresa (*Fragaria Vesca*), con la adición de probióticos, usando la técnica de secado por aspersión

**Para obtener el título de
Licenciada en Química de Alimentos**

PRESENTA

Geyssi Johanna Pazarán Gutiérrez

Directora

Reyna Nallely Falfán Cortés

Codirectora

Edna Zaranné Martínez Ramírez

Mineral de la Reforma, Hgo., México., 11 julio 2025



Mineral de la Reforma, Hgo., a 31 de julio de 2025

Número de control: ICBI-D/1306/2025

Asunto: Autorización de impresión.

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

Con 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 a la egresada de la Licenciatura en Química de Alimentos **Geyssi Johanna Pazarán Gutiérrez**, quien presenta el trabajo de titulación **“Microencapsulación de fitoquímicos obtenidos de extractos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) y fresa (*Fragaria vesca*), con la adición de probióticos, usando la técnica de secado por aspersion”**, ha decidido, después de revisar fundamento en lo dispuesto en el Título Tercero, Capítulo I, Artículo 18 Fracción IV; dicho trabajo en la reunión de sinodales, **autorizar la impresión del mismo**, una vez realizadas las correcciones acordadas.

A continuación, firman de conformidad los integrantes del Jurado:

Presidente: Dr. Javier Castro Rosas

Secretario: Dra. Esmeralda Rangel Vargas

Vocal: Dra. Reyna Nallely Falfán Cortés

Suplente: Dra. Edna Zaranné Martínez Ramírez

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

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, por permitirme realizar todas mis metas, porque sé que todo se lo debo a él, por ser el ancla de mi vida.

Quiero expresar mi más sincera gratitud a mi familia, que, sin duda alguna, han sido mi pilar más importante a lo largo de mi vida, y tengo la fortuna de poder contar con ellos incondicionalmente, sin su apoyo yo no sería quien soy ahora, gracias por su paciencia en mis momentos de estrés, por sus palabras de aliento, por confiar en mí y por nunca dudar de mis capacidades, sino todo lo contrario, impulsarme a cada día ser mejor.

A mi amiga Sinai, por su amistad y apoyo a lo largo de este proyecto, porque no pude haber tenido mejor compañía que la suya, por esos días de mucho trabajo en el laboratorio, que al final siempre éramos dos niñas alcanzando nuestros sueños, y esta vivencia me la llevo en mi corazón.

A mi Directora, la Dra. Nallely, y a mi Codirectora, la Dra. Edna, sin su guía, conocimiento compartido, enseñanza y apoyo, este trabajo no sería posible, gracias por brindarme las herramientas y animarme en ciertos puntos en donde las cosas no resultaban como lo esperábamos, sin embargo, siempre estuvieron ahí.

DEDICATORIAS

Mamá, este logro es tuyo, gracias por todos esos días en los que estuviste para alentarme a seguir con todos los proyectos de mi vida, a no dejarme caer, por enseñarme que nada es imposible, y que aún en la adversidad, se aprende y se sigue adelante, si soy una mujer fuerte es por ti, por tu ejemplo de fortaleza y resiliencia, Rosy Gutiérrez, esta tesis te la dedico con todo mi corazón.

Papá, si de alguien aprendí a tener un espíritu soñador y valiente ha sido de ti, fuiste y serás una inspiración para mí. La vida nos separó físicamente, y, aun así, sé que estás a mi lado en cada paso que doy, sé lo feliz que estabas con cada uno de mis proyectos, por lo que esta tesis y todo mi esfuerzo, Pedro Pazarán, con todo el amor, hasta el cielo te lo dedico.

Hermanos, Jovanni e Itzamara, quiero dedicarles este logro, agradeciéndoles siempre el estar conmigo, porque a lo largo de la vida hemos aprendido que al final del día, siempre nos tendremos el uno al otro, por todas esas palabras de aliento en los momentos en los que lo he necesitado, por compartir conmigo la alegría de culminar este proyecto, por sus consejos, su amor y su complicidad, los amo.

Abuelitos, Buga, Irineo y Elvira, han sido para mí, ejemplo de entereza, lucha, perseverancia y amor, elementos que admiro de ustedes; Mi Buguita, no te olvido nunca, hasta el cielo recibe mi amor y gratitud por haber sido nuestro lugar seguro; Iri y Elvira, si hago un recuento de cada momento feliz o triste a lo largo de mi vida, en mis recuerdos siempre hay dos personas llegando al rescate, que son ustedes, gracias por su apoyo y amor incondicional, por su preocupación por mí, porque han estado al pie del cañón. Abuelitos, esta tesis también es en su honor, con mucho amor y gratitud, se las dedico.

ÍNDICE GENERAL

OFICIO DE IMPRESIÓN DE TESIS	2
AGRADECIMIENTOS	3
DEDICATORIAS	4
I. INTRODUCCIÓN	10
II. MARCO TEÓRICO	12
2.1. Enfermedades no transmisibles (ENT)	12
2.2. Alternativas naturales para el tratamiento de ENT	12
2.3. Características de los compuestos bioactivos o fitoquímicos.....	13
2.4. Fresa (<i>Fragaria Vesca</i>).....	15
2.4.1. Generalidades	15
2.4.2. Fitoquímicos de la fresa	16
2.4.3. Beneficios de la fresa en la salud humana	17
2.5. Jamaica (<i>Hibiscus sabdariffa</i>).....	18
2.5.1. Generalidades	18
2.5.2. Fitoquímicos de la jamaica	19
2.5.3. Beneficios de la jamaica en la salud humana	20
2.6. Desventajas de los compuestos fitoquímicos	21
2.7. Probióticos	21
2.7.1. Generalidades	21
2.7.2. Beneficios de los probióticos en la salud humana	22
2.7.3. Desventajas de los probióticos en los alimentos	23
2.8. Microencapsulación.....	24
2.8.1. Material de pared	25
2.8.2. Técnicas de microencapsulación	25
2.8.3. Secado por aspersion	26
III. JUSTIFICACIÓN	27
IV. HIPÓTESIS	28
V. OBJETIVOS	29
5.1. Objetivo general	29
5.2. Objetivos específicos.....	29

VI. METODOLOGÍA	30
6.1. Materiales.....	30
6.2. Obtención del polvo de fresa y jamaica	30
6.3. Determinación de humedad (%) en polvos de fresa y jamaica	31
6.4. Mezclas de polvos de fresa y jamaica	31
6.5. Obtención de extractos.....	32
6.6. Cuantificación de fenoles totales en diferentes mezclas.....	32
6.7. Capacidad antioxidante por el método ABTS en diferentes mezclas	32
6.8. Capacidad antioxidante por el método DPPH en diferentes mezclas	33
6.9. Stock de <i>Lacticaseibacillus paracasei</i> (L20)	33
6.10. Obtención de paquete celular de <i>Lacticaseibacillus paracasei</i> (L20)	34
6.11. Pruebas preliminares (viabilidad de <i>Lacticaseibacillus paracasei</i> en diferentes mezclas).....	34
6.12. Microencapsulación de mezclas fresa - jamaica.....	35
6.12.1. Activación de <i>Lacticaseibacillus paracasei</i>	35
6.12.2. Microencapsulación usando el secado por aspersión	35
6.13. Caracterización de microencapsulados	37
6.13.1. Viabilidad (%) de <i>Lacticaseibacillus paracasei</i> en microcápsulas	37
6.13.2. Cuantificación de fenoles en microcápsulas	38
6.13.3. Eficiencia de la microencapsulación	38
6.13.4 Actividad antioxidante en microencapsulados	39
6.13.4.1 Capacidad antioxidante por el método ABTS en microencapsulados	39
6.13.4.2 Capacidad antioxidante por el método DPPH en microencapsulados	39
6.13.5. Determinación de color en microencapsulados	40
6.13.6. Humedad (%) y actividad de agua (aw) en microencapsulados	40
6.13.7. Morfología de microencapsulados	40
6.13.8. Actividad antimicrobiana de microencapsulados	41
6.14. Análisis sensorial de la bebida elaborada a base de microencapsulados	41
VII. RESULTADOS Y DISCUSIONES	44
7.1. Cuantificación de fenoles totales en diferentes mezclas.....	44
7.2. Capacidad antioxidante por el método ABTS en diferentes mezclas	46
7.3. Capacidad antioxidante por el método DPPH en diferentes mezclas	47

7.4. Pruebas preliminares (viabilidad de <i>Lactocaseibacillus paracasei</i> en diferentes mezclas).....	49
7.5. Microencapsulación usando el secado por aspersión.....	50
7.5.1. Viabilidad (%) de <i>Lactocaseibacillus paracasei</i> en microcápsulas	50
7.5.2. Cuantificación de fenoles en microcápsulas y eficiencia de microencapsulación	51
7.5.3. Actividad antioxidante por el método ABTS y DPPH en microencapsulados	52
7.5.4. Determinación de color en microencapsulados	53
7.5.5. Determinación de humedad (%) y actividad de agua (aw) en microencapsulados	55
7.5.6. Morfología de microencapsulados	56
7.5.7. Actividad antimicrobiana de microencapsulados	57
7.6. Análisis Sensorial bebida elaborada a base de microencapsulados	59
VIII. CONCLUSIONES	61
IX. REFERENCIAS	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructuras química flavonoides	14
Figura 2. Flor y fruto de la fresa	15
Figura 3. Cálices de jamaica.....	18
Fuente: Vibra (s.f.).....	18
Figura 4. a) Fresa en polvo y b) tamizado de cálices de jamaica.	31
Figura 5. Paquete celular <i>Lacticaseibacillus paracasei</i> (L20).....	35
Figura 6. Secado de muestras de mezclas de fresa-jamaica en secador Buchi B-191.....	36
Figura 7. Polvo con microencapsulados de mezclas de fresa – jamaica en 75%-25% y 50%-50%, respectivamente, obtenidos mediante la técnica de secado por aspersión.	37
Figura 8. Bebida funcional y control elaborada con té de frutos rojos de la marca GN+VIDA.....	42
Figura 9. Micrografía de polvo microencapsulado de extractos de fresa/jamaica (50-50 %), observado a un aumento de 1000x.....	56
Figura 10. Micrografía de polvo microencapsulado de extractos de fresa/jamaica (75-25 %), observado a un aumento de 1000x	57
Figura 11. Gráfico análisis sensorial de una bebida funcional de jamaica/fresa 75%- 25%	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. División taxonómica de la fresa.....	15
Tabla 2. División taxonómica de la jamaica.	19
Tabla 3. Mezclas para la obtención de extractos a partir de polvos fresa-jamaica (base seca).....	31
Tabla 4. Fenoles totales en mezclas de jamaica y fresa en diferentes porcentajes. Expresados como mg equivalente de ácido gálico cada 100 gramos de muestra (base seca).....	44
Tabla 5. Actividad antioxidante obtenida por el método ABTS, expresada como mg equivalente de trolox cada 100 gramos de muestra en mezclas de jamaica y fresa a diferentes concentraciones	46
Tabla 6. Actividad antioxidante obtenida por el método DPPH, presentada por equivalente de ácido ascórbico cada 100 gramos de muestra en mezclas de jamaica y fresa a diferentes concentraciones.	48
Tabla 7. Viabilidad de <i>Lactocaseibacillus paracasei</i> L-20 en mezclas, durante la agitación en un tiempo de 1 h.	50
Tabla 8. Viabilidad de <i>Lactocaseibacillus paracasei</i> en microcápsulas	50
Tabla 9. Compuestos bioactivos totales y superficiales y eficiencia de microencapsulación (EM%)	52
Tabla 10. Capacidad antioxidante en microencapsulados con mezcla de fresa, jamaica y bacterias, utilizando el método ABTS y DPPH.	53
Tabla 11. Color de microencapsulados de mezclas de fresa – jamaica y probióticos.....	54
Tabla 12. Porcentaje de humedad y actividad de agua en microencapsulados.....	55
Tabla 13. Actividad antimicrobiana de microencapsulados contra bacterias Gram positivas	58
Tabla 14. Actividad antimicrobiana de microencapsulados contra bacterias Gram negativas	58

I. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades crónicas, también denominadas como enfermedades no transmisibles, se caracterizan por tener una evolución prolongada, teniendo como origen diversos factores, como lo son genéticos, fisiológicos ambientales y conductuales (OMS, 2024). Los cambios en los hábitos alimentarios en las sociedades industrializadas, con un exceso de grasas saturadas y alimentos procesados, y un consumo de frutas y verduras inferior al recomendado, se han relacionado con un aumento de enfermedades crónicas que tienen en su etiología factores nutricionales implícitos como diabetes, hipertensión arterial, aterosclerosis o cáncer (Guillamón, 2018). Paralelamente, los hábitos de vida sedentarios han incrementado los índices de sobrepeso y obesidad, especialmente entre la población joven. En años recientes, ha incrementado el interés de la sociedad por mantener un estilo de vida con una dieta adecuada y comprender como influye en la salud. En este escenario, la industria alimentaria está realizando una fuerte inversión en el desarrollo de productos saludables, lo que se refleja en el aumento de la presencia en los supermercados y medios de comunicación de alimentos funcionales, nutraceuticos o suplementos nutricionales (Guillamón, 2018). Actualmente, ha tomado gran relevancia el conocimiento sobre los compuestos bioactivos presentes en los alimentos, los cuales proporcionan beneficios a la salud. Una gran variedad de fitoquímicos bioactivos, entre los que se encuentran numerosos polifenoles, compuestos azufrados, fitoesteroles, terpenos, carotenoides e isoflavonas, son ampliamente reconocidos por ejercer una diversidad de efectos saludables al ser consumidos en la dieta. Para todos ellos, se han descrito los efectos beneficiosos derivados de su consumo, y se cuenta con una vasta evidencia epidemiológica, que demuestra que las personas que consumen una dieta alta en frutas, verduras, cereales y leguminosas, muestran menor riesgo de enfermedades cardiovasculares y cáncer, entre otras enfermedades crónicas (Lutz, 2013). Tal es el caso de la jamaica (*hibiscus sabdariffa*) y la fresa (*Fragaria vesca*), que tienen compuestos atractivos como fenoles, flavonoides, antocianinas. Por otro lado, es importante destacar la función de los probióticos, que son microorganismos vivos no patógenos, que aportan

diversos beneficios a la salud del huésped. Los probióticos participan en la prevención y tratamiento de enfermedades infecciosas agudas digestivas, enfermedades crónicas intestinales y hepáticas, actúan sobre la función inmune del huésped y la homeostasis intestinal, y pueden modular la microbiota intestinal (Castañeda, 2018). Sin embargo, Favaro *et al.*, (2010), menciona que estos compuestos fitoquímicos y probióticos son susceptibles a la degradación por factores como la luz y temperatura, por lo que se ha recurrido a una tecnología de preservación como lo es la microencapsulación, usando el secado por aspersión, el cual tiene como función principal reducir la volatilidad, la higroscopicidad, aumentando así, la estabilidad de productos que se encuentren en condiciones ambientales no favorables. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación consistió en microencapsular los compuestos fitoquímicos obtenidos de extractos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) y fresa (*Fragaria vesca*), en mezcla con probióticos, usando la técnica de secado por aspersión.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Enfermedades no transmisibles (ENT)

Las enfermedades no transmisibles (ENT), también conocidas como enfermedades crónicas, suelen ser de larga duración y son el resultado de una combinación de factores genéticos, fisiológicos, ambientales y de comportamiento (OMS, 2023). Los principales tipos de ENT son las enfermedades cardiovasculares (como los infartos de miocardio y los accidentes cerebrovasculares), el cáncer, las enfermedades respiratorias crónicas (como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica y el asma) y la diabetes (OMS, 2023). Las ENT afectan de forma desproporcionada a los habitantes de países de ingreso mediano bajo, donde se producen más de las tres cuartas partes de las muertes por ENT en el mundo (31.4 millones). Las enfermedades no transmisibles provocan el 74% de todas las muertes en el mundo, anualmente, siendo alrededor de 41 millones de personas al año. El consumo de tabaco, la inactividad física, el consumo nocivo del alcohol, una alimentación poco saludable y la contaminación atmosférica son factores que incrementan el riesgo de fallecer por una ENT (OMS, 2023).

2.2. Alternativas naturales para el tratamiento de ENT

Uno de los problemas que atraviesa la salud mundial está relacionada con la presencia de enfermedades crónicas, esto debido al no consumo de alimentos con contenido de bioactivos o fitoquímicos (Arias *et al.*, 2018). Los alimentos funcionales son aquellos que aportan beneficios para la salud o disminuyen el riesgo de sufrir enfermedades, además de satisfacer necesidades nutricionales (Barazarte *et al.*, 2015). Se ha puesto un mayor interés en la investigación acerca de los fitoquímicos de origen vegetal, considerados como alimentos funcionales. Las frutas y verduras no solo proveen vitaminas y minerales, necesarios para una vida saludable, sino también compuestos naturales con la potencialidad de proteger de enfermedades. Como consecuencia, este tipo de alimentos, se han comenzado a clasificarse como alimentos funcionales o nutracéuticos, por sus compuestos que aportan efectos positivos a su salud (Del Greco, 2010), previniendo enfermedades, y siendo opción

para encontrar en ellos una alternativa a su tratamiento, estos alimentos, se desarrollan mediante la incorporación de componentes bioactivos, probióticos, prebióticos, vitaminas o lípidos (Arias *et al.*, 2018). Los vegetales y las frutas son los alimentos que aportan fundamentalmente vitaminas, fibra dietética y fitoquímicos (Porrata *et al.*, 2009). Para obtener una dieta variada se deben seleccionar diariamente diferentes alimentos: cereales, viandas; vegetales y frutas (pueden disfrutarse en mayor cantidad); aves, pescados, huevo, frijoles en cantidades moderadas; aceites, azúcar y dulces en cantidades limitadas (Hernández, 2004). Un ejemplo, el consumo de cebolla, gracias a sus propiedades, actúa como protector de pequeños vasos en el sistema cardiovascular, así como los cítricos, además de ser preventivo de cáncer de colon en el sistema inmunológico (Álvarez *et al.*, 2017).

Asimismo, es importante introducir en la dieta diaria alimentos ricos en probióticos (Oliveria & González, 2016), el consumo de estos alimentos aumenta el promedio de vida, ya que la microbiota intestinal participa en la mejoría y desarrollo del sistema inmune, disminuyendo problemáticas relacionadas con el cáncer de colon (Narbona *et al.*, 2014; Hevia *et al.*, 2015; Cigarran *et al.*, 2017).

2.3. Características de los compuestos bioactivos o fitoquímicos

La mayoría de los compuestos bioactivos corresponden a metabolitos secundarios extraídos de fuentes naturales como plantas, animales, hongos y microorganismos (Banožić *et al.*, 2020; Zhang, Wen *et al.*, 2020). Estos compuestos han encontrado una amplia aplicación tanto en el uso y desarrollo de alimentos funcionales como en el tratamiento de diversas enfermedades (Banožić *et al.*, 2020; Zhang, Wen *et al.*, 2020). A fin de obtener principios activos medicinales inocuos y eficaces, se ha intensificado la búsqueda de fitoquímicos de origen vegetal derivados de vegetales considerados como alimentos funcionales. En este sentido, cabe mencionar que no sólo son necesarios los tres grandes pilares de la alimentación (proteínas, carbohidratos y grasas), sino que muchas otras sustancias químicas, ya sea de tipo orgánico o inorgánico, tienen efectos físicos y psicológicos beneficiosos (Cruzado & Cedrón, 2012). En efecto, se han descubierto que muchos alimentos tradicionales,

como las verduras, frutas, soya o la leche contienen componentes menos conocidos que pueden ser positivos para la salud, estos compuestos pueden ser variados: minerales, vitaminas, antioxidantes, etc (Cruzado & Cedrón, 2012).

Las plantas contienen metabolitos secundarios, que cumplen funciones clave en sus sistemas de defensa frente a factores externos como contaminantes ambientales, insectos y otras amenazas, además de su rol protector, dichos compuestos presentan propiedades farmacológicas, destacando actividad antioxidante, antibacteriana, antifúngica y demás (Abeysinghea *et al.*, 2021).

Los compuestos fenólicos son sustancias naturales originadas del metabolismo secundario de frutas y vegetales, se destacan por su capacidad antioxidante y contribuye al sabor, color, aroma y valor nutricional de los alimentos (Shahidi & Nacz, 2006). El grupo de los fenoles incluye a los flavonoides y sus subgrupos las antocianidinas, las catequinas, los ácidos gálicos y las isoflavonas. En relación a la actividad biológica de los flavonoides, se puede mencionar su acción contra alergias, inflamación, radicales libres, hepatotoxinas, microorganismos, úlceras, virus, tumores (Kinsella *et al.*, 1993). En la **Figura 1** se muestran las estructuras químicas de flavonoides.

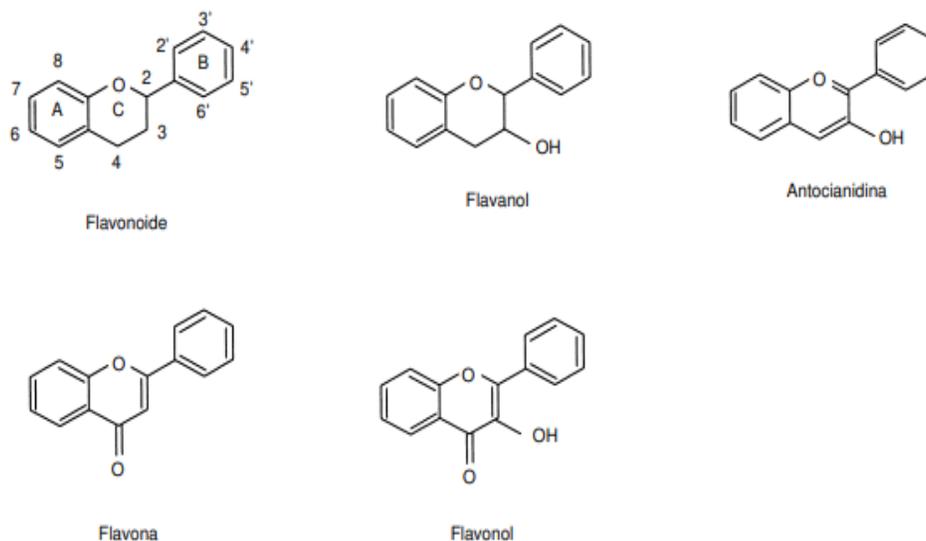


Figura 1. Estructuras química flavonoides

Fuente: Ochoa & Ayala (2004).

2.4. Fresa (*Fragaria Vesca*)

2.4.1. Generalidades

La fresa es una planta herbácea perteneciente a la familia de las rosáceas y al género *Fragaria* (Tabla 1). Si bien, desde el siglo XIV, ya se conocían las propiedades medicinales y beneficios de la *fragaria vesca*, inicialmente, solo se cultivaban con fines decorativos (Reigada, 2012). La planta es de tipo herbáceo, en tanto el sistema radicular es fasciculado y se compone de raíces y raicillas. Se trata de una planta que no supera los 50 cm de altura, con abundantes hojas originadas en una corona o rizoma muy corto, ubicado a nivel de suelo, constituyendo la base de crecimiento de la planta. Las flores son blancas, organizadas en cimas y tienen cáliz de 5 piezas hendidas, 5 pétalos como se observa en la Figura 2, (SAGARPA, 2017).

Tabla 1. División taxonómica de la fresa.

División taxonómica	
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Rosales</i>
Familia	<i>Rosaceae</i>
Género	<i>Fragaria L.</i>

Fuente: Darrow (1966).

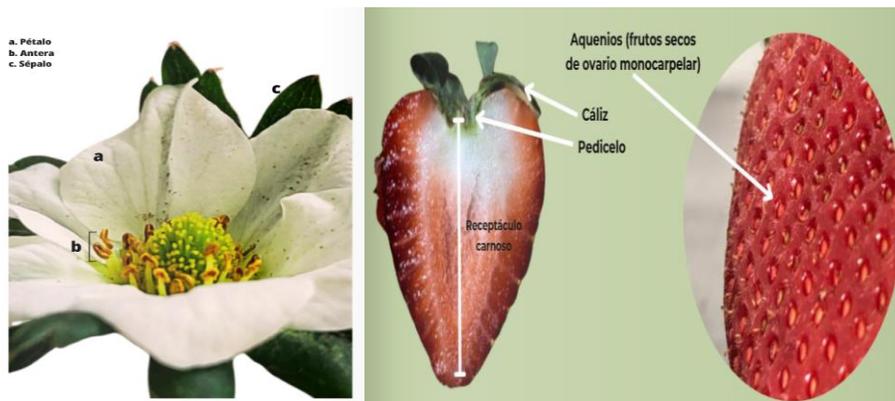


Figura 2. Flor y fruto de la fresa

Fuente: Sánchez *et al* (2023).

2.4.2. Fitoquímicos de la fresa

El elevado contenido de polifenoles presentes en alimentos como las fresas, incluyendo antocianinas y flavonoides, se ha vinculado en estudios clínicos y epidemiológicos a una reducción de factores antiinflamatorios y antitrombóticos (Basu *et al.*, 2010).

La fresa contiene altos valores de micronutrientes y compuestos fitoquímicos, que además de tener un papel importante en el metabolismo y crecimiento de las plantas, estos también son esenciales para los parámetros de calidad nutricional y organoléptica, como es el caso del contenido de azúcares, acidez, sólidos solubles, ácido ascórbico, compuestos fenólicos, flavonoides entre otros (Tulipani *et al.*, 2008). La fresa es una fuente importante de fitoquímicos; en particular la composición fenólica parece influir fuertemente en la calidad de los frutos, contribuyendo tanto a sus atributos sensoriales-organolépticos y a su valor nutricional. Las antocianinas son cuantitativamente el tipo más importante de polifenoles en la fresa (Lopez-da-Silva *et al.*, 2007).

Las propiedades bioactivas relacionadas con los frutos, hojas y también raíces de la fresa, se deben principalmente a la composición en compuestos fenólicos, incluyendo antocianinas, proantocianidinas, flavonoles y derivados de los ácidos hidroxycinámico y elágico (Simirgiotis & Schmeda-Hirschmann, 2010; Sun *et al.*, 2014). El ácido elágico, una de las bases de los taninos hidrolizables, se encuentra sobre todo en algunas bayas y nueces. Normalmente, se presenta en forma de elagitaninos o esterificado con glucosa, mientras que la forma libre de este compuesto raramente se encuentra (Clifford 2000). Las proantocianidinas, taninos condensados, también pueden encontrarse en altas concentraciones en las bayas, aunque suelen subestimarse debido a las dificultades asociadas a las metodologías de extracción, separación y análisis (Aaby *et al.*, 2012).

Los flavonoides y los ácidos fenólicos son los compuestos fenólicos más comunes en frutas pequeñas, con una fuerte capacidad antioxidante (Milivojević *et al.*, 2011). Diferentes extractos de *Fragaria vesca* poseen propiedades antioxidantes, antiinflamatorias, antibacterianas, astringentes, antidiarreicas y antidisentéricas

(Kiselova *et al.*, 2006; Kanodia *et al.*, 2011, Liberal *et al.*, 2014). Las propiedades bioactivas relacionadas con los frutos, hojas y también raíces de la fresa se deben principalmente a la composición en compuestos fenólicos, incluidas antocianinas, proantocianidinas, flavonoles y derivados de los ácidos hidroxicinámico y elágico (Simirgiotis & Schmeda-Hirschmann, 2010; Sun *et al.*, 2014).

2.4.3. Beneficios de la fresa en la salud humana

La fresa es rica en vitamina C y polifenoles, atribuyéndosele propiedades que contribuyen a la reducción de factores de riesgo como el colesterol LDL, glucosa en la sangre y resistencia a la insulina (López-Díaz *et al.*, 2021). Actualmente, debido al alto contenido de flavonoides, antocianinas, además de su aporte nutricional y vitaminas A y C (Cao *et al.*, 2011), son consideradas como productos nutraceuticos, aumentando posibilidades comerciales para productos como este. De la misma manera, aportan beneficios a la salud, como propiedades al sistema inmune, y circulatorio, propiedades antiinflamatorias, efectos inhibidores del crecimiento tumoral, destruyendo las células cancerosas (Sancho & Mach, 2015).

Las antocianinas aportan propiedades antioxidantes y protectoras del sistema cardiovascular. Las antocianinas son un glucósido de antocianidina. Como parte de su composición, presenta una aglicona unida a un azúcar, esto mediante un enlace glucosídico. Compuestos de este tipo, tienen aplicaciones en industrias como la alimentaria y farmacéutica. En las plantas se desarrollan diferentes funciones que en los humanos se reflejan beneficios y usos como antioxidantes y agentes terapéuticos. Por otro lado, las antocianidinas ofrecen protección a la oxidación del colesterol LDL, debido a su actividad antioxidante. (Sancho & Mach, 2015). Las raíces de la fresa silvestre se utilizan tradicionalmente para preparar decocciones e infusiones contra los síntomas de la tos, las infecciones urinarias, las hemorroides, la diarrea y la gota.

Estos preparados también presentan propiedades diuréticas, capacidad antidisentérica y antiséptica, funcionando como desintoxicante, emoliente y

dermatológico protector (Camejo *et al.*, 2003; Neves *et al.*, 2009; Özüdogru *et al.*, 2011; Savo *et al.*, 2011).

2.5. Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*)

2.5.1. Generalidades

También conocida como rosa de Abisinia, la jamaica, es una flor de color rojo (**Figura 3**), teniendo origen en África, utilizada principalmente en la gastronomía perteneciente a la familia *Malvácea* y al género *Hibiscus* (**Tabla 2**). Sus cálices, que son las flores de mayor valor comercial y relevancia socioeconómica, se utilizan para preparar diversas bebidas, como la tradicional agua de jamaica, concentrados, té, licores, así como para dulces, mermeladas y salsas, También resultan ser una buena fuente de colorantes, saborizantes, cosméticos y farmacéuticos. Esta planta, se desarrolla de manera óptima en zonas con clima tropical y subtropical, realizando su cultivo durante primavera verano, y su cosecha en octubre y noviembre, mientras que su comercialización se lleva a cabo entre diciembre y marzo. México cuenta con una producción de casi 7 mil toneladas de Jamaica y es el estado de Guerrero el principal productor (SADER, 2019).



Figura 3. Cálices de jamaica.

Fuente: Vibra (s.f.).

Tabla 2. División taxonómica de la jamaica.

División taxonómica	
Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Tracheobionta</i>
División	<i>Anthophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Malvales</i>
Familia	<i>Malvácea</i>
Género	<i>Hibiscus</i>
Especie	<i>Sabdariffa Linn</i>

Fuente: Cronquist, (1981).

2.5.2. Fitoquímicos de la jamaica

H. sabdariffa se ha utilizado en la medicina popular como tratamiento para varias enfermedades (Ali *et al.*, 2005). Más recientemente, se ha informado que los extractos de *H. sabdariffa*, tienen propiedades bioactivas que actúan de manera importante en la prevención de enfermedades crónicas como la hipertensión (Ali *et al.*, 2005, McKay *et al.*, 2010). Los cálices representan la parte más preciada de *hibiscus sabdariffa*, ya que ahí se concentran antioxidantes, pigmentos naturales y ácidos orgánicos, compuestos que justamente influyen significativamente en la importancia y demanda en el mercado que ésta tiene (Patel, 2014). A nivel nacional, el uso primordial de los cálices es la obtención de extractos, ya sea en infusiones o decocciones, principalmente, para la elaboración de bebidas refrescantes, siendo atractivas debido a sus características de color y palatabilidad (Fasoyiro *et al.*, 2005), los efectos antioxidantes que presenta (Tsai *et al.*, 2002; Prenesti *et al.*, 2007) así como sus propiedades medicinales (Herrera *et al.*, 2007; Reyes *et al.*, 2015). Los compuestos bioactivos de resalta de la jamaica, son los flavonoides, antocianinas y ácidos orgánicos (Fernández *et al.*, 2011; Sindi *et al.*, 2014), cuyas propiedades antioxidantes se han evaluado *in vitro* e *in vivo* (Herrera *et al.*, 2004; Ojeda *et al.*, 2010). Industrias como la alimentaria, farmacéutica y cosmética tienen un interés especial por genotipos de *H. Sabdariffa* con ciertas características de color, acidez, y contenido fitoquímico (Patel, 2014). Los cálices de Roselle son una

fuerza abundante e interesante de moléculas bioactivas como polifenoles y flavonoides, que han demostrado potencial antioxidante, hipocolesterolémico, antihipertensivo, antimicrobiano, antiinflamatorio, antidiabético y anticancerígeno (Izquierdo *et al.*, 2020). Los cálices de *H. Sabdariffa*, han tenido reconocimiento como fibra dietética, antioxidante (Sáyago *et al.*, 2014) además de presencia de compuestos antioxidantes con efectos antihipertensivos, antihipercolesterolémicos y anticancerígenos (Lin *et al.*, 2011).

2.5.3. Beneficios de la jamaica en la salud humana

La jamaica aporta distintos efectos benéficos para la salud como actividad bactericida, antimicótica, hipocolesterolémicos, diuréticos, antiinflamatorios, antihipertensivos, entre otros (Maganha *et al.*, 2010). También se conoce que contiene otros compuestos fitoquímicos tales como compuestos fenólicos, flavonoides, ácido ascórbico, b-caroteno y polisacáridos. Muchas de estas moléculas son las responsables de las propiedades funcionales que se le atribuyen a la jamaica (Hirunpanich *et al.*, 2006). Se ha documentado diversos beneficios a la salud, siendo uno de los más reconocidos su capacidad para disminuir la presión arterial, efecto relacionado con su función relajante sobre vasos sanguíneos (Herrera *et al.*, 2004). Sus cálices se aprovechan para elaborar bebidas frías o calientes, mermeladas, salsas, y aderezos, además que posee acciones farmacológicas importantes, que han sido identificadas en flores, pétalos y semillas, principalmente anti arterioscleróticas y cardioprotectoras (Odigie *et al.*, 1990; Chen *et al.*, 2003), reducción de las concentraciones de creatinina en orina, ácido úrico, citrato, tartrato, calcio, sodio, potasio y fosfato (Mojiminiyi, 2000).

Se tiene efectos benéficos en la salud, tales como actividad antioxidante, antihipertensiva, antihiperlipidémica, antiinflamatoria, antibacteriana, efecto citotóxico selectivo, entre otros (Martínez-Ramírez *et al.*, 2024; Herrera-Arellano *et al.*, 2004)

El potencial antioxidante de *Hibiscus sabdariffa*, ha sido asociado con la reducción del riesgo de ciertas enfermedades crónicas, la prevención de algunas

enfermedades cardiovasculares y de algunas clases de cáncer (Estrada *et al.*, 2012). Propiedades medicinales presentes en los cálices de la jamaica tienen relevancia, ya que funcionan como diurético (Márquez *et al.*, 2007), disminuir niveles de colesterol (Agpreyo *et al.*, 2008), regulación de la presión arterial (Ojeda *et al.*, 2009), antibacteriana (Olaleye, 2007); para regenerar tejidos dañados, especialmente, en condiciones relacionadas con enfermedades degenerativas (Liang-Chih *et al.*, 2009); para disminución del exceso de peso corporal (Alarcón *et al.*, 2007), potencial antiviral (Omilabu *et al.*, 2010), prevención y disminución de cálculos renales (Woottisin *et al.*, 2011) y además actúa como un agente purificador (Yongabi *et al.*, 2011).

2.6. Desventajas de los compuestos fitoquímicos

Por su compleja estructura química y gran tamaño (en el caso de formas polimerizadas), la absorción intestinal de fitoquímicos es generalmente escasa, alcanzando concentraciones demasiado bajas en la circulación (del orden del nanomolar) que permitan explicar sus efectos biológicos (Bohn, 2014).

Los compuestos bioactivos se caracterizan por ser susceptibles a una rápida inactivación o degradación una vez extraídos de su fuente original (de Vos *et al.*, 2010). En consecuencia, es necesario algún tipo de procesamiento o sistema de entrega para asegurar la efectividad de los fitoquímicos en el cumplimiento de las funciones destinadas. Esto se debe a que los fitoquímicos son propensos a destrucción y oxidación debido a factores ambientales tales como luz y oxígeno; la técnica empleada para prevenir su exposición a condiciones ambientales adversas es la microencapsulación (Saikia *et al.*, 2015).

2.7. Probióticos

2.7.1. Generalidades

Según la FAO/OMS en 2001, los probióticos son microorganismos vivos que, al ser consumidos en la cantidad adecuada, aportan beneficios a la salud del hospedador, sin embargo, generalmente un producto probiótico debería contener $>10^6$ - 10^8 UFC/g ó $>10^8$ - 10^{10} UFC/dosis de células viables (Champagne *et al.*, 2011). La mayoría de los probióticos son bacterias, entre las cuales las BAL son el tipo más

común, pero algunos mohos y levaduras también se pueden usar como probióticos. Los géneros comúnmente utilizados como probióticos incluyen, las bacterias *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Lactococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Propionibacterium*, *Leuconostoc* y especies de *Bacillus*, levaduras como *Saccharomyces*, y hongos como *Aspergillus* (Amara, *et al.*, 2015).

Los probióticos pueden generar múltiples efectos beneficiosos mediante diversos mecanismos, lo que les permite participar en la prevención y tratamiento de infecciones, así como el enriquecimiento nutricional de los alimentos (Tamang, *et al.*, 2016).

2.7.2. Beneficios de los probióticos en la salud humana

El consumo de especies de probióticos ya sea a través de productos lácteos fermentados o como células vivas presentes en otros productos, ha sido asociado con muchos beneficios para la salud en humanos, como efectos benéficos contra enfermedades del tracto intestinal, control de infecciones en el intestino por patógenos entéricos, control de infecciones en el tracto urogenital, reducir incidencia de diarreas, tumores de cáncer en colon, u otros órganos, colesterol sérico y enfermedades cardiacas, estimula el sistema inmune y el movimiento intestinal (Nayaran *et al.*, 2010).

En presencia de trastornos de la colonización y como coadyuvante en determinadas específicas condiciones son usados con provecho (Valdovino *et al.*, 2017). Además de su eficacia en el tratamiento de la diarrea aguda, se ha comprobado que es útil en la bolsitis de pacientes sometidos a cirugía por colitis ulcerosa, ya que ayuda a reducir la inflamación, promover la remisión y disminuir de manera significativa la probabilidad de recaídas (Gionchetti *et al.*, 2007); como coadyuvante del tratamiento en la diarrea asociada a antibióticos y recurrencia de la infección por *Clostridium difficile* (Johnson *et al.*, 2012); y en presencia de *Helicobacter pylori* se ha observado una disminución en la capacidad de adherencia a la mucosa del estómago (Floch *et al.*, 2017).

En los ancianos, la contribución de su administración para estimular la actividad inmunitaria es evidente, la cual se reduce al detener la administración del probiótico (Floch *et al.*, 2017). La ingesta de yogurt con probióticos, de dos a tres veces diarias, contribuye a regularizar el tránsito intestinal, en los sujetos en quienes presentan el antecedente de ser prolongado, por padecer de estreñimiento (Floch *et al.*, 2017). En la intolerancia a la lactosa del anciano es recomendada la administración de probiótico. El potencial uso de yogur en la senilidad no ha sido estudiado a plenitud. Nuevas investigaciones permitirán determinar acerca de sus indicaciones con beneficiosos efectos (Floch *et al.*, 2017).

2.7.3. Desventajas de los probióticos en los alimentos

Se ha observado la presencia de estrés, acidez gástrica, sales biliares, sensibilidad a enzimas, niveles de oxígeno, pH, presencia de inhibidores, temperatura y la composición de matrices de alimentos interfieren significativamente en pérdidas de la viabilidad y sobrevivencia de los microorganismos probióticos. Se ha demostrado que la viabilidad, estabilidad y supervivencia de los microorganismos probióticos decrece rápidamente en el alimento con valores de concentración por debajo de los necesarios para ejercer su efecto en el sitio de acción (Kailasapathy, 2006). Las condiciones perjudiciales para la supervivencia de cultivos probióticos en productos lácteos fermentados por: acidez, pH, peróxido de hidrógeno, temperatura de almacenamiento, presencia de otras especies y cepas, concentración de los ácidos láctico y acético y presencia de la concentración de proteínas de suero de leche (Kailasapathy, 2006). Después de ser ingeridos, la supervivencia de los probióticos depende en gran medida de su capacidad para resistir las condiciones del tracto gastrointestinal. Lahtinen en 2012, menciona que particularmente, afectan el entorno ácido del estómago y a la acción de sales biliares en el intestino. Asimismo, influyen factores como la actividad de enzimas pancreáticas, el estado del sistema inmune del individuo y la composición de su microbiota intestinal también influye en su viabilidad. Factores como estos, son difíciles de controlar, especialmente cuando la matriz alimentaria no proporciona protección adecuada hasta que los

microorganismos alcanzan su lugar principal de acción, que es el colon (Sanders & Marco, 2010).

2.8. Microencapsulación

Hay numerosos métodos de microencapsulación disponibles que se eligen dependiendo de la naturaleza de la sustancia encapsulada y el tipo de material de pared utilizado (Nesterenko *et al.*, 2013). El método elegido para llevar a cabo la microencapsulación se determina en función del uso previsto y de diversos factores, como el tamaño deseado de las partículas, las características fisicoquímicas del compuesto a encapsular, los materiales que se emplearán como recubrimiento, el mecanismo mediante el cual se liberará el contenido, así como los costos asociados al proceso, etc. El mismo autor menciona que el objetivo y finalidad de la microencapsulación es resguardar el contenido interno frente a factores del entorno, como la humedad, la acidez y la oxidación (Nesterenko *et al.*, 2013).

En el sector alimentario, la microencapsulación se aplica por diversas razones, entre las que destacan:

1. Proteger los ingredientes activos frente a factores ambientales que puedan afectar su estabilidad.
2. Limitar la difusión del componente encapsulado hacia el medio externo
3. Facilitar el manejo del producto al modificar las propiedades físicas del ingrediente original.
4. Ocultar o modificar de manera positiva sabores u olores no deseados presentes en los compuestos activos.
5. Permitir la dilución del ingrediente cuando su uso debe ser en cantidades mínimas.
6. Regular la liberación del ingrediente activo mediante el tiempo, ya sea de forma prolongada o en cierto momento específico (Gharsallaoui *et al.*, 2007; Fang & Bhandari, 2010).

2.8.1. Material de pared

El material pared particularmente afecta la estabilidad de las micropartículas, la eficiencia del proceso y el grado de protección del núcleo activo. Los materiales comúnmente usados en la composición de ingredientes encapsulados, son polímeros sintéticos y copolímeros, materiales tales como carbohidratos, grasas, ceras y proteínas de origen animal y vegetal. En el sector farmacéutico, se utilizan polímeros, que son derivados del petróleo, como base para la preparación de micropartículas, como poliestirenos, poliamidas, poliuretanos, poliacrilatos, polímeros fenólicos y polietilenglicol (Nesterenko *et al.*, 2013). En el caso del sector alimentario, existe una amplia variedad de materiales pared que se pueden emplear como agentes encapsulantes, o capas protectoras en procesos de microencapsulación, dentro de los cuales se encuentran algunas gomas, azúcares, polisacáridos naturales, así como modificados, y polímeros sintéticos (Bakowska-Barczak & Kolodziejczyk, 2011; Fang & Bhandari, 2010). Los polímeros de hidratos de carbono son los materiales de encapsulamiento más utilizados en comparación con las proteínas y lípidos (Madene *et al.*, 2006).

2.8.2. Técnicas de microencapsulación

La elección de una técnica de microencapsulación para un proceso particular, dependerá del tamaño, biocompatibilidad y biodegradabilidad de las micropartículas, las propiedades fisicoquímicas del material núcleo y pared, la aplicación de las micropartículas, el mecanismo propuesto para liberar el núcleo activo y el costo del proceso. Se pueden utilizar varios procesos para obtener ingredientes encapsulados: secado por aspersion, lecho fluidizado, separación de fase (coacervación), gelación, evaporación de solvente, expansión de fluido supercrítico, polimerización interfacial (policondensación), polimerización en emulsión, atrapamiento de liposoma, separación por liofilización, suspensión cocrystalización centrífuga, y extrusión (Fang & Bhandari, 2010).

2.8.3. Secado por aspersión

El secado por aspersión es una técnica utilizada para transformar líquidos en polvo, mediante la pulverización del producto en una corriente de gas caliente, usualmente aire. El líquido que se introduce en el sistema puede ser una solución, emulsión o suspensión. Conforme al material inicial y parámetros de proceso, este método permite la producción de un polvo muy fino (10-50 μm) o partículas de tamaño grande (2-3 mm) (Gharsallaoui *et al.*, 2007). La microencapsulación mediante el secado por aspersión se cataloga como un método eficiente cuando se logra incorporar la mayor cantidad posible del compuesto bioactivo en las partículas, se obtiene estabilidad de las microcápsulas y se prolonga la vida útil del producto. Por ello, es fundamental conocer las características de los materiales, así como del polvo deseado (Medina *et al.*, 2013).

III. JUSTIFICACIÓN

Las enfermedades no transmisibles (ENT), tienen un alto impacto en la sociedad, debido a que la OMS (2023), reportó que es la causa del 74% de las muertes en el mundo. A través de los años, la mala alimentación ha estado íntimamente relacionada con las ENT, por eso se han propuesto alternativas naturales para coadyuvar y prevenir en el tratamiento de las enfermedades y proponer alimentos funcionales, ha sido responsabilidad en la investigación en el área de los alimentos. Se ha reportado que la fresa (*Fragaria vesca*) y la jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) poseen un alto contenido de fitocompuestos, que son atractivos por sus beneficios en la salud, como polifenoles, antocianinas y vitaminas etc. Sin embargo, en su mayoría estos compuestos son susceptibles a la degradación por diferentes factores como la luz, la temperatura y el pH. Por otro lado, los probióticos son bacterias que cuando son administradas en dosis de 10^8 - 10^9 UFC/g o mL pueden ofrecer beneficios a la salud, sin embargo, estos organismos son susceptibles a factores como cambios de pH, temperatura y a actividad enzimática en el tracto gastrointestinal. Tanto fitoquímicos como probióticos son susceptibles a factores de degradación por lo que se ha recurrido a la microencapsulación de fitoquímicos y probióticos. La microencapsulación inhibe las interacciones químicas; protege contra los efectos de factores ambientales (por ejemplo, temperatura, pH, enzimas y oxígeno); y permite la liberación controlada del componente activo bajo ciertas condiciones. El secado por aspersión ofrece ventajas como la estabilidad química y biológica de los compuestos bioactivos, un tamaño de partícula definida, estabilidad de las microcápsulas, conservación de las propiedades de los compuestos bioactivos, por lo que resulta de gran interés para preservar fitoquímicos y crear una barrera protectora para los probióticos. Hay pocos estudios sobre el proceso de microencapsulación de extractos naturales en mezcla con probióticos, por lo anterior el objetivo de este trabajo fue microencapsular extracto de fresa (*Fragaria vesca*) con jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en combinación con probióticos usando el secado por aspersión.

IV. HIPÓTESIS

Es posible mantener la viabilidad de compuestos fitoquímicos de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) y fresa (*Fragaria vesca*), en mezcla con probióticos, mediante microencapsulación por secado por aspersión, con actividad antioxidante y antimicrobiana.

V. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Microencapsular compuestos fitoquímicos obtenidos de extractos de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) y fresa (*Fragaria vesca*), en mezcla con probióticos, usando la técnica de secado por aspersión con el fin de conservar su viabilidad y capacidad antioxidante

5.2. Objetivos específicos

1. Obtener extractos acuosos de jamaica (*hibiscus sabdariffa*) y fresa (fragaia) en diferentes proporciones (%), y cuantificar fitoquímicos como fenoles totales, flavonoides totales, antocianinas, y la capacidad antioxidante mediante métodos espectrofotométricos.
2. Microencapsular los extractos en mezcla con probióticos usando el secado por aspersión.
3. Caracterizar los microencapsulados en términos de contenido de compuestos fitoquímicos (fenoles totales, flavonoides totales, antocianinas), viabilidad bacteriana, actividad de agua, humedad (%), morfología (MEB) y actividad antimicrobiana.
4. Formular una bebida funcional con los microencapsulados obtenidos y evaluar su aceptación mediante un análisis sensorial.

VI. METODOLOGÍA

6.1. Materiales

Se adquirió la fresa (paquete de 454 g fresas de la marca Naturipe farmed fresh) en un súper mercado de la Ciudad de Pachuca Hidalgo, la jamaica fue adquirida con productores de Guerrero, México. La bacteria ácidoláctica utilizada fue *Lactocaseibacillus paracasei* (L20) y las cepas utilizadas en la actividad antimicrobiana fueron *Escherichia coli* (O157:H7 E09), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), *Salmonella tiphymurium* (ATCC 14028) y *Listeria monocytogenes* (ATCC 19115) fueron proporcionadas por el Laboratorio de Microbiología de Alimentos del Área Académica de Química de la Universidad Autónoma de Estado de Hidalgo.

6.2. Obtención del polvo de fresa y jamaica

Se pesaron 200 g de fresas, se lavaron y se cortaron en finas rebanadas, se colocaron en tapetes de silicón y en las respectivas charolas de la estufa (OVEN SERIES 9000, EUA, Thermolyne) a 28 °C con aireación total por 24 h con la finalidad de eliminar la mayor humedad posible en las muestras y se procesaron en el molino Nutribullet. Finalmente, se pasó el polvo obtenido de la molienda por un tamiz de No. 30, (30 µm), con la finalidad de obtener polvos homogéneos (**Figura 4**).

Los cálices de jamaica secos se molieron directamente en el molino Nutribullet y de la misma manera que la fresa, se tamizaron por una malla No. 30 para obtener polvos homogéneos (**Figura 4**). Ambas muestras se colocaron en bolsas de plástico ziploc, envueltas en papel aluminio para ser protegidas de la luz y selladas, para su posterior análisis, de acuerdo con lo descrito por Sánchez (2016).

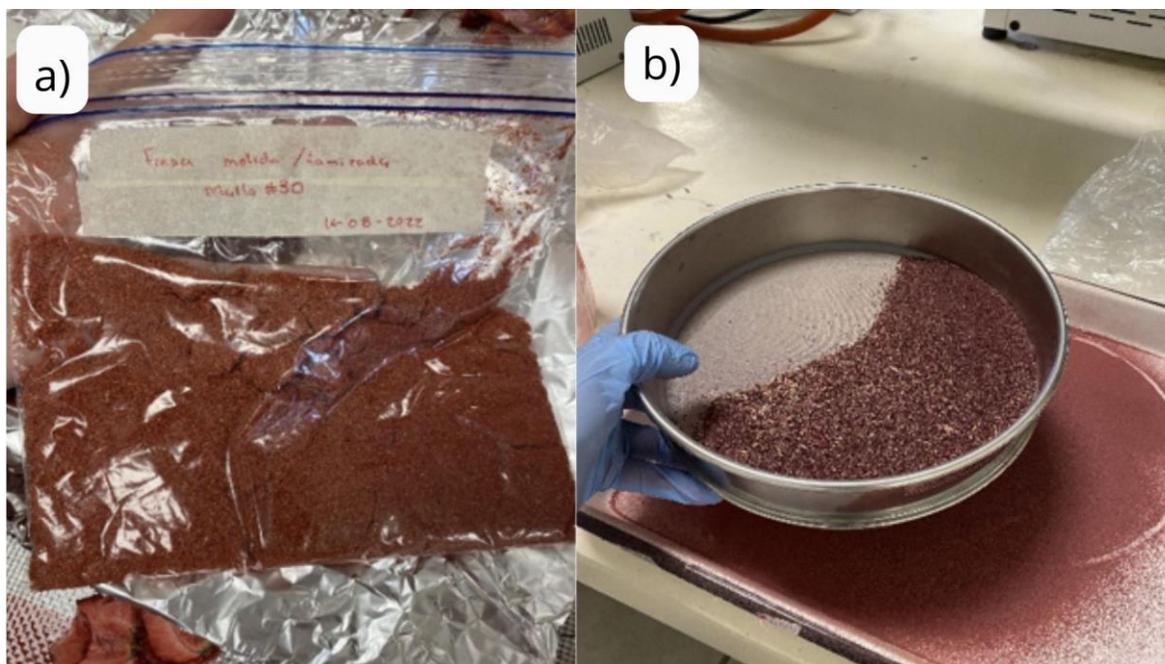


Figura 4. a) Fresa en polvo y b) tamizado de cálices de jamaica.

6.3. Determinación de humedad (%) en polvos de fresa y jamaica

Para realizar la determinación de humedad (%), de los polvos de jamaica y de fresa, se pesó 1 gramo de cada muestra y se utilizó una termobalanza (OHAUS, Switzerland).

6.4. Mezclas de polvos de fresa y jamaica

Se obtuvieron los extractos acuosos con y sin ebullición, para cada tipo de extracto se realizaron las siguientes mezclas (**Tabla 3**) de los polvos de fresa - jamaica base seca.

Tabla 3. Mezclas para la obtención de extractos a partir de polvos fresa-jamaica (base seca).

Mezcla/porcentaje	Peso (base seca)
Jamaica (100%)	(0.2 g / 10 mL)
Fresa (100%)	(0.2 g / 10 mL)
Fresa/jamaica (50-50%)	(0.1 g / 0.1 g / 10 mL)
Fresa/jamaica (25-75%)	(0.05 g / 0.15 g / 10 mL)
Fresa/jamaica (75-25%)	(0.15 g / 0.05 g / 10 mL)

6.5. Obtención de extractos

Se pesaron las muestras de los polvos de jamaica y fresa de acuerdo con las combinaciones ya establecidas en la Tabla 3, en tubos eppendorf y por triplicado, a cada tubo se les adicionaron 1.5 mL de agua y se centrifugaron a 3500 rpm durante 10 minutos, se realizaron 3 lavados, tomando el sobrenadante y colocándolo en un matraz aforado de 10 mL. Para los extractos en ebullición se realizó el mismo procedimiento, únicamente que posterior a añadir 1.5 mL de agua, se llevó a ebullición por 10 minutos, se dejó enfriar un poco y se ingresó a la centrifuga a 3500 rpm por 10 minutos, para realizar sus tres lavados y aforar a 10 mL.

6.6. Cuantificación de fenoles totales en diferentes mezclas

Los fenoles totales se cuantificaron siguiendo la metodología Folin-Ciocalteu (Vargas *et al.*, 2018). Se realizó una curva de calibración de ácido gálico de 0 a 150 ppm. En tubos Eppendorf, se colocaron 250 μ L de extracto de las mezclas, 625 μ L de reactivo de Folin-Ciocalteu al 10%, se agitó y dejó reposar por 3 min y por último se agregaron 500 μ L de NaCO_3 al 7.5%. Los tubos se agitaron y dejaron en reposo por 2 h, se utilizó agua como blanco. Transcurrido el tiempo, se midió la absorbancia a 760 nm, en el espectrofotómetro Genesys 10S UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, EUA). Se determinaron las concentraciones en cada extracto interpolando las absorbancias a una curva de calibración con ácido gálico. Los resultados se reportaron como mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de harina de fresa y jamaica solas y en las respectivas combinaciones (mg EAG / g).

6.7. Capacidad antioxidante por el método ABTS en diferentes mezclas

Se utilizó la metodología descrita por Kuskoski *et al* en 2004, el radical ABTS se obtuvo por medio de la reacción del ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS) al 7 mM con persulfato potásico al 2.45 mM, como concentración final, se dejó reposar a temperatura ambiente, en la oscuridad durante 16 h. Una vez formado el radical ABTS, se diluyó con 45 mL de etanol, hasta obtener un valor de absorbancia de 0.70 a 732 nm. Se utilizó una curva de trolox, como antioxidante de referencia, de 0 a 150 ppm. En tubos Eppendorf se colocaron 50 μ L del estándar

o de los extractos y 1.050 mL del ABTS, previamente formado, 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/g de harina de fresa y jamaica solas y en las respectivas combinaciones (mg ET/g).

6.8. Capacidad antioxidante por el método DPPH en diferentes mezclas

Se empleó el método desarrollado por Kim *et al.* (2002). Se preparó una solución de 1.185 mg de DPPH (2,2- difenil-1-picrilhidrazil) disueltos en 50 mL metanol, ajustando la absorbancia a 0.70 ± 0.03 unidades a una longitud de onda de 515 nm. Se usó una curva patrón de ácido ascórbico, de 0 a 150 ppm. En tubos Eppendorf se añadió 50 µL del estándar o de los extractos a analizar y 1.050 mL de DPPH, se dejaron reposar por media hora y se midió la absorbancia a 515 nm en el espectrofotómetro de UV-Vis, utilizando la correspondiente regresión lineal se determinó la capacidad de los extractos para abatir al radical, reportando los resultados en mg equivalentes de ácido ascórbico/g de harina de fresa y jamaica solas y en las respectivas combinaciones (mg EAA/g).

6.9. Stock de *Lacticaseibacillus paracasei* (L20)

Se realizó un stock (cultivo en congelación) de la bacteria *Lacticaseibacillus paracasei* (L20) siguiendo un protocolo adaptado de Yildirim y Turantas (2024). Se inoculó (100) µL en un tubo de 10 mL con caldo MRS con la bacteria L-20 y se incubó por 24 horas a 37°C. Se realizaron tres transferencias sucesivas, incubándolas respectivamente, al finalizar, la última se centrifugó por 15 minutos a 4500 rpm, se decantó el sobrenadante y se agregaron 5 mL de solución salina al 0.9%, al paquete celular, este procedimiento se repitió dos veces más hasta obtener el paquete celular al cual, se le agregaron 8.5 mL de caldo MRS y 1.5 mL de glicerol previamente esterilizados. Se llevó al vórtex hasta homogeneizar y la solución stock de la bacteria, se conservó en tubos eppendorf (1 mL) en congelación de acuerdo a metodología de Hernández *et al.*, (2018).

6.10. Obtención de paquete celular de *Lacticaseibacillus paracasei* (L20)

Continuando con lo descrito por Hernández *et al.*, (2018), del stock previamente obtenido, se tomaron 150 μ L para inocular tubos de 3 mL en MRS caldo, se incubó 24 horas a 37°C, después del tiempo de incubación se tomó una alícuota de 200 μ L y se colocó en tubos falcon con 40 mL de caldo MRS la muestra se incubó durante 24 horas a 37°C. Posteriormente se centrifugaron las muestras a 3500 por 20 minutos y se decantó el sobrenadante. Se realizó un lavado con agua peptonada estéril (20 mL) y se llevó al vórtex unos segundos para homogeneizar, por último, los tubos Falcón con las bacterias se centrifugaron a 3500 rpm durante 20 minutos y se decantó el sobrenadante, el paquete celular quedo como precipitado en el tubo.

6.11. Pruebas preliminares (viabilidad de *Lacticaseibacillus paracasei* en diferentes mezclas)

En un vaso de precipitado se preparó una mezcla de 30 mL de agua, con 3.5 g de polvos finos de fresa y jamaica en total (mezcla 50%-50%.) y 10.5 gramos de almidón N-Lock. A la mezcla se le agregó el paquete celular, obtenido anteriormente, re suspendido en 5 mL de agua, se mezcló en una parrilla con agitación durante dos minutos y se tomó una alícuota de 1 mL de la muestra (tiempo cero) y se realizaron las diluciones en peptona para conocer la concentración inicial. Las muestras se sembraron en agar MRS por el método de vaciado en placa, se incubaron a 37 °C y posterior a las 48 h se realizaron los conteos de las colonias para el cálculo de las UFC/mL. La misma muestra se dejó en agitación constante y después de una hora, se repitió el procedimiento tomando otra alícuota de 1 mL y realizando las diluciones seriadas, sembrado en MRS agar e incubación y conteo de las colonias para la obtención de las UFC/mL. Se realizaron estas pruebas preliminares siguiendo el mismo procedimiento con cada mezcla, modificando los porcentajes de los polvos fresa-jamaica de acuerdo con la Tabla 3, esto para considerar los Log UFC7g antes de agitación y 1 hora después de agitación, como lo indica Rajam y Anandharamakrishnan (2015).

6.12. Microencapsulación de mezclas fresa - jamaica

6.12.1. Activación de *Lacticaseibacillus paracasei*

Del stock de de *Lacticaseibacillus paracasei* (L20) se activó la bacteria ácido láctica (L-20), se tomaron 150 μ L para inocular tubos de 3 mL e incubar 24 horas a 37°C, pasado el tiempo de incubación, el tubo se homogenizó por 5 segundos, en el vortex, después se tomó una alícuota de 200 μ L de la bacteria activada y se inocularon en tubos marca falcon con 40 mL de caldo MRS estéril y se incubaron durante 24 horas a 37°C. Posteriormente los tubos Falcon con masa celular se centrifugaron a 3500 rpm durante 20 minutos y se decantó el sobrenadante para desechar los residuos tóxicos (sobrenadante). Se realizaron dos lavados al paquete celular se agregaron 20 mL de agua peptonada estéril y se centrifugó nuevamente en las mismas condiciones antes mencionadas. Finalmente se obtuvo el paquete celular como se muestra en la Figura 5, el cual se utilizó para adicionarlo a los microencapsulados. Se utilizó el procedimiento descrito por Continuando con lo descrito por Hernández *et al.*, (2018).



Figura 5. Paquete celular *Lacticaseibacillus paracasei* (L20).

6.12.2. Microencapsulación usando el secado por aspersion

Para la preparación de las mezclas de acuerdo con la **Tabla 3**, y pasadas por el secado por aspersion, se siguió el protocolo descrito por Hernández *et al.*, (2018).

Se utilizaron 100 mL de agua estéril, 10 g polvo fino en total de la mezcla (con una relación fresa: jamaica) pesos en base seca, 30 g del material pared (N-lok) (Marca Ingredion, México) y el paquete celular de la BAL previamente obtenido ($\approx 10^9$ UFC/mL). A la mezcla de jamaica y fresa, se le agregaron 90 mL de agua estéril, se homogenizó de manera manual y posteriormente se filtró con ayuda de una bomba de filtración al vacío (Marca Felisa). Una vez filtrado se agregaron los 30 g de N-lok y se llevó al homogeneizador (IKA T25, Ultra Turrax, Alemania) durante 3 minutos a 10000 rpm. Al finalizar los 3 minutos se agregó el paquete celular disuelto en 10 mL de agua estéril y se pasó nuevamente por el homogeneizador a 3000 rpm por 10 s, de la mezcla se tomó una alícuota de 1 mL, se realizaron diluciones seriadas, sembrado por vaciado en placa con agar MRS, incubación y conteo de colonias para medir las UFC/mL. En un vaso de precipitado protegido de la luz se colocaron 100 mL de la mezcla preparada, y se realizó el proceso de secado. El proceso de microencapsulación se llevó a cabo utilizando un spray dried marca Buchi B-191 Labortechnik (Flawil, Suiza) como se indica en la **Figura 6**, para ello, se usó una velocidad de entrada de la muestra de 3.5 mL / min con una temperatura de entrada de secado de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$ con un y una temperatura de salida $74^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$.



Figura 6. Secado de muestras de mezclas de fresa-jamaica en secador Buchi B-191.

6.13. Caracterización de microencapsulados

6.13.1. Viabilidad (%) de *Lacticaseibacillus paracasei* en microcápsulas

El recuento bacteriano de las BAL L-20 (polvo) (**Figura 7**) posterior al proceso de secado por aspersión, se realizó por triplicado 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 y se sembraron en cajas Petri con agar MRS. Las cajas fueron incubadas en posición invertida a 37 °C durante 48 h y se realizó el recuento de colonias, este procedimiento se realizó el mismo día en que fueron obtenidas las microcápsulas (No). El porcentaje de viabilidad de las bacterias encapsuladas fue calculado empleando la siguiente ecuación propuesta por Rajam y Anandharamakrishnan (2015):

$$\% \text{ de viabilidad} = N/\text{No} \times 100$$

Donde:

N= Número de bacterias viables en las cápsulas después del secado por aspersión.

No= Número de bacterias viables antes del secado.



Figura 7. Polvo con microencapsulados de mezclas de fresa – jamaica en 75%-25% y 50%-50%, respectivamente, obtenidos mediante la técnica de secado por aspersión.

6.13.2. Cuantificación de fenoles en microcápsulas

Los fenoles totales se cuantificaron siguiendo la metodología descrita por Pekal y Pyrzynska (2014), con algunas modificaciones. Se realizó una curva de calibración de ácido gálico de 0 a 150 ppm. En tubos Eppendorf, se colocaron 250 μ L de muestra (extracto total y superficial previamente obtenido), 625 μ L de reactivo de Folin-Ciocalteu al 10%, se agitó y dejó reposar por 3 min y por último se agregaron 500 μ L de NaCO₃ al 7.5%. Se agitaron los tubos y se dejaron reposar por 2 h, transcurrido el tiempo se midió la absorbancia a 760 nm se utilizó agua como blanco, en el espectrofotómetro Genesys 10S UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, EUA). Con la curva, se determinaron las concentraciones en cada extracto, para reportar el contenido en mg equivalentes de ácido gálico por g de microencapsulado de fresa y jamaica (mg EAG/ g).

6.13.3. Eficiencia de la microencapsulación

La eficiencia de microencapsulación (EM%) con respecto al material de pared se determinó siguiendo la metodología descrita Gómez-Aldapa *et al.*, (2019) con modificaciones. Se calculó la EM% con base al contenido de compuestos bioactivos totales en las microcápsulas, la estructura de la microcápsula se destruyó completamente, se pesaron 100 mg de las microcápsulas en un tubo Eppendorf y se le adicionaron 2 mL de agua destilada y se agitó vigorosamente durante 10 minutos, posteriormente se centrifugó la muestra a 3500 rpm, por 10 minutos y se recuperó el sobrenadante, se realizaron dos lavados consecutivos y finalmente la muestra se aforó en un matraz de 5 mL con agua destilada para su posterior cuantificación de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante.

Para la determinación de compuestos bioactivos superficiales en la microcápsula se pesaron 100 mg de microcápsulas con 2 mL de metanol-etanol 50:50 estas dispersiones se agitaron suavemente 3 veces y luego se filtraron. El filtrado se colocó en un matraz aforado de 5 mL, para su posterior cuantificación. Después de la extracción se cuantificaron los compuestos bioactivos (Gómez-Aldapa *et al.*, 2019). Para el cálculo de la Eficiencia de Microencapsulación (EM%)

de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, se utilizaron las ecuaciones 1 y 2 (Gómez-Aldapa *et al.*, 2019; Robert *et al.*, 2010).

Ecuación 2

$$\text{Compuesto Bioactivo en Superficie\%} = \frac{\text{Compuesto bioactivo en superficie}}{\text{Compuesto bioactivo total teórico}} \times 100$$

Ecuación 3

$$\text{Eficiencia de Microencapsulación(\%)} = 100 - \text{CBS(\%)}$$

6.13.4 Actividad antioxidante en microencapsulados

6.13.4.1 Capacidad antioxidante por el método ABTS en microencapsulados

Se utilizó la metodología descrita por Kuskoski *et al.*, (2004), el radical ABTS se obtuvo por medio de la reacción del ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS) al 7 mM con persulfato potásico al 2.45 mM, como concentración final, se dejó reposar a temperatura ambiente, en la oscuridad durante 16 h. Una vez formado el radical ABTS, se diluyó con 45 mL de etanol, hasta obtener un valor de absorbancia de 0.70 ± 0.03 unidades a 732 nm. Se utilizó una curva de trolox, como antioxidante de referencia, de 0 a 150 ppm. En tubos Eppendorf se colocaron 50 μ L del estándar o de los extractos de los encapsulados totales y 1.050 mL del ABTS, previamente formado, se dejaron reposar por 30 minutos 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/g de microencapsulado de fresa y jamaica (mg ET/g).

6.13.4.2 Capacidad antioxidante por el método DPPH en microencapsulados

Se empleó el método desarrollado por Kim *et al.*, (2002). Se preparó una solución de 1.185 mg de DPPH (2,2- difenil-1-picrilhidrazil) disueltos en 50 mL metanol, ajustando la absorbancia a 0.70 ± 0.03 unidades a una longitud de onda de 515 nm. Se usó una curva patrón de ácido ascórbico, de 0 a 150 ppm. En tubos Eppendorf se añadió 50 μ L del estándar o de los extractos totales de los microencapsulados a analizar y 1.050 mL de DPPH, se dejaron reposar por 30 minutos y al término de

ese periodo de tiempo, se midió la absorbancia a 515 nm en el espectrofotómetro de UV-Vis. Utilizando la correspondiente regresión lineal, se determinó la capacidad de los extractos acuosos para abatir al radical, reportando los resultados en mg equivalentes de ácido ascórbico/g de microencapsulado de fresa y jamaica (mg EAA/g).

6.13.5. Determinación de color en microencapsulados

Se tomó una muestra de microencapsulado y se colocó en una caja petri, se midió el color utilizando un colorímetro portátil previamente calibrado, se tomaron las lecturas de los valores L, a* y b* por triplicado. La evaluación del color se midió utilizando el sistema CIELAB, también conocido como L*a*b*. En valor L* corresponde a la luminosidad, a* representa la escala entre verde (valores negativos) y rojo (valores positivos, mientras que b* indica transiciones entre azul (negativo) y amarillo (positivo). Este sistema permite obtener otros parámetros como la intensidad del color o croma (C*), el matiz (H°) y la variación total del color (ΔE) (Caparino *et al.*, 2012).

6.13.6. Humedad (%) y actividad de agua (aw) en microencapsulados

Para determinar la humedad, se pesaron microcápsulas de 1 g de peso y se colocaron en una termoescala (OHAUS, Suiza). La actividad del agua (aw) se evaluó pesando 1 g de muestra en un Aqua LAB V. 2.2 (Mod. 3TE, Decagon Devices, Inc., EE. UU.). Ambas pruebas se realizaron por triplicado, según el protocolo descrito por Carrillo Navas *et al.*, (2011).

6.13.7. Morfología de microencapsulados

Para observar la morfología de las microcápsulas obtenidas se empleó un microscopio electrónico de barrido (modelo JOEL IT-300). Las muestras secas se colocaron sobre un portamuestras, con cinta electroconductiva de carbón de doble cara, para posteriormente recubrirlos con oro. Las muestras se analizaron a 15 A y 15 KV. De acuerdo con Clavijo, (2013).

6.13.8. Actividad antimicrobiana de microencapsulados

Para identificar actividad antimicrobiana de los microencapsulados con mezclas de jamaica 50 % - fresa 50% y jamaica 25% - fresa 75 %, se realizaron dos pruebas distintas, utilizando 50 mg y 100 mg de polvo del microencapsulado. Se utilizó agar cuenta estándar (BD Bioxon™, México) adicionado con rifampicina (cuanto y que concentración de rifampicina) las cajas se solidificaron. Las cepas bacterianas (cultivos de 24 h) patógenas evaluadas fueron Gram positivas *Listeria monocytogenes* (ATCC 19115), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), y Gram negativos *Salmonella tiphymurium* (ATCC 14028) y *Escherichia coli* (O157:H7 E09), fueron activadas y diluidas en una concentración de 10^6 UFC/mL, las cuales se sembraron en cajas diferentes por el método de extensión en superficie (por triplicado). A las cajas inoculadas en el agar se les realizaron pozos con un diámetro aproximado de 6 mm en los cuales se colocaron 10 mg encapsulados. Se utilizó agua estéril como control negativo y EDTA como control positivo. Las cajas fueron incubadas durante 24 h. Después de la incubación, se midieron las zonas de inhibición (halo de inhibición) de cada cepa (mm) conforme al método descrito por Bauer *et al.*, (1966).

6.14. Análisis sensorial de la bebida elaborada a base de microencapsulados

Para elaborar la bebida con potencial funcional, se realizó siguiendo las mismas indicaciones que tiene la bebida control, la cual fue elegida por la similitud en contenido, un té de frutos rojos a base de zarzamora, frambuesa, arándano, fresa y cereza, de la marca GN+VIDA, siguiendo sus instrucciones de preparación, en donde se diluye un sobre de 3 g en una taza de 200 mL. Se presentó en vasos pequeños como se muestra en la **Figura 8**. La aceptación sensorial de la bebida funcional con microcápsulas de jamaica y fresa, adicionada con bacterias ácido lácticas, se evaluó en un panel de consumidores no entrenados, siguiendo el protocolo descrito por Resende *et al.*, (2023). Se presentaron en vasos individuales las dos muestras, el control y la funcional, y se solicitaron 30 catadores.



Figura 8. Bebida funcional y control elaborada con té de frutos rojos de la marca GN+VIDA

Para realizar la evaluación sensorial se utilizó el siguiente formulario, en donde el código **2605** fue para la bebida funcional con microcápsulas de jamaica y fresa, adicionado con bacterias ácido lácticas y el código para el control de té de frutos rojos fue **0970**:

Por favor conteste lo siguiente:

Género: F o M

Edad: _____

Frente a usted hay dos muestras de queso fresco, pruébelas una a una e indique su nivel de agrado en base a la escala presentada a continuación.

Escala	Muestra	
	2605	0970
Me gusta muchísimo		
Me gusta mucho		
Me gusta		
Me es indiferente		
Me disgusta		
Me disgusta mucho		

Me disgusta muchísimo		
------------------------------	--	--

1. ¿Cuál de las dos muestras es de su preferencia?
 2605 0970
2. ¿Compraría el producto de su preferencia en el mercado?
 Si No

¡Muchas gracias!

VII. RESULTADOS Y DISCUSIONES

7.1. Cuantificación de fenoles totales en diferentes mezclas

En la **Tabla 4** se muestran los resultados obtenidos en la cuantificación de fenoles totales, para las mezclas de polvos de jamaica, fresa y mezclas de estas, con y sin ebullición, se observó que únicamente la jamaica con 100%, jamaica - fresa (25-75% con ebullición) no presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$) estos fueron los tratamientos con mayor contenido de fenoles totales. El contenido de fenoles totales más bajo lo presentó la fresa con ebullición.

Tabla 4. Fenoles totales en mezclas de jamaica y fresa en diferentes porcentajes. Expresados como mg equivalente de ácido gálico cada 100 gramos de muestra (base seca).

Tipo de Extracto (porcentaje fresa/jamaica)	Fenoles totales (mg Equivalente de ácido gálico EAG/100 g muestra b.s.)
Jamaica (100%)	1157.72±120.5 f
Fresa (100%)	608.33±35.83 ac
Fresa/jamaica (50-50%)	873.37±71.36 abd
Fresa/jamaica (25-75%)	1000.00±180.74 bdf
Fresa/jamaica (75-25%)	729.88±51.14 abc
Jamaica con ebullición (100%)	746.28±113.7 abc
Fresa con ebullición (100%)	515.36±70.27 c
Fresa/jamaica con ebullición (50-50%)	790.48±24.28 abc
Fresa/jamaica con ebullición (25-75%)	1149.42±69.75 df
Fresa/jamaica con ebullición (75-25%)	872.13±121.88 abd

Promedio de tres repeticiones \pm desviación estándar (DS). Datos expresados como media \pm DS. Diferentes letras en cada columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), utilizando la prueba de Tukey.

Los compuestos fenólicos presentes en plantas, son metabolitos secundarios que cumplen múltiples funciones fisiológicas, interviniendo en el metabolismo celular, y características como la morfología, crecimiento, reproducción, y desarrollo de defensa contra plagas, entre otros (Valencia *et al.*, 2017; Jurado *et al.*, 2016). Comparando el contenido de polifenoles en fresas cultivadas de manera ecológica

y tradicionalmente, con un proceso de deshidratación mediante el uso de una estufa a 70°C durante 72 h, se reportaron valores de 0.618 ± 0.051 y de 0.624 ± 0.102 mg EAG/g, respectivamente, (López, 2017). Esto indica que puede haber variaciones en los niveles de polifenoles dependiendo de otros factores, como la variedad de fresa, las condiciones del cultivo, la madurez en el momento de la cosecha, o las técnicas de análisis utilizadas (López, 2017), estos resultados en comparación con los obtenidos en esta investigación muestran similitud, posiblemente por el tratamiento de deshidratación que se le dio a la muestra, siendo uno de los factores que menciona López en 2017. En este mismo contexto, Avendaño y Acevedo en 2014, reportaron valores de compuestos fenólicos totales de compuestos de color extraídos de la fresa, realizando una extracción colocando la fruta en ebullición con agua, dando como resultado 0.31 mg EAG/g, se observa que al igual que en los valores reportados en la **Tabla 4**, la fresa en ebullición presenta fenoles totales considerablemente bajos.

Por otro lado, los cálices de jamaica han sido una de las especies más estudiadas por su alto contenido de moléculas antioxidantes como vitamina E y C, compuestos fenólicos, ácidos polifenólicos, flavonoides y antocianinas (López *et al.*, 2019). A los cálices se le atribuyen efectos anticancerígenos, cardioprotectores, diuréticos, antiinflamatorios y antimicrobianos, actuando como agentes que protegen a las células del daño oxidativo y previenen la peroxidación de lípidos (López *et al.*, 2019). Preciado (2016), reportó un valor de 31.89 mg EAG/g de muestra seca de *hibiscus sabdariffa*, que es considerablemente más alto que lo reportado en esta investigación, cabe mencionar que sus extractos investigados fueron metanólicos, esto sugiere, que la cantidad de compuestos antioxidantes puede variar mucho dependiendo de distintos factores tales como condiciones de extracción, cultivo, clima, madurez, técnicas de procesamiento, y la variedad, lo que es fundamental tener en cuenta al evaluar el potencial antioxidante de diferentes alimentos. A partir de esta cuantificación de fenoles totales, se obtuvo que se presentó efecto de la ebullición sobre el contenido, por ejemplo, la jamaica 100%

sin ebullición presento un valor de 1157.72 ± 120 y con el proceso de ebullición la concentración se redujo a la mitad ($p < 0.05$).

7.2. Capacidad antioxidante por el método ABTS en diferentes mezclas

En la **Tabla 5** se muestra la actividad antioxidante de los extractos de las distintas mezclas de fresa y jamaica, con y sin ebullición, evaluada por el método ABTS, los valores se expresan como equivalentes de Trolox (mg ET/100g de muestra) y con su respectivo porcentaje de inhibición (%). No se observan diferencias significativas ($p < 0.05$), entre la mezcla de jamaica 100% con y sin ebullición, fresa 100% con y sin ebullición, fresa/jamaica (50-50%) con y sin ebullición, y fresa/jamaica (25-75%). El cambio más importante se observó en el extracto fresa/jamaica (25/75%) con ebullición, que mostró una gran caída en la actividad antioxidante, con solo 410.30 ± 72.29 mg ET/ 100 g y 63.93 ± 8.91 % de inhibición, el cual es un resultado significativamente menor.

Tabla 5. Actividad antioxidante obtenida por el método ABTS, expresada como mg equivalente de trolox cada 100 gramos de muestra en mezclas de jamaica y fresa a diferentes concentraciones

Tipo de Extracto (porcentaje fresa/jamaica)	Actividad antioxidante ABTS (mg Equivalente de trolox/100g muestra ET/100 g muestra)	Actividad antioxidante ABTS (Porcentaje de inhibición %)
Jamaica (100%)	665.85 ± 35.72 ab	95.67 ± 4.17 a
Fresa (100%)	654.74 ± 44.91 ab	94.37 ± 5.25 a
Fresa/jamaica (50-50%)	651.04 ± 39.02 ab	93.94 ± 4.56 a
Fresa/jamaica (25-75%)	628.81 ± 12.83 ab	90.48 ± 1.50 a
Fresa/jamaica (75-25%)	536.22 ± 61.86 ac	80.52 ± 7.23 ab
Jamaica con ebullición (100%)	614.00 ± 80.12 ab	89.04 ± 9.87 a
Fresa con ebullición (100%)	654.74 ± 54.81 ab	94.06 ± 6.76 a
Fresa/jamaica con ebullición (50-50%)	662.15 ± 51.32 ab	94.98 ± 6.33 a
Fresa/jamaica con ebullición (25-75%)	410.30 ± 72.29 c	63.93 ± 8.91 b
Fresa/jamaica con ebullición (75-25%)	688.07 ± 6.41 b	98.17 ± 0.79 a

Promedio de tres repeticiones \pm desviación estándar (DS). Datos expresados como media \pm DS. ET= Equivalente de Trolox. Diferentes letras en cada columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), utilizando la prueba de Tukey.

Terpinc *et al.*, (2023), evaluaron hojas de *Fragaria vesca* utilizando extracción asistida por microondas, obteniendo una capacidad antioxidante de hasta 170.9 mg ET/g. Este alto valor demuestra que incluso los subproductos de la planta, tienen un gran potencial para aplicaciones funcionales. No obstante, los mismos autores observaron una disminución a un rango entre 110.63 mg ET/g de la actividad antioxidante cuando se utilizó extracción a temperaturas elevadas (150 °C), lo que indica que los compuestos fenólicos son sensibles al calor y pueden degradarse. Un estudio de González-Aguilar *et al.*, (2000) encontraron que el tratamiento térmico puede disminuir la capacidad antioxidante de ciertos productos, por lo que se optó que los mejores resultados son el que arrojan las mezclas sin ebullición. Hassimotto *et al.*, (2005), midieron la actividad antioxidante de frutas, verduras, y pulpas de frutas congeladas comerciales, determinaron una clasificación para la actividad antioxidante, de acuerdo a lo establecido por dichos autores, para quienes presentan un porcentaje de inhibición de hasta 90%, se considera alta actividad antioxidante, mientras que para 40 – 70% con una actividad intermedia, por último, inhibición con un porcentaje menor a 40% entra en la clasificación de actividad baja, por lo que comparándolo con los resultados de la Tabla 5, la mayoría de los extractos presenta una actividad antioxidante alta, a excepción de fresa/jamaica con ebullición 25-75%, que de acuerdo a la clasificación antes mencionada, estaría reportándose con una actividad antioxidante baja.

7.3. Capacidad antioxidante por el método DPPH en diferentes mezclas

En la **Tabla 6** se muestra la actividad antioxidante de los extractos de las distintas mezclas de fresa y jamaica, con y sin ebullición, evaluada por el método DPPH, los valores se expresan como equivalentes de ácido ascórbico (mg EAA/100g de muestra) y con su respectivo porcentaje de inhibición. Para los extractos sin ebullición jamaica (100%), fresa (100%), fresa/jamaica (50/50%), fresa/jamaica

(25/75%) y fresa/jamaica (75/25%) no hay diferencia significativa ($p < 0.05$). La capacidad antioxidante por el método DPPH más bajo, lo obtuvo fresa/jamaica (50-50%) con ebullición.

Tabla 6. Actividad antioxidante obtenida por el método DPPH, presentada por equivalente de ácido ascórbico cada 100 gramos de muestra en mezclas de jamaica y fresa a diferentes concentraciones.

Tipo de Extracto (porcentaje fresa/jamaica)	Actividad antioxidante DPPH (mg Equivalente de ácido ascórbico/100g muestra EAA/100g muestra)	Actividad antioxidante DPPH (Porcentaje de inhibición %)
Jamaica (100%)	402.76 ± 42.83 a	49.52 ± 5.02 a
Fresa (100%)	370.24 ± 76.16 a	45.71 ± 8.92 a
Fresa/jamaica (50-50%)	280.81 ± 50.77 a	35.24 ± 5.95 a
Fresa/jamaica (25-75%)	410.89 ± 18.63 a	50.48 ± 2.18 a
Fresa/jamaica (75-25%)	309.27 ± 63.37 a	38.57 ± 7.42 a
Jamaica con ebullición (100%)	223.90 ± 64.53 bd	34.21 ± 6.96 ab
Fresa con ebullición (100%)	353.98 ± 46.17 ab	48.25 ± 4.98 a
Fresa/jamaica con ebullición (50-50%)	59.27 ± 18.29 c	21.49 ± 8.96 b
Fresa/jamaica con ebullición (25-75%)	114.15 ± 32.26 cd	22.37 ± 3.48 b
Fresa/jamaica con ebullición (75-25%)	325.53 ± 42.83 ab	45.18 ± 4.62 a

Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar (DS). Datos expresados como media ± DS. EAA= Equivalente de ácido ascórbico. Diferentes letras en cada columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), utilizando la prueba de Tukey.

Según Garro *et al.*, (2015), los agentes antioxidantes, ya sean provenientes de fuentes naturales o sintéticas, actúan deteniendo o retrasando la oxidación de lípidos y otras moléculas. Esto ocurre al impedir tanto el inicio como la propagación de las reacciones en cadena que generan daño oxidativo. Su mecanismo principal

consiste en capturar y neutralizar los radicales libres, los cuales resultan de procesos metabólicos y pueden causar efectos nocivos en los tejidos. La fresa se ha reportado que es una rica fuente de compuestos antioxidantes como polifenoles, flavonoides y antocianinas (Carkeet *et al.*, 2008), lo cual concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo, ya que las mezclas obtenidas con los frutos de fresa mostraron capacidad antioxidante. En el caso de la jamaica se ha reportado que la actividad antioxidante está relacionada con el contenido de antocianinas (Marquez *et al.*, 2007). Tsai *et al.*, (2002), reportaron que del total de la actividad antioxidante de extractos de cálices de jamaica, el 51 % se debe a las antocianinas y un 24 % a otros compuestos fenólicos en la solución. De acuerdo con la clasificación antes mencionada por Hassimotto *et al.*, (2005), comparándolo con los resultados de la Tabla 6, los extractos presentan de una intermedia a baja actividad antioxidante por el método DPPH.

7.4. Pruebas preliminares (viabilidad de *Lacticaseibacillus paracasei* en diferentes mezclas)

Con base a los resultados del contenido de fenoles totales y de la actividad antioxidante, se seleccionaron las mezclas que se presentan en la **Tabla 7**, el proceso de ebullición fue descartado para los siguientes experimentos. Con base a las pruebas preliminares realizadas, se obtuvieron los siguientes resultados mediante la cuantificación de UFC/mL a tiempo cero y posterior a 1 h de agitación de *Lacticaseibacillus paracasei* L-20 en mezclas, fue el proceso que se aplicó para evaluar el efecto de la agitación, durante el proceso de secado por aspersión, y de esta manera obtener la concentración inicial, durante el secado. Después de 1 hora de agitación, se observó una pérdida total de viabilidad en el extracto de jamaica 100%, con un valor de 0.00 ± 0.00 log UFC/g, lo cual indica una mortalidad completa del probiótico bajo estas condiciones, el extracto fresa/jamaica (25/75%) también mostró una disminución importante, por último, los extractos fresa (100%), fresa/jamaica (50-50%) y fresa/jamaica (75/25%) demostraron una alta viabilidad probiótica, por lo que con base a estos resultados y con la finalidad de utilizar una

mezcla de ambos extractos, se seleccionaron para microencapsular fresa/jamaica (50/50%) y fresa/jamaica (75/25%).

Tabla 7. Viabilidad de *Lacticaseibacillus paracasei* L-20 en mezclas, durante la agitación en un tiempo de 1 h.

Tipo de Extracto (porcentaje fresa/jamaica)	Log UFC/g T0=Tiempo 0 antes de agitación	Log UFC/g después de 1 h de agitación
Jamaica (100%)	8.27 ± 0.19	0.00 ± 0.00 c
Fresa (100%)	9.29 ± 0.04	9.28 ± 0.06 a
Fresa/jamaica (50-50%)	9.15 ± 0.06	9.49 ± 0.06 b
Fresa/jamaica (25-75%)	9.50 ± 0.05	7.00 ± 0.07 d
Fresa/jamaica (75-25%)	9.33 ± 0.07	9.43 ± 0.07 ab

Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar (DS). Datos expresados como media ± DS. T0=Tiempo 0 antes de agitación. Diferentes letras en cada columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), utilizando la prueba de Tukey.

7.5. Microencapsulación usando el secado por aspersión

7.5.1. Viabilidad (%) de *Lacticaseibacillus paracasei* en microcápsulas

En la **Tabla 8** se presenta la viabilidad de *Lacticaseibacillus paracasei* después del proceso de secado por aspersión, se obtuvo que la mejor mezcla para conservarla viabilidad de esta bacteria fue fresa/jamaica (75-25%).

Tabla 8. Viabilidad de *Lacticaseibacillus paracasei* en microcápsulas

Microcápsulas de mezclas (fresa/jamiaca)	Log UFC/g antes del secado	Log UFC/g después del secado	Viabilidad (%)
Fresa/jamaica (50-50%)	9.05 ± 0.03 a	8.59 ± 0.08 a	34.73 ± 6.83 a
Fresa/jamaica (75-25%)	9.83 ± 0.01 b	9.75 ± 0.02 b	83.13 ± 4.26 b

Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar (DS). Datos expresados como media ± DS. Diferentes letras en cada columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), utilizando la prueba de Tukey.

Los resultados de la mezcla con mejor viabilidad (fresa/jamaica 75-25%) concuerdan con los reportados por García (2025) quien determinó la viabilidad de *Lactococcus lactis* y *Lacticaseibacillus casei* encapsulados con fructosa e inulina, obteniendo valores de 82% de viabilidad para el proceso de encapsulamiento

mediante secado por aspersión, así como con los resultados de Caballero Pérez *et al.*, (2024), quienes microencapsularon probiótico y levadura (*Lactobacillus* y *Saccharomyces boulardii*) y obtuvieron resultados de 88.01 y 86.50 % de viabilidad, sin embargo, es menor al resultado obtenido por Gámez *et al.*, (2023), quien microencapsuló *Lactobacillus lactis* y obtuvo una viabilidad del 98.6%, posteriormente, sus microencapsulados los adicionó a un alimento a base de mora de castilla (*Rubus glaucus*) y chilacuan (*Vasconcellea cundinamarcensis*). Hay múltiples factores que contribuyen o bien afectan la viabilidad de los probióticos, específicamente para los microencapsulados influye la temperatura del proceso, el pH, condición de almacenamiento, e incluso la homogeneización (Sierra Ames & Guillen, 2017). En esta investigación se utilizó como material pared N-lok. No se han reportado investigaciones que utilicen extractos diferentes adicionados con bacterias con potencial probiótico.

7.5.2. Cuantificación de fenoles en microcápsulas y eficiencia de microencapsulación

En la **Tabla 9** se muestran los resultados obtenidos de fenoles totales, fenoles superficiales y eficiencia de microencapsulación, en las microcápsulas obtenidas a partir de extractos de fresa y jamaica 50/50% y 75/25%, adicionados con *Lactobacillus paracasei*. El contenido de compuestos fenólicos en los microencapsulados fue de 347.41 ± 28.17 mg EAG/100 g muestra para la mezcla fresa-jamaica 50%-50% con una eficiencia de encapsulación de 95.19 ± 0.35 , mientras que, para la mezcla fresa-jamaica 75% - 25% se obtuvieron 364.61 ± 11.60 mg EAG/100 g muestra con un 88.73 ± 4.88 de eficiencia de encapsulación, en donde estadísticamente no presentan diferencia ($p < 0.05$).

Tabla 9. Compuestos bioactivos totales y superficiales y eficiencia de microencapsulación (EM%)

Microcápsulas de mezclas (fresa/jamaica)	Fenoles totales (mg EAG/100 g muestra)	Fenoles superficiales (mg EAG/100 g muestra)	Eficiencia de microencapsulación (EM%)
Fresa/jamaica (50-50%)	347.41±28.17 a	16.68±1.22 a	95.19±0.35 a
Fresa/jamaica (75%-25)	364.61±11.60 a	41.15±18.17 a	88.73±4.88 a

Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar (DS). Datos expresados como media ± DS. EAG= Equivalente de ácido gálico. Diferentes letras en cada columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), utilizando la prueba de Tukey.

Se obtuvieron resultados similares por Sotomayor & Vargas (2017), cuando evaluaron la eficiencia de microencapsulación de antocianinas de flor de jamaica mediante secado por aspersión, en donde sus resultados fueron de 88.67% hasta un 94.26%, utilizando almidón y alginato como material de pared y el método secado por aspersión. Estos resultados son novedosos ya que no se han encontrado estudios que reporten la mezcla de extractos adicionados con probióticos, por lo que hace de estos microencapsulados un atractivo importante en el contenido de fenoles utilizando la tecnología del secado por aspersión.

7.5.3. Actividad antioxidante por el método ABTS y DPPH en microencapsulados

La capacidad antioxidante fue determinada por el método de ABTS y DPPH, donde se obtuvieron concentraciones y se observa que estadísticamente no presentan diferencia significativa ($p < 0.05$) para ambos microencapsulados.

Tabla 10. Capacidad antioxidante en microencapsulados con mezcla de fresa, jamaica y bacterias, utilizando el método ABTS y DPPH.

Microcápsulas de mezclas (fresa/jamaica)	ABTS		DPPH	
	mg ET / 100 g muestra	Inhibición (%)	mg EAA / 100 g muestra	Inhibición (%)
Fresa/jamaica (50-50%)	258.09 ± 3.52 a	94.86 ± 0.92 a	254.30 ± 12.37 a	68.78 ± 3.24 a
Fresa/jamaica (75-25%)	259.89 ± 13.21 a	95.33 ± 3.46 a	224.30 ± 36.12 a	60.92 ± 9.47 a

Promedio de tres repeticiones ± desviación estándar (DS). Datos expresados como media ± DS. ET= Equivalente de trolox, EAA= Equivalente de ácido ascórbico. Diferentes letras en cada columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), utilizando la prueba de Tukey.

Para la capacidad antioxidante por el método ABTS, los resultados presentados en la **Tabla 10** fueron menores comparándolos con los resultados reportados por Archundia (2022), quien microencapsuló *Hibiscus sabdariffa*, reportando una mayor capacidad antioxidante, 581 ± 0.7 mg Etrolox/100 g. Este comportamiento se atribuye a la concentración de *Hibiscus sabdariffa* presente en los extractos para el microencapsulado, así como a las condiciones de la extracción y a parámetros en el proceso de secado. Otro de los ensayos utilizados para la determinación de capacidad antioxidante es DPPH, el cual es reportado en mg equivalentes de ácido ascórbico, donde en ambas mezclas no se presentan diferencias significativas ($p < 0.05$). Según la propuesta de clasificación de rangos para la actividad antioxidante de Hassimotto *et al.*, (2005), con el método ABTS se determina que tiene una alta actividad antioxidante, observando que se mantuvo de acuerdo con los resultados de la Tabla 5, y con el método DPPH se considera una actividad antioxidante intermedia, aumentando el porcentaje de inhibición ante los resultados de la **Tabla 6**, entendiendo que, a su vez, es un efecto y uno de los beneficios de la microencapsulación.

7.5.4. Determinación de color en microencapsulados

En la **Tabla 11** se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de color mediante el sistema cie $L^*a^*b^*$, el único parámetro en el que se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) en los valores de ambos microencapsulados fue en a^* .

Tabla 11. Color de microencapsulados de mezclas de fresa – jamaica y probióticos.

Microcápsulas de mezclas (fresa/jamaica)	L	a*	b*
Fresa/jamaica (50-50%)	61.20±3.45 a	21.72±1.44 a	6.45±2.22 a
Fresa/jamaica (75-25%)	63.99±6.37 a	16.01±2.16 b	11.03±2.36 a

Promedio de tres repeticiones \pm desviación estándar (DS). Datos expresados como media \pm DS. Diferentes letras en cada columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), utilizando la prueba de Tukey.

El espacio de color Cie $L^*a^*b^*$ se modeló en base a una teoría del color oponente, que establece que dos colores no pueden ser rojo y verde al mismo tiempo, o amarillo y azul al mismo tiempo. L^* indica luminosidad, y a^* y b^* son coordenadas cromáticas, a^* = coordenadas rojo / verde (+ a^* indica rojo, - a^* indica verde) b^* = coordenadas amarillo / azul (+ b^* indica amarillo, - b^* indica azul) (Minolta, 2018). Respecto a la luminosidad, no se presentó diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las mezclas, y el resultado es mayor comparándolos contra lo reportado por Radilla (2022), quien midió la luminosidad en fresa con cobertura de almidón de chayotextle y microcápsulas de extracto de jamaica, teniendo un valor de 27.429 ± 3.340 . Para los valores de a^* , el color es un factor importante en la evaluación de la calidad de la fruta, ya que influye en la percepción del consumidor más que cualquier otro atributo de calidad (Rodrigues, 2021). En la **Tabla 11** se muestran los resultados de parámetro color (a^*) correspondiente a la intensidad rojiza, en donde se observó que la mezcla fresa-jamaica 50% - 50% es mayor. Colussi *et al.*, (2021), mencionan que la reducción del color rojo se puede atribuir a la acción de la enzima polifenol oxidasa, lo que provoca el pardeamiento a través de la oxidación de compuestos fenólicos y contribuye a la pérdida de calidad. Aunado a esto, influye de manera particular la cantidad de concentración de jamaica que se encuentra en cada microencapsulado, pues es quien aporta mayor intensidad rojiza. Para los valores de b^* , en ambas mezclas no se presentaron diferencias significativas, pero se puede

observar que este componente es menos dominante que el a*, es decir, el color es más rojo que amarillento.

7.5.5. Determinación de humedad (%) y actividad de agua (aw) en microencapsulados

Los resultados de humedad y actividad de agua para ambos microencapsulados se encuentran en la **Tabla 12**, únicamente se reporta diferencia significativa ($p < 0.05$), en los valores obtenidos para actividad de agua, mientras que en la humedad no se presenta diferencia estadísticamente significativa.

Tabla 12. Porcentaje de humedad y actividad de agua en microencapsulados.

Microcápsulas de mezclas (fresa/jamaica)	Humedad (%)	Actividad de agua (aw)
Fresa/jamaica (50-50%)	5.62±0.10 a	0.39±0.00 a
Fresa/jamaica (75-25%)	5.27±0.33 a	9.28±0.00 b

Promedio de tres repeticiones \pm desviación estándar (DS). Datos expresados como media \pm DS. Diferentes letras en cada columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), utilizando la prueba de Tukey.

Altos valores de humedad en los polvos podrían generar dificultades durante el almacenamiento de las microcápsulas, debido a que incrementa su tendencia a absorber humedad en el ambiente, es decir, su higroscopicidad, dando pie a que las microcápsulas obtenidas experimenten un fenómeno físico no deseado conocido como la aglomeración, conduciendo a una formación de grumos (Haider *et al.*, 2018). A mayor contenido de humedad, las partículas tienden a agruparse entre sí, formando espacios entre ellas, lo que ocasiona un aumento en el volumen total en relación con su masa (Goula & Adamopoulos, 2005). Los resultados obtenidos respecto a la actividad del agua, al situarse por debajo de 0.6, pueden considerarse indicativos de estabilidad microbiológica ante fenómenos como el pardeamiento enzimático, reacciones hidrolíticas y actividad enzimática, entre otros. Esto ofrece una ventaja significativa, ya que en estas condiciones se logra prácticamente inhibir el deterioro y el crecimiento microbiano, esto de acuerdo con lo informado por Quek *et al.*, (2007); Archaina *et al.*, (2019).

7.5.6. Morfología de microencapsulados

La caracterización morfológica fue evaluada mediante microscopía electrónica de barrido. A continuación, se presentan las micrografías de las microcápsulas elaboradas mediante secado por aspersión, utilizando una entrada de 100 °C y una concentración del 30 % de sólidos del material pared N-Lok.

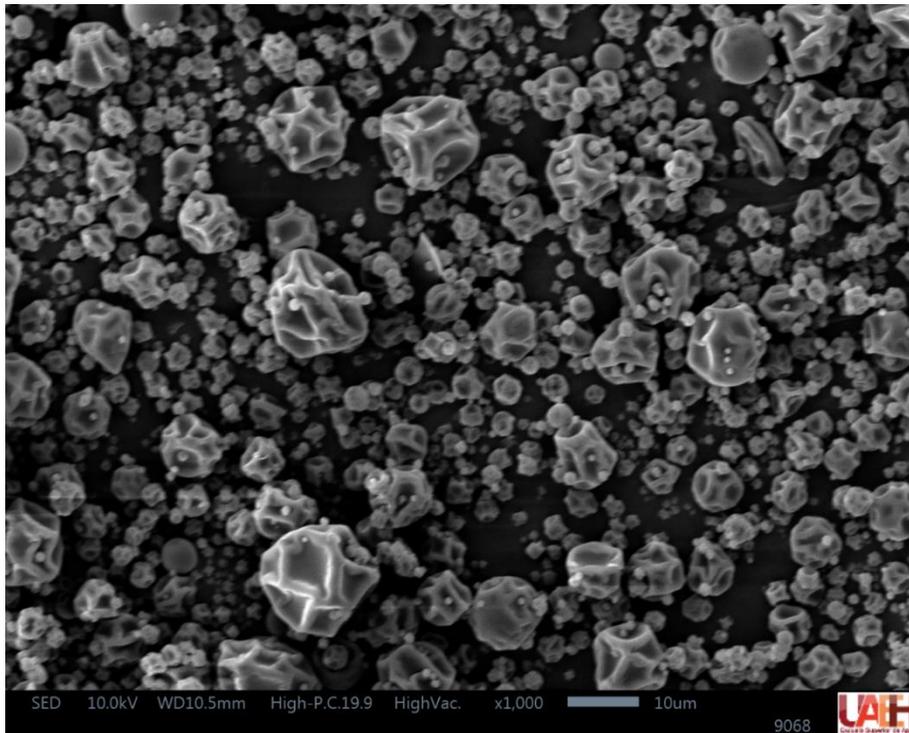


Figura 9. Micrografía de polvo microencapsulado de extractos de fresa/jamaica (50-50 %), observado a un aumento de 1000x

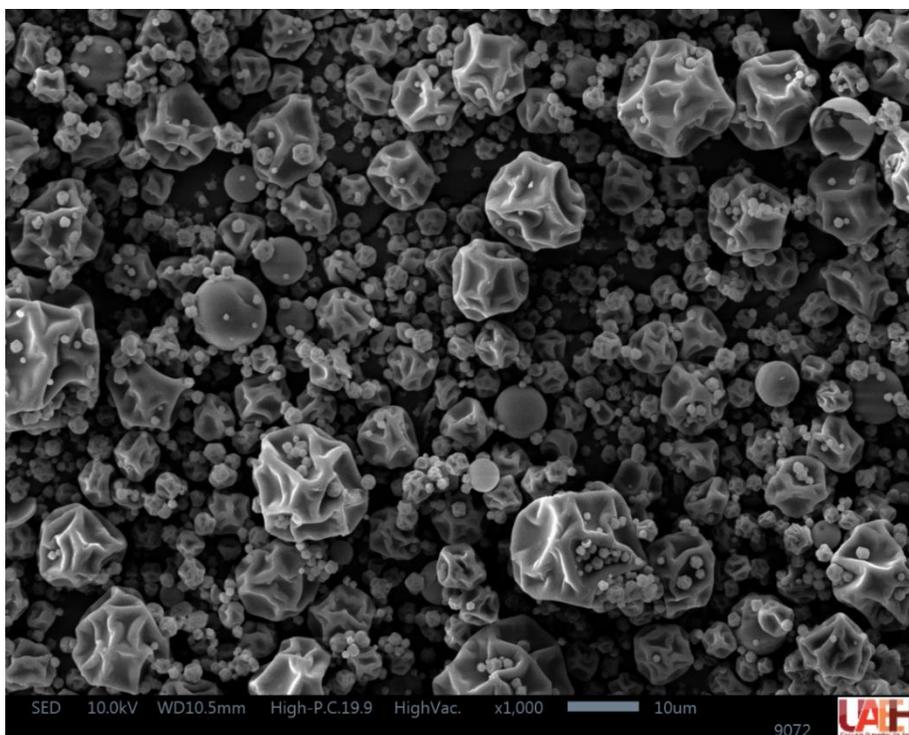


Figura 10. Micrografía de polvo microencapsulado de extractos de fresa/jamaica (75-25 %), observado a un aumento de 1000x

La morfología de las microcápsulas se refiere a la estructura interna y externa de las cápsulas, que dependen directamente de factores como las condiciones empleadas para su realización, así como del material de pared utilizado (Choudury *et al.*, 2021). La morfología de las microcápsulas es característica de las producidas por secado por aspersion similares a las obtenidas por Gómez *et al.*, (2018), quien microencapsuló jamaica (*hibiscus sabdariffa*), utilizando almidón modificado como material pared, mediante el método de secado por aspersion, con un tamaño inferior entre 10 a 30 μm .

7.5.7. Actividad antimicrobiana de microencapsulados

En la **Tabla 13** y **14**, se plasman los datos obtenidos en la determinación de actividad antimicrobiana de los microencapsulados, contra bacterias gram positivas y gram negativas, respectivamente, mediante la técnica de pozos. Los

microencapsulados únicamente demuestran presentar actividad antimicrobiana ante las bacterias gram positivas.

Tabla 13. Actividad antimicrobiana de microencapsulados contra bacterias Gram positivas

Microcápsulas de mezclas (fresa/jamaica)	<i>Listeria Monocytogenes</i> zona de inhibición (mm)	<i>Staphylococcus Aureus</i> zona de inhibición (mm)
Fresa/jamaica (50-50%) (50 mg)	8.84 ± 0.87	7.75 ± 0.62
Fresa/jamaica (50-50%) (100 mg)	11.11 ± 0.62	11.90 ± 2.13
Fresa/jamaica (75-25) (50 mg)	R	R
Fresa/jamaica (75-25) (100 mg)	R	R
Agua	R	R
EDTA	24.19 ± 2.00	18.66 ± 4.47

Tabla 14. Actividad antimicrobiana de microencapsulados contra bacterias Gram negativas

Microcápsulas de mezclas (fresa/jamaica)	<i>Salmonella</i> zona de inhibición (mm)	<i>Escherichia Coli</i> zona de inhibición (mm)
Fresa/jamaica (50-50%) (50 mg)	R	R
Fresa/jamaica (50-50%) (100 mg)	R	R
Fresa/jamaica (75-25) (50 mg)	R	R
Fresa/jamaica (75-25) (100 mg)	R	R
Agua	R	R
EDTA	18.40 ± 1.41	19.33 ± 3.56

Los compuestos bioactivos de los cálices de jamaica como polifenoles y fenoles, han demostrado potencial antimicrobiano (Ríaz, 2018). Debido a la presencia y concentración de antocianinas y polifenoles ocurre una alteración en la membrana celular de las bacterias y de esta manera inhibir el crecimiento (Portillo *et al.*, 2019). Los resultados indican que los microencapsulados únicamente presentan actividad antimicrobiana ante la presencia de bacterias gram positivas, específicamente de *Listeria Monocytogenes* y *Staphylococcus aureus*, mientras que para bacterias gram negativas, *Salmonella* y *Escherichia Coli* no se detectó halo de inhibición. La

membrana externa de las bacterias gram negativas es la principal razón de la resistencia a una amplia gama de antibióticos (Miller, 2016).

Los compuestos antimicrobianos pueden perder su efectividad rápidamente al interactuar con componentes que se encuentran presente en los alimentos, ejemplo de ellos, proteínas o lípidos, por lo que se limita su capacidad de acción contra microorganismos que puedan estar presentes (De Arauz *et al.*, 2009). Por lo que la microencapsulación resulta ser una alternativa y solución para proteger compuestos bioactivos frente a condiciones ambientales no favorables, tecnología que se ha desarrollado para mantener su estabilidad (Maresca *et al.*, 2016).

7.6. Análisis Sensorial bebida elaborada a base de microencapsulados

En la **Figura 11** representa los niveles de agrado con los que los consumidores evaluaron la bebida a base de fresa/jamaica adicionado con probióticos, como se observa la mayoría de las respuestas se encuentran en la categoría “me es indiferente”, a pesar de que ningún panelista lo rechazó, los comentarios más frecuentes fueron que sentían la ausencia de azúcar, por lo que es una muestra del problema de consumo de azúcar como mexicanos.

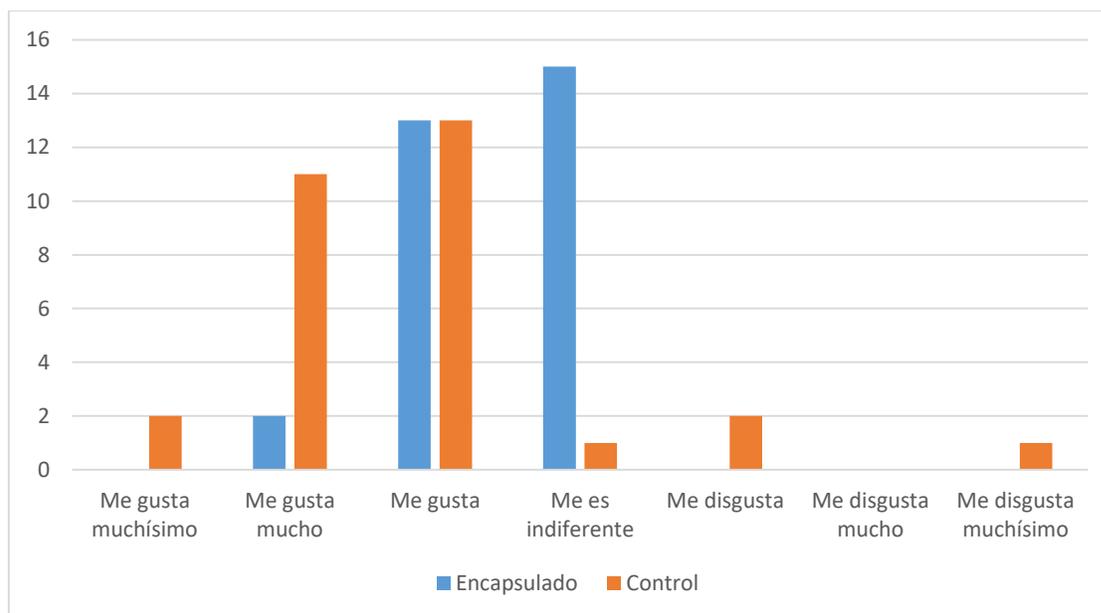


Figura 11. Gráfico análisis sensorial de una bebida funcional de jamaica/fresa 75%- 25%

Álvarez D. *et al.*, (2008), indican que el desarrollo de pruebas de análisis sensorial adaptadas al perfil del consumidor, permiten identificar preferencias o rechazos hacia la innovación de productos y se relaciona directamente con la creación de hábitos y prácticas alimentarias. Una herramienta más para el control de calidad de un alimento o bebida en la industria alimentaria es el análisis sensorial. El programa de control de calidad pretende prevenir cualquier defecto que pueda surgir en el producto terminado, por lo cual el análisis sensorial puede afectar en aspectos como materias primas e incluso proceso de elaboración (Cordero, 2013).

VIII. CONCLUSIONES

La presente investigación demostró que la microencapsulación por secado por aspersión es una técnica efectiva para proteger los compuestos bioactivos presentes en extractos de jamaica (*hibiscus sabdariffa*) y fresa (*fragaria vesca*), así como microorganismos probióticos adicionados. Los resultados indican que la mejor mezcla microencapsulada que muestra buena e importante viabilidad de probióticos, además de conservar una alta capacidad antioxidante es la jamaica-fresa 75%-25%.

Asimismo, se observó que la eficiencia de microencapsulación y estabilidad de los fenoles totales fueron favorecidos de acuerdo con la mezcla seleccionada. La experimentación también demostró que las características morfológicas de las microcápsulas son las adecuadas.

Se logró cada objetivo estipulado, obteniendo microencapsulados de extractos acuosos de jamaica y fresa en diferentes proporciones, caracterizándolos, alcanzando buenos resultados tanto de actividad antioxidante como de viabilidad de los probióticos, presentando actividad antimicrobiana ante bacterias gram positivas, y valores aceptables para humedad y actividad de agua, recordando que son puntos clave a considerar para su almacenamiento, así como los resultados del análisis sensorial realizado, el no haber sido rechazado por ningún panelista es un buen indicador, llevando a una mayor escala la investigación.

IX. REFERENCIAS

- Aaby, K., Mazur, S., Nes, A., & Skrede, G. (2012). Phenolic compounds in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruits: composition in 27 cultivars and effect of heat treatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(14), 3616–3627. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.037>
- Agpreyo, F. O.; Agoreyo, B. O. and Onuorah, M. N. (2008). Effect of aqueous extracts of *Hibiscus sabdariffa* and *Zingiber officinale* on blood cholesterol and glucose levels of rats. *Afr. J. Biotechnol.* 7(21):3949-3951 https://www.researchgate.net/publication/242237637_Effect_of_aqueous_extracts_of_Hibiscus_sabdariffa_and_Zingiber_Officinale_on_blood_cholesterol_and_glucose_levels_of_rats
- Alarcón, C. N.; Ariza F. R.; Barrios, A. A.; Noriega, C. D. H.; Legaria, S. Y. D. P. (2012). Exploración y caracterización de poblaciones de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en Guerrero, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(3):601-609 https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S200709342012000300015&script=sci_abstract
- Álvares D., S.M., Zapico T., J. Y De Aguiar Carrazedo T., J.A. (2008). Adaptación de la escala hedónica facial para medir preferencias alimentarias de alumnos de pre-escolar. *Revista chilena de nutrición*, vol. 35, no. 1, p. 38-42.
- Álvares T., Tosar M., Echemendía C. (2017). *Medicina Tradicional China. Acupuntura, moxibustión, y medicina herbolaria.* La Habana: Editorial Ciencias Médicas.
- Ali, B. H., Al-Wabel, N. A., & Blunden, G. (2005). Phytochemical, pharmacological and toxicological aspects of *Hibiscus sabdariffa* L.: A review. *Phytotherapy Research*, 19(5), 369–375. <https://doi.org/10.1002/ptr.1628>
- Amara, A., & Shibl, A. (2015). Role of Probiotics in health improvement, infection control and disease treatment and management. *Saudi Pharmaceutical Journal*.23(2), 107-114.
- Archundia Sánchez, A. (2022). Evaluación del almidón de maíz doblemente modificado como agente encapsulante del extracto de *Hibiscus sabdariffa* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. Repositorio Institucional UAEH. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/bitstream/231104/2837/1/AT26490.pdf>
- Archaina, D., Vasile, F., Jiménez-Guzmán, J., Alamilla-Beltrán, L., & Schebor, C. (2019). Physical and functional properties of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)

- Arias L., D., Montañó D., L.N., Velasco S., M.A. y Martínez G., J. (2018) Alimentos funcionales: avances de aplicación en agroindustria. *Revista Tecnura* 22 (57), 55-68. <https://doi.org/10.14483/22487638.12178>
- Avendaño Prieto, G., & Acevedo Buitrago, B. (2014). Proceso de microencapsulación de colorantes naturales presentes en la fresa (*Fragaria vesca*). *Avances Investigación en Ingeniería*, 11(1), 7–34.
- Bakowska-Barczak, A., and P. Kolodziejczyk. (2011). Black currant polyphenols: Their storage stability and microencapsulation. *Industrial crops and products*. 34:1301-1309.
- Banožić, M., Babić, J., & Jokić, S. (2020). Recent advances in extraction of bioactive compounds from tobacco industrial waste-a review. *Industrial Crops and Products*, 144, 112009. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.112009>
- Barazarte, H.E.B., Sangronis, E., Pérez, I.M.M., Guedez, C.A.G., & Mujica, Y.J. (2015). Laminados de guayaba (*Psidium guajava* L.) enriquecidos con inulina y calcio. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 65 (4), 225-233.
- Basu, A., Rhone, M., & Lyons T. J. (2010). Berries: Emerging impact on cardiovascular health. *Nutrition Review*, 68 (3), 168-177. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2010.00273.x>
- Bauer AW, Kirby WM, Sherris JC, Turck M. Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. *Am J Clin Pathol*. 1966 Apr;45(4):493-6. PMID: 5325707.
- Bohn, T. (2014). Dietary factors affecting polyphenol bioavailability. *Nutrition Reviews*, 72(7), 429–452. <https://doi.org/10.1111/nure.12114>
- Caballero Pérez, L. A., Tejedor Arias, R., & Hernández Monzón, A. E. (2024). Obtención de una matriz prebiótica para la microencapsulación de probióticos mediante secado por aspersion y su uso en la elaboración de helado [Tesis doctoral, Universidad de La Habana, Facultad de Farmacia y Alimentos]. Repositorio Acceso Abierto UH. https://accesoabierto.uh.cu/files/original/2181350/TMLuz_Alba_Caballero_Perez.pdf
- Camejo Rodrigues, J. Ascensao, L. Bonet, M. A, & Valles, J. (2003) An ethnobotanical study of medicinal and aromatic plants in the Natural Park of “Serra de São Mamede” (Portugal). [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(03\)00270-8](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(03)00270-8)
- Caparino, O., Tang, J., Nindo, C., Sablani, S., Powers, J., & Fellman, J. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of

- mango (Philippine "Carabao" var.) powder. *Journal of Food Engineering*, 111(1), 135-148. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.010>
- Carkeet, C., *et al.* (2008). Anthocyanin excretion by humans increases linearly with increasing strawberry dose: a dose–response study. *The Journal of Nutrition*, 138(5), 897-902. doi:10.1093/jn/138.3.384S
- Carrillo-Navas, H., Salcedo-Mejía, F., Pérez-Maqueo, O., & Calderón-Santoyo, M. (2011). Storage stability and physicochemical properties of spray-dried passion fruit juice microcapsules. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(3), 421–430.
- Castañeda Guillot, C. (2018). Probióticos, puesta al día: an update. *Revista Cubana de Pediatría*, 90(2), 286-298. <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/noncommunicable-diseases>
- Cao, S., Z. Hu, Y. Zheng, Z. Yang y B. Lu. 2011. Effect of BTH on antioxidant enzymes, radical-scavenging activity and decay in strawberry fruit. *Food Chem.* 125, 145-149.
- Champagne, C. P., Gardner, N., & Roy, D. (2011). Challenges in the addition of probiotic cultures to foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(21), 183–196.
- Charniot JC, Vignat N, Albertini JP, Bogdanova V, Zerhouni K, Monsuez JJ, *et al.* (2008). Oxidative stress in patients with acute heart failure. *Rejuvenation Res.*11:393-8.
- Chen, C.-C., Hsu, J.-D., Wang, S.-F., Chiang, H.-C., Yang, M.-Y., Kao, E.-S., Ho, Y.-C., & Wang, C.-J. (2003). Hibiscus sabdariffa extract inhibits the development of atherosclerosis in cholesterol-fed rabbits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(18), 5472–5477. <https://doi.org/10.1021/jf030065w>
- Choudhury, N., Meghwal, M., & Das, K. (2021). Microencapsulation: An overview on concepts, methods, properties and applications in foods. *Food Frontiers*, 2(94), 1–10. <https://doi.org/10.1002/fft2.94>
- Cigarran, S., González, E. & Cases, A. (2017). Microbiota intestinal en la enfermedad renal crónica, *Nefrología*, 37(1), 9-19.
- Clavijo, J. (2013). Caracterización de materiales a través de medidas de microscopía electrónica de barrido (SEM). *Elementos*, 3(3).
- Clifford, M. N. (2000). Anthocyanins–nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(7), 1063-1072.

- Colussi, R., Ferrreira da Silva, W., Biduski, B., Mello El Halal, S., da Rosa Zavareze, E., & Guerra Dias, A. (2021). Postharvest quality and antioxidant activity extension of strawberry fruit using allyl isothiocyanate encapsulated by electrospun zen ultrafine fibers. *LWT*, 143, 111087.
- Cordero, A. (2013). *Aplicación del Análisis Sensorial de los Alimentos en la Cocina y en la Industria*. Universidad Pablo de Olavide, Sevilla.
- Cronquist, A. (1981). *An integrated system of classification of flowering plants*. Columbia University Press, New York, 248-250.
- Cruzado, M., & Cedrón, J. C. (2012). Nutraceuticos, alimentos funcionales y su producción. *Revista de Química*, 26(1-2), 33-36.
- Darrow, George M. (1966). *The Strawberry: History, Breeding and Physiology*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- De Arauz, L. J., Jozala, A. F., Mazzola, P. G., & Vessoni Penna, T. C. (2009). Nisin biotechnological production and application: A review. *Trend in food Science and Technology*, 20, 146-154.
- de Vos, P., Faas, M. M., Spasojevic, M., & Sikkema, J. (2010). Encapsulation for preservation of functionality and targeted delivery of bioactive food components: A review. *International Dairy Journal*, 20(4), 292–302. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.11.008>
- Del Greco, N. (2010). *Estudio sobre tendencias de consumo de alimentos. Primera parte-Generalidades y casos. Datos relevantes para la toma de decisiones en la Agroindustria de Alimentos y Bebidas*.
- D.T. Abeysinghea, K.A.H. Kumaraa, K.A.D. Kaushalyaa, U.G. Chandrikab, D.D.D.H. Alwis (2021) Phytochemical screening, total polyphenol, flavonoid content, in vitro antioxidant and antibacterial activities of Sri Lankan varieties of *Murraya koenigii* and *Micromelum minutum* leaves. [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(21\)01552-8](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(21)01552-8)
- Fang, A., and B. Bhandari. (2010). Encapsulation of polyphenols – a review. *Trends in Food Science & Technology*. 21:510-523.
- FAO/WHO (Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization). (2002). *Probiotics in food. Health and nutritional properties and guidelines for evaluation*. Food and agriculture organization of the United Nations and World Health Organization, Rome. FAO food and nutrition paper no. 85.

- Fasoyiro, S. B., O. A. Ashaye, A. Adeola, and F. O. Samuel. (2005). Chemical and storability of fruit-flavoured (*Hibiscus sabdariffa*) drinks. *World J. Agric. Sci.* 1: 165-168.
- Favaro, C., A. Santana, E. Monterrey, M. Trindade and F. Netto. 2010. The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *Food Hydrocolloids* 24 (4): 336-340.
- Floch M. Recommendations for probiotic use by patients. Proceedings of the Symposim. The Health Benefits of Probiotics. American Academy of Physician Assistants 37 th Annual PA Conference, EUA, 2017. <http://www.aapa.org/education-and-ertificationcontinuingmedical-education/webcasts>
- Fernández-Arrollo, S., I. C. Rodríguez-Medina, R. BeltránDebón, F. Pasini, J. Joven, V. Micol, A. Segura-Carretero, and A. Fernández-Gutiérrez. 2011. Quantification of the polyphenolic fraction and *in vitro* antioxidant and *in vivo* anti-hyperlipemic activities of *Hibiscus sabdariffa* aqueous extract. *Food Res. Int.* 44: 1490-1495.
- García Montes, Y. M. (2025). Uso de *Lactococcus lactis* y *Lacticaseibacillus casei* encapsulados con diferentes sustratos para el control de *Salmonella* spp., *Escherichia coli* y *Listeria monocytogenes* en queso de leche de vaca fresca [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Cuyo]. Repositorio Digital de la UNT; Biblioteca Digital UNCUYO. https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/20547/tdippia1-yessenia-maribel-garcia-montes.pdf
- Garro, A., Cardona, W., Rojano, B., Robledo, S., & Alzate, F. (2015). Actividad antioxidante y citotóxica de extractos de *Pilea dauciodora* Wedd (Urticaceae). *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 20(1), 88–97. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962015000100008
- Gharsallaoui, A., G. Roudaut, O. Chambin, A. Voilley, and R. Saurel. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*. 40:1107-1121.
- Gionchetti P, Rizzeto F, Morselli C, Poggioli G, Tambasco R, Calabrese C *et al*. High-dose probiotics for the treatment of active pouchitis. *Dis Colon Rectum* 2007 Dec;50(12):2075-82
- Gómez-Aldapa, C. A., Castro Rosas, J., Rangel Vargas, E., Navarro Cortez, R. O., Cabrera Canales, Z. E., Díaz Batalla, L., ... Falfán Cortés, 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*

- González Aguilar, GA, *et al.* (2000). “Efecto del almacenamiento y procesamiento en la actividad antioxidante de frutas y hortalizas”. *Postharvest Biology and Technology*, 20(3), 239-248.
- Goula, Athanasia M.; Adamopoulos, Konstantinos G. (2005). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. , 66(1), 35–42. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.02.031
- Guillamón, E. (2018). Efecto de compuestos fitoquímicos del género *Allium* sobre el sistema inmune y la respuesta inflamatoria. *Ars Pharmaceutica* (Internet), 59(3), 185-196.
- Haider, C., Niederreiter, G., Palzer, S., Hounslow, M., & Salman, A. (2018). Unwanted agglomeration of industrial amorphous food powder from a particle perspective. *Chemical Engineering Research and Design*, 132, 1160-1169. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.02.023>
- Hassimotto, N. M. A., Genovese, M. I., & Lajolo, F. M. (2005). Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables, and commercial frozen fruit pulps. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(8), 2928–2935. <https://doi.org/10.1021/jf047894h>
- Hernández-López, Z., Rangel-Vargas, E., Castro-Rosas, J., Gómez-Aldapa, C. A., Cadena-Ramírez, A., Acevedo-Sandoval, O. A., & Falfán-Cortés, R. N. (2018). Optimization of a spray-drying process for the production of maximally viable microencapsulated *Lactobacillus pentosus* using a mixture of starch-pulque as wall material. *LWT*, 95, 216-222.
- Hernández M. Recomendaciones nutricionales para el ser humano. *Rev Cubana Invest Bioméd.* 2004;23(4).
- Herrera Arellano, A., Flores Romero, S., Chávez Soto, M. A., & Tortoriello, J. (2004). Effectiveness and tolerability of a standardized extract from *Hibiscus sabdariffa* in patients with mild to moderate hypertension: a controlled and randomized clinical trial. *Phytomedicine*, 11(5), 375–382. <https://doi.org/10.1016/J.PHYMED.2004.04.001>
- Herrera Arellano, A., J. Miranda Sánchez, P. Ávila-Castro, S. Herrera Álvarez, J.E. Jimenez Ferrer, A. Zamilpa, R. Roman Ramos, H. Ponce-Monter, and J. Tortoriello. (2007). Clinical effects produced by a standardized herbal medicinal product of *Hibiscus sabdariffa* on patients with hypertension. A randomized, doubleblind, lisinopril-controlled clinical trial. *Planta Med.* 73: 6-12.

- Hevia, A., Delgado, S., Sánchez, B. & Margolles, A. (2015). Molecular players involved in the interaction between beneficial bacteria and the immune system. *Frontier in Microbiology*, 6, 1285-1290.
- Hirunpanich, V., Utaipat, A., Morales, N. P., Bunyapraphatsara, N., Sato, H., Herunsale, A., & Suthisisang, C. (2006). Hypocholesterolemic and antioxidant effects of aqueous extracts from the dried calyx of *Hibiscus sabdariffa* L. in hypercholesterolemic rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 103(2), 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.08.033>
- Izquierdo-Vega, JA, Arteaga-Badillo, DA, Sánchez-Gutiérrez, M., Morales-González, JA, Vargas-Mendoza, N., Gómez-Aldapa, CA, ... & Madrigal-Santillán, E. (2020). Ácidos orgánicos de Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.): una breve revisión de sus efectos farmacológicos. *Biomedicinas* , 8 (5), 100.
- J. Milivojević, V. Maksimović, M. Nikolić, J. Bogdanović, R. Maletić y D. Milatović, “propiedades químicas y antioxidantes de las bayas de fragaria y rubus cultivadas y silvestres”, *Journal of Food Quality* , vol. 34, núm. 1, págs. 1 a 9, 2011.
- Jurado Gámez , H., Ceron Cordoba , J. F., & Davila Solarte , A. P. (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. <https://revistas.uninunez.edu.co/index.php/aglala/article/view/2378>
- Jurado, T; Aparcana, A; Villarreal, L; Ramos, L; Calixto, C; Hurtado, P; Acosta, KM. 2016. Evaluación del contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante de los extractos etanólicos de los frutos de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) de diferentes lugares del Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 82(3): 272-279.
- Johnson S, Maziade P-J, McFarland LV, Trick W, Donskey C, Currie B *et al.* Is primary prevention of *Clostridium difficile* infection possible with specific probiotics? *Int J Infect Dis IJID Off Publ Int Soc Infect Dis* 2012 Nov;16(11) cc786-792.
- Kailasapathy, K. Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. *LWT* 39: pp. 1221-1227, 2006.
- Kanodia, L., Borgohain, M., & Das, S. (2011). *Indian Journal of Pharmacology*, 43(1), 18–21. <https://doi.org/10.4103/0253-7613.75660>
- Kinsella, J., Frankel, E., German, B., Kanner J. (1993). Possible mechanisms for the protective role of antioxidants in wine and plant foods. *Food Technology*, 47 (4): 55-90.

- Kim, D.O., Jeong, S., Lee, C. (2002) Capacidad antioxidante de los fitoquímicos fenólicos de diversas variedades de ciruelas. *Química de los alimentos*, 81 (3), 321-326.
- Kiselova, Y., Ivanova, D., Chervenkov, T., Gerova, D., Galunska, B., & Yankova, T. (2006). *Phytotherapy Research*, 20(11), 961–965. <https://doi.org/10.1002/ptr.1985>
- Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., García-Parilla, M. C., Troncoso, A. M., & Fett, R. (2004). Actividad antioxidante de pigmentos antociánicos. *Food Science and Technology*, 24, 691-693.
- Lahtinen, S. J. (2012). Probiotic viability - does it matter?. *Microbial Ecology in Health and Disease*, 23, 10. DOI: 10.3402/mehd.v23i0.18567
- Liang, Ch. L.; Chau, J. L. W.; Ching, Ch.; Sheng, Ch. C.; Huei, L. H; Jen, D. L. and Huei, J. 2009. Aqueous extract of *Hibiscus sabdariffa* L. decelerates acetaminophen-induced acute liver damage by reducing cell death and oxidative stress in mouse experimental models. *J. Sci. Agric.* (90):329-337 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20355050/>
- Liberal, J., Francisco V., Costa G., Figueirinha A., Amaral A., Marques C., Girao H., Lopes C., Cruz T., Bautista T. (2014). *Journal of Ethnopharmacology*, 158, 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.09.043>
- Lin H.-H., J.-H. Chen and C.-J. Wang (2011) Chemopreventive properties and molecular mechanisms of the bioactive compounds in *Hibiscus sabdariffa* Linne. *Current Medicinal Chemistry* 18:1245-1254.
- Lopez-da-Silva, J. A., Escribano-Bailón, M. T., Rivas-Gonzalo, J. C., & Santos-Buelga, C. (2002). Anthocyanin pigments in strawberry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(2), 157–162.
- López-Díaz, S., Sandoval-Flores, M. G., Flores-Pantoja, L. E., Jiménez-Mejía, R., Santoyo, G., & Loeza-Lara, P. D. (2021). Quitosanos y compuesto quitosano-octanoato de sodio reducen la pudrición de fresa en poscosecha. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(6), 1131-1137.
- Madene, A., J. Scher, and S. Desobry. (2006). Flavour encapsulation and controlled release - a review. *International Journal of Food Science and Technology* 4(1):1-21, 2006.
- Maganha, E. G., Halmenschlager, R. C., Rosa, R. M., Henriques, J. A. P., Pich, C. T., & Santos, R. C. V. (2010). Pharmacological evidences for the extracts and secondary metabolites from plants of the genus *Hibiscus*.

- Maresca, D., De Prisco, A., La Stora, A., Cirillo, T., Esposito, F., & Mauriello, G. (2016). Microencapsulation of nisin in alginate beads by vibrating technology: Preliminary investigation. *LWT - Food Science and Technology*, 66, 436–443.
- Márquez, R., De la Rosa, C., Rivero, C. y Medina, M. (2007). Actividad diurética del extracto total acuoso de los cálices de *Hibiscus sabdariffa* L. administrado en ratas albinas variedad Wistar. *Scientia et Technica*, 13 (33): 377-381. <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6037>.
- Martínez-Ramírez, E.Z., González-Cruz, L., Bernardino-Nicanor, A. *et al.* Hibiscus Acid Inhibitory Capacity of Angiotensin Converting Enzyme: an *In Vitro* and *In Silico* Study. *Plant Foods Hum Nutr* 79, 234–241 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11130-024-01142-5>
- McKay, D. L., Chen, C. Y.-O., Saltzman, E., & Blumberg, J. B. (2010). *Hibiscus sabdariffa* L. tea (tisane) lowers blood pressure in prehypertensive and mildly hypertensive adults. *The Journal of Nutrition*, 140(2), 298–303. <https://doi.org/10.3945/jn.109.115097>
- Medina-Torres, L., E. García-Cruz, F. Calderas, R., González-Laredo, G. Sánchez-Olivares, J. Gallegos-Infante, N.E. Rocha-Guzmán, and J. Rodríguez-Ramírez. (2013). Microencapsulation by spray drying of gallic acid with nopal mucilage (*Opuntia ficus indica*). *LWT Food Science and Technology*. 50:642-650
- M. F. Sotomayor y D. A. Vargas. (2017). “Optimización de extracción, microencapsulación y evaluación de la capacidad antioxidante de antocianinas de flor de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) mediante secado por aspersión”, Tesis de Grado, Universidad Zamorano.
- Miller SI: Resistencia a antibióticos y regulación de la barrera de membrana externa de bacterias gramnegativas por moléculas inmunitarias innatas del huésped. *mBio*. 2016;7:e01541-16. DOI: 10.1128/mBio.01541-16.
- Mojiminiyi FBO, Adegunloye BJ, Egbeniyi YA; Okolo RU. (2000). An investigation of the diuretic effect of an aqueous extract of the petal of *Hibiscus sabdariffa*. *J Med Sci*. 2: 77-80.
- Narayan SS, Jalgaonkar S, Shahani S, Kulkarni VN. Probióticos: tendencias actuales en el tratamiento de la diarrea. *Hong Kong Med J*. (2010). 16(3):213–218.
- Narbona, E., Uberos, J., Armadá, M., Couce, M.L., Rodríguez, G. & Saenz, M. (2014). Grupo de Nutrición y Metabolismo Neonatal, Sociedad Española de Neonatología: recomendaciones y evidencias para la suplementación dietética con probióticos en recién nacidos de muy bajo peso al nacer. *Anales de Pediatría*, 81(6), 397-408.

- Nesterenko, A., Alric, I., Silvestre, F., & Durrieu, V. (2013). Vegetable proteins in microencapsulation: A review of recent interventions and their effectiveness. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 19, 102
- Neves, J. M., Matos, C., Mouthino, C., Queiroz, G., & Gomes L. (2009). Ethnopharmacological notes about ancient uses of medicinal plants in Trás-os-Montes (northern of Portugal) <https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.04.041>
- Ochoa, C. I., & Ayala, A. A. (2004). Los flavonoides: apuntes generales y su aplicación en la industria de alimentos. *Ingeniería y competitividad*, 6(2), 64-74.
- Odigie IP; Ettarh RR; Adigun SA. (2003). Chronic administration of aqueous extract of *Hibiscus sabdariffa* attenuates hypertension and reverses cardiac hypertrophy in 2K-1 C hypertensive rats. *J Ethnopharm.* 86: 181-185.
- Ojeda, D., E. Jiménez-Ferrer, A. Zamilpa, A. Herrera-Arellano, J. Tortoriello and L. Alvarez. 2010. Inhibition of angiotensin convertin enzyme (ACE) activity by the anthocyanins delphinidin- and cyanidin-3-O-sambubiosides from *Hibiscus sabdariffa*. *J. Ethnopharmacol.* 127: 7-10.
- Olaleye, M. T. (2007). Cytotoxicity and antibacterial activity of methanolic extract of *Hibiscus sabdariffa*. *J. Medicinal Plants Res.* 1(1):009-013 https://academicjournals.org/article/article1380372687_Olaleye.pdf
- Oliveira, L., Macedo, S., Oliveira, A., Pacheco, S., Pe-reira, S. & Martins, V. (2017). Avaliação do armazenamento a frio sobre os compostos bioativos e as características físicoquímicas e microbiológicas do suco de umbu pasteurizado. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20, 1-8.
- Omilabu, A. S.; Bankole, A. M.; Oyefolu, O. A.; Adesanya, B. S. and Badaru, O. 2010. Antiviral effect of *Hibiscus sabdariffa* and *Celosia argentea* on measles virus. *Afr. J. Microbiol. Res.* 4(4):293-296
- Organización Mundial de la Salud. (2023). Enfermedades no transmisibles. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>
- Özüdogru, B., Ferreira, I. C. F. R., Dias, M. I., Santos-Buelga, C. (2011). Individual phenolic profile and antioxidant activity of vegetative parts from cultivated or wild growing *Fragaria vesca* L. *Planta Medica*, 80, P2B26.
- Patel, S. 2014. *Hibiscus sabdariffa*: An ideal yet under-exploited candidate for nutraceutical applications. *Biomed. Prev. Nutr.* 4: 23-27.

- Porrata C, Monterrey P, Castro D, Rodríguez L, Martín I, Zulueta D, *et al.* Guías alimentarias para la población cubana mayor de dos años de edad. La Habana: Ed. MINSAP/INHA; 2009.
- Preciado, A. (2016). Desarrollo, caracterización y evaluación in vitro de una bebida funcional a base de extractos optimizados de jamaica y té verde. Sonora: Centro de Investigación en alimentación y desarrollo. 103 pp.
- Prenesti, E., S. Berto, P. G. Daniele, and S. Toso. 2007. Antioxidant power quantification of decoction and cold infusions of *Hibiscus sabdariffa* flowers. Food Chem. 100: 433-438.
- Reigada Olaizola, A. (2012). Más allá del discurso sobre la " inmigración ordenada": contratación en origen y feminización del trabajo en el cultivo de la fresa en Andalucía. Política y sociedad, 49 (1), 103-122.
- Quek, S. Y., Chok, N. K., & Swedlund, P. (2007). The physiochemical properties of spray-dried watermelon powders. DOI:10.1016/j.jcep.2006.06.020
- Rajam, R., & Anandharamakrishnan, C. (2015). Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* (MTCC 5422) with fructooligosaccharide as wall material by spray drying. LWT-Food Science and Technology, 60(2), 773–780.
- Resende, I. F., de Souza Melo, D., Santos, M. S., & Dias, D. R. (2023). Non-lactic probiotic beverage enriched with microencapsulated red propolis: microorganism viability, physicochemical characteristics, and sensory perception. Fermentation, 9(3), 234.
- Reyes-Luengas, A., Y. Salinas-Moreno, M. E. Ovando-Cruz, R. I. Arteaga-Garibay, y M. D. Martínez-Peña. 2015. Análisis de ácidos fenólicos y actividad antioxidante de extractos de variedades de jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) con cálices de diversos colores. Agrociencia 49: 277-290.
- Riaz, G.; Chopra, R. (2018). Una revisión sobre la fitoquímica y los usos terapéuticos de *Hibiscus sabdariffa* L. Biomed. Pharmacother, 575–586.
- Robert, P., T. Gorena, N. Romero, E. Sepulveda, J. Chavez, and C. Saenz. (2010). Encapsulation of polyphenols and anthocyanins from pomegranate (*Punica granatum*) by spray drying. International Journal of Food Science & Technology. 45:1386-1394.
- Rodrigues, F., dos Santos, S. Lopes, M., Guimarães, D., de Oliveira E., de Souza, M., Ricardo N., (2021). Antioxidant films and coatings based on starch and phenolics from *Spondias purpurea* L., International Journal of Biological Macromolecules, 182, 354-365.

- Saikia, S., Mahnot, N., Mahanta, C., (2015). Optimisation of phenolic extraction from *Averrhoa carambola* pomace by response surface methodology and its microencapsulation by spray and freeze drying. *Food Chemistry* 171: 144-152.
- Sánchez Domínguez, D. V. (2016). Calidad físico, química y microbiológica de infusión (nibs, cascarilla y almendra) de cacao (*Theobroma cacao* L.) nacional en la Asociación La Cruz, Cantón Mocache. Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Quevedo.
- Sánchez, J., Olivares, C., Olascoaga, S., (2023). Morfología y anatomía de la fresa *Fragaria Vesca*. <https://www.calameo.com/read/0070832543fdbfaded94>
- Sancho, M., & Mach, N. (2015). “Efecto de los polifenoles del vino sobre la prevención del cáncer”. *Nutrición Hospitalaria*, 31(2), 535-551.
- Sanders, M. E. & Marco, M. L. (2010). Food formats for effective delivery of probiotics. *Annual Reviews Food Science Technology*, 1, 65-85. DOI: 10.1146/annurev.food.080708.100743
- Savo, M., Barros, L., Oliveira, M. P. P., Santos-Buelga, C., & Ferreira, I. C. F. R. (2011). Antioxidant activity and phenolic profile of commercial and wild roots of *Fragaria vesca*. *Planta Medica*, 80, P2B8.
- Sáyago-Ayerdi S. G., C. Velázquez-López, E. Montalvo-González and I. Goñi (2014) By product from decoction process of *Hibiscus sabdariffa* L. calyces as a source of polyphenols and dietary fiber. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94:898-904. doi: 10.1002/jsfa.6333.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2019). Flor de jamaica como producto estratégico para la salud humana en el contexto de México. *Revista Agroecosistemas Tropicales y Subtropicales*, 27, 074.
- Sierre Ames, P. L., & Guillen Sullca, J. M. (2017). Evaluación de la viabilidad del *Lactobacillus spp.* Encapsulado en Maltodextrina como probiótico en el jugo de aguaymanto. [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1591>
- Shahidi, F., M. Naczk. (2006). Phenolic compounds of major oilseeds and plant oils In *Phenolics in Food and Nutraceuticals*.
- Simirgiotis, M.J., Schmeda-Hirschmann, G. (2010). Determination of phenolic composition and antioxidant activity in fruits, rhizomes and leaves of the white strawberry (*Fragaria chiloensis* spp. *chiloensis* form *chiloensis*) using HPLC-

- DAD-ESI-MS and free radical quenching techniques. *J. Food Compos. Anal.* 23, 545553. <https://doi.org/10.1016/j.jf>
- Sindi, H. A., L. J. Marshall, and R. A. Morgan. (2014). Comparative chemical and biochemical analysis of extracts of *Hibiscus sabdariffa*. *Food Chem.* 164: 23-29.
- Tamang JP, Shin DH, Jung SJ, Chae SW. Functional Properties of Microorganisms in Fermented Foods. *Front Microbiol.* 2016 Apr 26;7:578. doi: 10.3389/fmicb.2016.00578. PMID: 27199913; PMCID: PMC4844621.
- Terpinc, P., Dobrosłavić, E., Garofulić, IE, Repajić, M., Cegledi, E., Dobrinčić, A., Pedisić, S. y Levaj, B. (2023). Maximización de la recuperación de antioxidantes fenólicos de hojas de fresa silvestre (*Fragaria vesca*) mediante extracción asistida por microondas y extracción acelerada con solventes. *Processes*, 11 (12), 3378. <https://doi.org/10.3390/pr11123378>
- Tsai, P. J., J. McIntosh, P. Pearce, B. Camden, and B. R. Jordan. (2002). Anthocyanin and antioxidant capacity in roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. *Food Res. Inter.* 35: 351-356.
- Tulipani, S., Mezzetti, B., Capocasa, F., Bompadre, S., Beekwilder, M. J., de Vos, C. H., Capanoglu, E., Bovy, A. G., & Battino, M. (2008). Antioxidants, phenolic compounds, and nutritional quality of different strawberry genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(3), 696–704. <https://doi.org/10.1021/jf0719959>
- Valencia, A; Ignacio, I; Sosa, E; Bartolomé, M; Martínez, H; García, M. (2017). Polifenoles: Propiedades antioxidantes y toxicológicas.
- Valdovino MA, Montijob E, Abreuc AT, Hellerd S, González-Garaye A, Bacarrezaf D *et al.* Consenso mexicano sobre probióticos y prebióticos en gastroenterología. *Rev Mex Gastroenterología* 2017, Apr-Jun; 82(2):156-78.
- Vibra. (s.f.). Para qué sirve la flor de Jamaica, ¿estos son todos sus beneficios! <https://vibra.co/bienestar/para-que-sirve-la-flor-de-jamaica/>
- Woottisin, S. R.; Hossain, C.; Yachantha, P.; Sriboonlue, Y. and Ogawa, S. and Saito, Z. (2011). Effects of *Orthosiphon grandiflorus*, *Hibiscus sabdariffa* and *Phyllanthus amarus* extracts on risk factors for urinary calcium oxalate stones in rats. *The J. Urol.* 185:323-328 <https://doi.org/10.1016/j.juro.2010.09.003>
- Yongabi, K. A.; Lewis, D. M. and Harris, L. (2011). Application of phytodisinfectants in water purification in zone rural Cameroon. *African Journal Microbiologic Research.* 5(6):628-635

Zhang, C., Khoo, S., Chen, X., & Quek, S. (2020). Microencapsulation of fermented noni juice via micro-fluidic-jet spray-drying: evaluation of powder properties and functionalities. *Powder Technology*, 361, 995-1005. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.10.098>