



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

Posgrado en Ciencias Farmacobiológicas

Desarrollo y evaluación *in vitro* de un novedoso *sinbiótico* compuesto por fructanos de *Agave salmiana*, en combinación con los probióticos: *L. acidophilus* y *B. longum infantis*

Tesis que para obtener el grado de:
Doctorado en Ciencias Farmacobiológicas

Presenta:
Bravo Ramírez Anamaría

Director de Tesis: **Dr. Fidel Martínez Gutiérrez**

Codirectora de Tesis: **Dra. Avelina Franco Vega**

SAN LUIS POTOSÍ, S. L. P.

FECHA: Noviembre del 2026



UASLP-Sistema de Bibliotecas

Repositorio Institucional Tesis digitales Restricciones de uso DERECHOS RESERVADOS

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en este Trabajo Terminal está protegido por la Ley Federal de Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos.

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde se obtuvo, mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto o con fines de lucro, reproducción, edición o modificación será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Desarrollo y evaluación in vitro de un novedoso sinbiótico compuesto por fructanos de Agave salmiana, en combinación con los probióticos: L. acidophilus y B. longum infantis © 2026 por Bravo Ramírez Anamaría se distribuye bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

El presente proyecto se desarrolló en el Instituto de Investigación de Zonas Desérticas; en el Laboratorio de Microbiología; así como en el Laboratorio de Bromatología y en la Planta Piloto de Ingeniería en Alimentos, estos últimos pertenecientes a la Facultad de Ciencias Químicas; y en el Centro de Investigación en Ciencias de la Salud y Biomedicina, todos adscritos a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, en el periodo comprendido entre agosto 2019 y julio 2024, bajo la codirección del Dr. Fidel Martínez Gutiérrez y la Dra. Avelina Franco Vega.

El programa de Doctorado en Ciencias Farmacobiológicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí pertenece al Sistema Nacional de Posgrados de Calidad (SNP) del CONAHCYT, registro 003383.

Los datos del trabajo titulado “Desarrollo y evaluación in vitro de un novedoso *sinbiótico* compuesto por fructanos de *Agave salmiana*, en combinación con los probióticos: *L. acidophilus* y *B. longum infantis*” se encuentran bajo el resguardo del Posgrado en Ciencias Farmacobiológicas y pertenecen a la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SANLUIS POTOSÍ

Facultad de Ciencias Químicas

Centro de Investigación y Estudios de Posgrado

Posgrado en Ciencias Farmacobiológicas

Programa de Doctorado

Formato D12

Solicitud de Registro de Tesis Doctorado

San Luis Potosí SLP a mayo/ 27 /2026

Comité Académico

En atención a: Coordinadora del Posgrado

Por este conducto solicito a Usted se lleve a cabo el registro de título de tesis de Doctorado, el cual quedo definido de la siguiente manera: Desarrollo y evaluación *in vitro* de un novedoso *sinbiótico* compuesto por fructanos de *Agave salmiana*, en combinación con los probióticos: *L. acidophilus* y *B. longum infantis*.

que desarrollará la estudiante: Bravo Ramírez Anamaría

bajo la dirección y/o Co-dirección de: Dr. Fidel Martínez Gutiérrez y

Dra. Avelina Franco Vega.

Asimismo, le comunico que el proyecto en el cual trabajará el alumno involucrará el manejo de animales de experimentación, estudios con seres humanos o muestras derivadas de los mismos, el manejo y/o generación de organismos genéticamente modificados y requiere de aval de Comité de Ética e investigación de la FCQ.

(Complete la opción que aplique en su caso):

() Sí debido a que: _____

(x) No

() No Aplica

Sin otro particular, quedo de Usted.

ATENTAMENTE

Anamaría Bravo Ramírez

Nombre y firma del estudiante

Dr. Fidel Martínez Gutiérrez

Nombre y firma del Director de Trabajo
terminal



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

Posgrado en Ciencias Farmacobiológicas

Desarrollo y evaluación *in vitro* de un novedoso *sinbiótico* compuesto por fructanos de *Agave salmiana*, en combinación con los probióticos:

L. acidophilus* y *B. longum infantis

Tesis que para obtener el grado de:
Doctorado en Ciencias Farmacobiológicas

Presenta

Bravo Ramírez Anamaría

SINODALES:

Dr. Fidel Martínez Gutiérrez

Dra. Avelina Franco Vega

Dr. Mariano García Soto

Dra. Diana Patricia Portales Pérez

Dra. Rosa Isela Ortiz Basurto

SAN LUIS POTOSÍ, S. L. P.

FECHA: Noviembre del 2026

INTEGRANTES DEL COMITÉ TUTORIAL ACADÉMICO

Dr. Fidel Martínez Gutiérrez: Director de tesis. Adscrito al Posgrado en Ciencias Farmacobiológicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S.L.P.

Dra. Avelina Franco Vega: Codirector de tesis. Adscrita al Posgrado en Ciencias en Bioprocesos de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S.L.P.

Dr. Mariano García Soto: Sinodal de tesis. Adscrito a Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S.L.P.

Dra. Diana Portales Pérez: Sinodal de tesis. Adscrita al Posgrado en Ciencias Farmacobiológicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, S.L.P.

Dra. Rosa Ortiz Basurto: Sinodal de tesis. Adscrita al Posgrado en Ciencias en Alimentos, Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Tepic, Nayarit.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
Facultad de Ciencias Químicas
Centro de Investigación y Estudios de Posgrado
Posgrado en Ciencias Farmacobiológicas
Programa de Doctorado

Formato D5

Carta Cesión de Derechos

San Luis Potosí SLP a mayo/ 27 /2026

En la ciudad de San Luis Potosí el día 27 del mes de mayo del año 2026. El que suscribe Bravo Ramírez Anamaría Alumna del programa de posgrado en Ciencias Farmacobiológicas adscrito a la Facultad de Ciencias Químicas manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo terminal, realizado bajo la dirección de: Dr. Fidel Martínez Gutiérrez y cede los derechos del trabajo titulado Desarrollo y evaluación in vitro de un novedoso sinbiótico compuesto por fructanos de Agave salmiana, en combinación con los probióticos: L. acidophilus y B. longum infantis a la **Universidad Autónoma de San Luis Potosí**, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir de forma total o parcial texto, gráficas, imágenes o cualquier contenido del trabajo si el permiso expreso del o los autores. Éste, puede ser obtenido directamente con el autor o autores escribiendo a la siguiente dirección anabravo9.ab@gmail.com y fidel@uaslp.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Anamaría Bravo Ramírez

Nombre y firma del alumno



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
Facultad de Ciencias Químicas
Centro de Investigación y Estudios de Posgrado
Posgrado en Ciencias Farmacobiológicas
Programa de Doctorado

Formato D28

Carta de Análisis de Similitud

San Luis Potosí SLP a 20 de agosto de 2026

L.B. María Zita Acosta Nava
Biblioteca de Posgrado FCQ

Asunto: Reporte de porcentaje de similitud de tesis de grado

Por este medio me permito informarle el porcentaje de similitud obtenido mediante Ithenticate para la tesis titulada Desarrollo y evaluación in vitro de un novedoso sinbiótico compuesto por fructanos de *Agave salmiana*, en combinación con los probióticos: *L. acidophilus* y *B. longum infantis* presentada por el autor Anamaría Bravo Ramírez. La tesis es requisito para obtener el grado de Doctorado en el Posgrado en Ciencias Farmacobiológicas. El análisis reveló un porcentaje de similitud de 3% excluyendo referencias y metodología.

Agradezco sinceramente su valioso tiempo y dedicación para llevar a cabo una exhaustiva revisión de la tesis. Quedo a su disposición para cualquier consulta o inquietud que pueda surgir en el proceso.

Sin más por el momento, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Dra. Claudia Escudero Lourdes
Coordinadora Académico del Posgrado
en Ciencias Farmacobiológicas

Dedicatoria y agradecimientos

A mi mami, por ser mi apoyo incondicional, mi ejemplo de fortaleza y ese lugar seguro al que siempre puedo regresar. Gracias por tu amor, por creer en mí y por acompañarme en cada etapa de mi vida. Este logro también es tuyo, porque detrás de cada paso que doy siempre está tu cariño.

A mis niñas, Nona (Q.E.P.D.) y Misha, mis compañeras de cuatro patitas, por su amor incondicional, por sus miradas llenas de ternura y por estar siempre a mi lado, incluso en esos días interminables de trabajo, cansancio e incertidumbre. Gracias por recibirme siempre con la misma alegría, por acompañarme en silencio y por recordarme que, después de un día difícil, todo mejora con un poquito de amor y unas patitas cerca. Ustedes no saben de tesis, experimentos ni grados académicos, pero saben perfectamente cómo hacerme feliz.

A mi hospital, por brindarme la oportunidad y las facilidades para combinar mis responsabilidades profesionales con las actividades de laboratorio. Gracias por permitirme continuar mi formación académica y demostrarme que siempre es posible seguir aprendiendo, creciendo y persiguiendo nuevos objetivos.

A mis niñas del proyecto profesionalizante, porque este trabajo también tiene mucho de ustedes. Más allá de los experimentos y los resultados, me quedo con el entusiasmo, las experiencias compartidas, las dificultades que superamos y todo lo que aprendimos juntas.

A Aby, Fer y Kary, mi querido equipo mazapán, por su creatividad, dedicación y entusiasmo. Gracias por cada formulación, cada prueba, cada resultado inesperado y cada momento que convirtió nuestro trabajo en una experiencia especial. Entre cacahuates, fructanos, ensayos y muchas horas de laboratorio, construimos algo que va mucho más allá de un producto.

A Linda, Sarahi y Ximena, mi equipo de microencapsulación, por su compromiso, esfuerzo y perseverancia. Gracias por cada jornada de laboratorio, por

su paciencia ante los desafíos experimentales y por demostrar que la investigación también se construye con compañerismo, colaboración y muchas ganas de aprender.

A Bety, porque ella inició todo. Porque a veces los grandes proyectos comienzan con una idea, una conversación o alguien que nos impulsa a dar el primer paso. Gracias por sembrar la semilla de lo que hoy se convierte en una realidad. Siempre tendrás un lugar especial en esta historia.

A Miriam, por estar, por ayudarme y por brindarme tu apoyo a lo largo de este proceso. Gracias por tu generosidad, tu disposición y por hacer más llevaderos los momentos complicados. Tu compañía y tu ayuda fueron muy valiosas para llegar hasta aquí.

A mi comité académico, por su tiempo, paciencia, orientación y conocimientos. Gracias por cada observación, cada recomendación y cada oportunidad de mejorar. Sus aportaciones no solamente enriquecieron este trabajo, sino también mi formación como investigadora.

Finalmente, a todas las personas que, de alguna manera, caminaron conmigo durante esta etapa: gracias por su confianza, sus palabras de aliento y por formar parte de esta experiencia.

Hoy comprendo que detrás de cada investigación hay mucho más que resultados, metodologías y publicaciones. Hay personas que nos enseñan, otras que nos impulsan, algunas que nos acompañan y seres maravillosos que simplemente nos esperan en casa.

Porque al final, los logros académicos llevan un nombre, pero las historias que los hacen posibles están llenas de muchos corazones.

Con todo mi cariño y gratitud.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo desarrollar y evaluar un alimento funcional *sinbiótico* utilizando fructanos de *Agave salmiana* como prebiótico y las cepas probióticas *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium longum* subsp. *infantis*. Los microorganismos fueron microencapsulados mediante secado por aspersión empleando una mezcla de carbohidratos, proteína de suero y fructanos como material de pared, alcanzando una concentración final de 2.33×10^{11} UFC/g.

Se evaluó el rendimiento, las propiedades fisicoquímicas y de viabilidad del polvo microencapsulado indicando su idoneidad para la elaboración de un confite comprimido, por lo que se incorporó a un mazapán. Se desarrollaron tres formulaciones: una tradicional y dos diseñadas conforme al modelo de perfil de nutrientes de la Organización Panamericana de la Salud. Todas las formulaciones fueron sometidas a análisis bromatológicos y a una evaluación sensorial mediante una prueba hedónica aplicada a 50 panelistas, mostrando una aceptación favorable.

La estabilidad de los probióticos se evaluó durante 60 días de almacenamiento a diferentes temperaturas. La mayor viabilidad se observó en el polvo microencapsulado almacenado a 4 °C, con una concentración de 8.4×10^9 UFC/g a los 30 días. En las formulaciones de mazapán almacenadas a la misma temperatura se registró una reducción aproximada de dos ciclos logarítmicos después de 45 días.

Asimismo, se evaluó la viabilidad *in vitro* bajo condiciones gastrointestinales simuladas. Los probióticos libres presentaron la mayor pérdida de viabilidad, mientras que la microencapsulación brindó una protección significativa. En conclusión, se desarrollaron dos alimentos funcionales con adecuada aceptación sensorial, contenido funcional y potencial para favorecer la modulación de la microbiota intestinal.

Palabras clave: *Sinbiótico*, probiótico, prebiótico, *Agave salmiana*, alimento funcional

SUMMARY

The aim of the present study was to develop and evaluate a synbiotic functional food using *Agave salmiana* fructans as a prebiotic and the probiotic strains *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium longum* subsp. *infantis*. The microorganisms were microencapsulated by spray drying using a mixture of carbohydrates, whey protein, and fructans as wall materials, achieving a final concentration of 2.33×10^{11} CFU/g.

The yield, physicochemical properties, and viability of the microencapsulated powder were evaluated, demonstrating its suitability for the production of a compressed confectionery product. Consequently, the powder was incorporated into a marzipan matrix. Three formulations were developed: one traditional formulation and two formulations designed according to the Pan American Health Organization (PAHO) Nutrient Profile Model. All formulations underwent proximate composition analysis and sensory evaluation through a hedonic test conducted with 50 panelists, showing favorable acceptance.

The stability of the probiotics was assessed over 60 days of storage at different temperatures. The highest viability was observed in the microencapsulated powder stored at 4 °C, reaching a concentration of 8.4×10^9 CFU/g after 30 days. In the marzipan formulations stored under the same conditions, an approximate reduction of two logarithmic cycles was observed after 45 days.

In addition, *in vitro* viability under simulated gastrointestinal conditions was evaluated. Free probiotic cells exhibited the greatest loss of viability, whereas microencapsulation provided significant protection. In conclusion, two functional foods were successfully developed with adequate sensory acceptance, functional properties, and potential to promote modulation of the intestinal microbiota.

Keywords: Synbiotic, probiotic, prebiotic, *Agave salmiana*, functional food

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	14
ANTECEDENTES	14
JUSTIFICACIÓN	48
HIPÓTESIS	49
OBJETIVOS.....	50
Objetivo general	50
Objetivos específicos.....	50
MATERIAL Y MÉTODOS.....	51
RESULTADOS	52
CONCLUSIONES.....	53
BIBLIOGRAFÍA.....	54
RESUMEN DE REPORTE DE SIMILITU.....	73
CARTA DE ACEPTACIÓN.....	74

INTRODUCCIÓN

La microbiota intestinal humana representa un ecosistema complejo de microorganismos que cumple funciones locales y sistémicas esenciales para la salud (Kho & Lal, 2018). Su equilibrio puede alterarse por diversos factores, generando disbiosis, lo que puede desencadenar respuestas inmunes prolongadas e inflamación crónica (Beck et al., 2022). Para contrarrestar este desequilibrio, se ha propuesto el consumo de probióticos y prebióticos (Misra et al., 2022). El uso de cepas como *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium longum subsp infantis* ha mostrado beneficios importantes, incluyendo la colonización intestinal efectiva y la producción de metabolitos como el lactato, que reduce el pH intestinal (Beck et al., 2022). Los prebióticos, como los fructanos del *Agave salmiana* (fAs), han demostrado efectos positivos en poblaciones vulnerables, como los niños desnutridos (Martinez-Gamiño et al., 2022). Aunque se ha estudiado su adición en productos lácteos, no existen reportes sobre su uso en matrices no lácteas como confitería, lo que representa una oportunidad innovadora para el desarrollo de *sinbióticos* accesibles y estables (Martinez-Gutierrez et al., 2017).

ANTECEDENTES

1. MICROBIOTA INTESTINAL HUMANA

La microbiota intestinal (MI) humana constituye un ecosistema complejo integrado por bacterias, hongos, virus, archaea y otros microorganismos que colonizan el tracto gastrointestinal desde etapas tempranas de la vida. Se estima que el intestino humano alberga aproximadamente 10^{13} a 10^{14} microorganismos, cuya composición y actividad metabólica desempeñan funciones esenciales para el mantenimiento de la salud del huésped (Gebrayel et al., 2022; Kho & Lal, 2018). La diversidad y estabilidad de este ecosistema son consideradas factores determinantes para la homeostasis intestinal y sistémica, debido a su participación en procesos metabólicos, inmunológicos y estructurales que contribuyen al adecuado funcionamiento del organismo (Misra et al.,

2022). La colonización microbiana inicia durante el nacimiento y continúa desarrollándose durante los primeros años de vida. Factores como la vía de nacimiento, la alimentación durante la infancia, la exposición ambiental, el uso de antibióticos, el estilo de vida y la dieta influyen significativamente en la composición final de la MI (Gebrayel et al., 2022). Aunque cada individuo presenta una configuración microbiana particular, existen grupos bacterianos predominantes que constituyen el denominado microbioma intestinal saludable (Kho & Lal, 2018).

Los filos bacterianos Firmicutes y Bacteroidetes representan aproximadamente el 90% de la MI adulta. Otros grupos importantes incluyen Actinobacteria, Proteobacteria, Verrucomicrobia y Fusobacteria. Dentro de estos filos se encuentran géneros ampliamente estudiados por sus efectos benéficos, como *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Faecalibacterium*, *Roseburia* y *Akkermansia* (Beck et al., 2022; Gebrayel et al., 2022).

La MI puede considerarse un órgano metabólico adicional debido a la enorme capacidad genética que posee. Se ha estimado que el conjunto de genes microbianos supera ampliamente el número de genes codificados por el genoma humano, proporcionando funciones metabólicas complementarias que permiten la degradación de polisacáridos complejos, síntesis de vitaminas y la transformación de diversos compuestos bioactivos presentes en la dieta (Kho & Lal, 2018; Misra et al., 2022).

1.1 Funciones fisiológicas de la microbiota intestinal

1.1.1 Funciones metabólicas

Una de las principales funciones de la MI consiste en la fermentación de carbohidratos no digeribles que llegan al colon. Este proceso genera metabolitos conocidos como ácidos grasos de cadena corta (AGCC), entre los cuales destacan el acetato, propionato y butirato (Beck et al., 2022; Kho & Lal, 2018). Estos compuestos desempeñan funciones fundamentales en la regulación energética y metabólica del huésped.

El butirato constituye la principal fuente energética de los colonocitos y contribuye al mantenimiento de la integridad epitelial intestinal. El propionato participa en procesos metabólicos hepáticos relacionados con la gluconeogénesis, mientras que el acetato puede ser utilizado por tejidos periféricos como sustrato energético (Beck et al., 2022). Además, los AGCC participan en mecanismos de señalización celular que regulan procesos inflamatorios, metabólicos e inmunológicos (Yao et al., 2021).

Asimismo, los microorganismos intestinales participan en el metabolismo de ácidos biliares, colesterol, aminoácidos y compuestos fenólicos provenientes de los alimentos. Estas transformaciones pueden modificar la biodisponibilidad y actividad biológica de múltiples moléculas con relevancia fisiológica (Gebrayel et al., 2022).

1.1.2 Funciones

La MI desempeña un papel fundamental en el mantenimiento de la barrera intestinal. La interacción constante entre microorganismos y células epiteliales favorece la expresión de proteínas asociadas a las uniones estrechas, contribuyendo a preservar la integridad física de la mucosa intestinal (Beck et al., 2022). Entre las proteínas involucradas destacan las claudinas, ocludinas y proteínas zonula occludens, responsables de regular la permeabilidad paracelular. Una MI equilibrada favorece la adecuada expresión de estas estructuras, limitando el paso de microorganismos, toxinas y moléculas potencialmente inflamatorias hacia la circulación sistémica (Gebrayel et al., 2022).

Adicionalmente, diversos microorganismos estimulan la producción de mucina por parte de las células caliciformes. La capa mucosa constituye una barrera física que protege al epitelio intestinal frente a microorganismos patógenos y sustancias nocivas presentes en la luz intestinal (Kho & Lal, 2018).

El intestino contiene aproximadamente el 70 % de las células inmunológicas del organismo. En este contexto, la MI participa activamente en el desarrollo y regulación del sistema inmunitario tanto innato como adaptativo (Beck et al., 2022). Los microorganismos comensales estimulan la maduración de células dendríticas,

macrófagos y linfocitos, favoreciendo una adecuada tolerancia inmunológica hacia antígenos dietéticos y microorganismos benéficos. Paralelamente, contribuyen al reconocimiento y eliminación de agentes potencialmente patógenos (Gebrayel et al., 2022).

Los AGCC producidos durante la fermentación microbiana participan en la diferenciación de linfocitos T reguladores, células fundamentales para el control de respuestas inflamatorias excesivas. Este mecanismo contribuye a mantener un equilibrio entre inmunidad y tolerancia, indispensable para la homeostasis intestinal (Yao et al., 2021).

1.2 Disbiosis intestinal

La disbiosis se define como una alteración en la composición, diversidad o actividad funcional de la MI que conduce a la pérdida de la homeostasis microbiana y favorece el desarrollo de procesos patológicos (Gao et al., 2022; Gebrayel et al., 2022). Esta condición puede manifestarse mediante disminución de microorganismos benéficos, proliferación excesiva de microorganismos oportunistas o reducción de la diversidad microbiana.

Diversos factores pueden inducir disbiosis, incluyendo dietas ricas en grasas saturadas y azúcares refinados, consumo excesivo de antibióticos, estrés crónico, envejecimiento, enfermedades metabólicas y procesos inflamatorios persistentes (Gao et al., 2022; Humphreys, 2020). La alteración de la MI favorece la producción de lipopolisacáridos, peptidoglucanos y otras moléculas proinflamatorias capaces de activar receptores del sistema inmunitario. Como consecuencia, se incrementa la producción de citocinas inflamatorias tales como el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), interleucina 1 beta (IL-1 β) e interleucina 6 (IL-6) (Yao et al., 2021).

Simultáneamente, la pérdida de integridad de la barrera intestinal incrementa la permeabilidad epitelial, lo que se conoce como intestino permeable. Esta condición

facilita la translocación de componentes bacterianos hacia la circulación sistémica, promoviendo inflamación crónica de bajo grado (Beck et al., 2022; Gao et al., 2022). Actualmente se reconoce que la disbiosis participa en la fisiopatología de numerosas enfermedades, incluyendo obesidad, diabetes mellitus tipo 2, síndrome metabólico, enfermedad inflamatoria intestinal, enfermedades cardiovasculares, trastornos neurológicos y enfermedad renal crónica (ERC) (Gebrayel et al., 2022; Yao et al., 2021).

1.3 Alimentos funcionales

El concepto de alimento funcional surgió en Japón durante la década de 1980 como respuesta al interés creciente por desarrollar alimentos capaces de proporcionar beneficios adicionales a la nutrición básica. Actualmente se consideran alimentos funcionales aquellos que, además de aportar nutrientes esenciales, contienen componentes biológicamente activos capaces de ejercer efectos fisiológicos benéficos sobre una o más funciones del organismo. Los alimentos funcionales pueden contribuir a la reducción del riesgo de enfermedades crónicas, mejorar parámetros metabólicos específicos o favorecer el mantenimiento de la salud. Entre los ingredientes funcionales más utilizados se encuentran los probióticos, prebióticos, *sinbióticos*, compuestos fenólicos, fibra dietética, péptidos bioactivos y ácidos grasos poliinsaturados (Granato et al., 2020).

El mercado mundial de alimentos funcionales ha experimentado un crecimiento sostenido durante las últimas décadas debido al envejecimiento poblacional, el aumento de enfermedades crónicas no transmisibles y la creciente demanda de productos asociados con estilos de vida saludables (Catanzaro et al., 2021).

Tradicionalmente, los productos lácteos fermentados han constituido los principales vehículos para ingredientes funcionales. Sin embargo, las tendencias actuales favorecen el desarrollo de alternativas no lácteas debido al incremento en la prevalencia de intolerancia a la lactosa, alergia a proteínas lácteas y preferencias dietéticas basadas en productos de origen vegetal (Catanzaro et al., 2021; Kumar et al., 2022).

La incorporación de ingredientes funcionales en productos de confitería representa una estrategia innovadora para ampliar las opciones disponibles para los consumidores. Las características fisicoquímicas de ciertos confites, incluyendo baja actividad de agua y elevada estabilidad durante almacenamiento, pueden favorecer la conservación de microorganismos probióticos cuando se emplean tecnologías adecuadas de protección como la microencapsulación (Kumar et al., 2022).

1.4 Probióticos

Los probióticos constituyen uno de los grupos de ingredientes funcionales más estudiados y utilizados en la industria alimentaria y farmacéutica debido a su capacidad para modular la MI y ejercer efectos benéficos sobre la salud humana. De acuerdo con el consenso de la Asociación Científica Internacional para Probióticos y Prebióticos (ISAPP, por sus siglas en inglés), los probióticos se definen como microorganismos vivos que, cuando son administrados en cantidades adecuadas, confieren un beneficio para la salud del huésped (Hill et al., 2014).

Actualmente, los microorganismos más empleados como probióticos pertenecen a los géneros *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Lactocaseibacillus*, *Lactiplantibacillus*, *Saccharomyces*, *Streptococcus* y *Enterococcus*, aunque no todas las especies o cepas dentro de estos grupos pueden considerarse probióticas. La capacidad probiótica es una característica específica de cada cepa y debe ser demostrada mediante estudios experimentales y clínicos que evidencien beneficios concretos para la salud (Binda et al., 2020; Hill et al., 2014).

Para que un microorganismo sea considerado probiótico debe cumplir diversos criterios biológicos, tecnológicos y de seguridad. Entre ellos destacan la resistencia a las condiciones gastrointestinales, la capacidad de sobrevivir al tránsito por el tracto digestivo, la ausencia de patogenicidad, la estabilidad durante el procesamiento y almacenamiento del producto, así como la demostración científica de efectos benéficos en el huésped (Binda et al., 2020; Salminen et al., 2022).

Uno de los principales desafíos en el desarrollo de alimentos probióticos consiste en garantizar la supervivencia de los microorganismos durante el procesamiento industrial, el almacenamiento y su posterior paso por el sistema gastrointestinal. Factores como el pH ácido, la presencia de oxígeno, la actividad de agua, la temperatura y las sales biliares pueden reducir significativamente la viabilidad celular. Por esta razón, se han desarrollado estrategias tecnológicas como la microencapsulación, que permite proteger a los microorganismos frente a condiciones adversas y mejorar su estabilidad funcional (Pinto et al., 2015; Rajam & Anandharamakrishnan, 2015).

La eficacia de un probiótico depende en gran medida de la dosis administrada. Aunque no existe una concentración universal aplicable a todas las cepas, diversos organismos internacionales sugieren que los productos probióticos deben contener entre 10^6 y 10^9 unidades formadoras de colonias (UFC) por porción al final de su vida útil para garantizar una adecuada cantidad de microorganismos viables que lleguen al intestino (Food and Agriculture Organization, 2006; Hill et al., 2014). Sin embargo, la dosis óptima puede variar dependiendo de la cepa utilizada y del efecto fisiológico que se pretenda obtener.

Los mecanismos mediante los cuales los probióticos ejercen sus efectos benéficos son diversos y frecuentemente actúan de manera simultánea. Uno de los principales mecanismos consiste en la exclusión competitiva de microorganismos potencialmente patógenos mediante la competencia por nutrientes y sitios de adhesión en la mucosa intestinal. Esta interacción limita la colonización de microorganismos indeseables y favorece el mantenimiento de una MI equilibrada (Ouwehand et al., 2002; Plaza-Díaz et al., 2019).

Asimismo, muchas cepas probióticas producen compuestos antimicrobianos como ácido láctico, ácido acético, peróxido de hidrógeno y bacteriocinas. Estos metabolitos contribuyen a disminuir el pH intestinal y generan condiciones desfavorables para el crecimiento de microorganismos patógenos, fortaleciendo así la resistencia a la colonización (Tukaram et al., 2025).

Otro mecanismo relevante es la modulación de la respuesta inmunológica. Diversos estudios han demostrado que los probióticos pueden estimular la producción de inmunoglobulina A secretora (IgA), regular la actividad de macrófagos y células dendríticas, así como promover la diferenciación de linfocitos T reguladores. Estas acciones contribuyen a mantener la tolerancia inmunológica y reducir respuestas inflamatorias excesivas (Plaza-Díaz et al., 2019; Tukaram et al., 2025).

Los probióticos también participan en el fortalecimiento de la barrera intestinal. La interacción entre determinados microorganismos y las células epiteliales favorece la expresión de proteínas asociadas a las uniones estrechas, incrementando la integridad de la mucosa y reduciendo la permeabilidad intestinal. Como consecuencia, disminuye la translocación de endotoxinas bacterianas y mediadores inflamatorios hacia la circulación sistémica (Plaza-Díaz et al., 2019; Salminen et al., 2022; Tukaram et al., 2025).

Adicionalmente, los probióticos intervienen en la producción de metabolitos bioactivos, principalmente AGCC, los cuales desempeñan funciones relevantes en el metabolismo energético, la regulación inmunológica y el mantenimiento de la salud intestinal. Estos metabolitos han sido asociados con efectos antiinflamatorios, mejoras en la función de barrera intestinal y regulación de procesos metabólicos sistémicos (Rodríguez-Pastén et al., 2022; Tukaram et al., 2025).

Durante las últimas décadas se ha acumulado evidencia científica que respalda la utilización de probióticos en diversas condiciones clínicas. Entre las aplicaciones más estudiadas se encuentran la prevención y tratamiento de diarreas asociadas al uso de antibióticos, enfermedades gastrointestinales funcionales, síndrome de intestino irritable, enfermedad inflamatoria intestinal, infecciones gastrointestinales, alergias y trastornos metabólicos (Rodríguez-Pastén et al., 2022; Tukaram et al., 2025). Más recientemente, el interés se ha extendido hacia enfermedades sistémicas asociadas con procesos inflamatorios crónicos y alteraciones de la MI, incluyendo obesidad, diabetes

mellitus tipo 2, enfermedades cardiovasculares y ERC (Obrero et al., 2025).

En el contexto de la ERC, la suplementación con probióticos ha mostrado potencial para reducir la producción de toxinas urémicas derivadas del metabolismo microbiano, disminuir marcadores inflamatorios y mejorar algunos parámetros relacionados con la función intestinal. Aunque los resultados clínicos aún son heterogéneos, diversos estudios sugieren que la modulación de la MI mediante probióticos podría constituir una estrategia complementaria para disminuir las complicaciones asociadas a esta enfermedad (McFarlane et al., 2021; Obrero et al., 2025).

A pesar de los avances alcanzados, la eficacia de los probióticos depende de múltiples factores, incluyendo la cepa utilizada, la dosis administrada, la matriz alimentaria empleada como vehículo, la estabilidad durante el almacenamiento y las características individuales del huésped. Por ello, la selección adecuada de microorganismos y el diseño de sistemas que favorezcan su supervivencia continúan siendo aspectos prioritarios en el desarrollo de alimentos funcionales y formulaciones *sinbióticas* (Binda et al., 2020; Salminen et al., 2022).

1.5 *Lactobacillus acidophilus*

1.5.1 Características biológicas y fisiológicas

Lactobacillus acidophilus es una bacteria Gram positiva, no esporulada, catalasa negativa y perteneciente al grupo de las bacterias ácido-lácticas. Forma parte de la MI humana y se encuentra también en la cavidad oral y el tracto urogenital. Su capacidad para tolerar ambientes ácidos y concentraciones moderadas de sales biliares favorece su supervivencia durante el tránsito gastrointestinal y su utilización como microorganismo probiótico (Gao et al., 2022).

Esta especie presenta un metabolismo fermentativo caracterizado por la producción de ácido láctico a partir de diversos hidratos de carbonos consumidos en la dieta. Además, posee sistemas enzimáticos especializados que le permiten utilizar oligosacáridos y

fructanos como fuentes de carbono y energía, característica particularmente relevante para el desarrollo de formulaciones *sinbióticas* (Martínez-Gutiérrez et al., 2017).

1.5.2 Mecanismos probióticos de acción

Los efectos benéficos de *L. acidophilus* se atribuyen a diversos mecanismos complementarios. Entre ellos destaca su capacidad de adherirse al epitelio intestinal mediante proteínas superficiales específicas, favoreciendo la exclusión competitiva de microorganismos potencialmente patógenos y limitando su colonización (Gao et al., 2022). La producción de ácido láctico y bacteriocinas contribuye a disminuir el pH intestinal e inhibir el crecimiento de bacterias indeseables. Asimismo, diversas cepas han demostrado capacidad para fortalecer la barrera intestinal mediante la estimulación de proteínas asociadas a las uniones estrechas, reduciendo la permeabilidad epitelial (Plaza-Díaz et al., 2019).

Desde el punto de vista inmunológico, *L. acidophilus* puede estimular la producción de IgA secretora, favorecer la diferenciación de células T reguladoras y modular la producción de citocinas inflamatorias, promoviendo un equilibrio entre mecanismos proinflamatorios y antiinflamatorios, contribuyendo a mantener la homeostasis intestinal y sistémica (Salminen et al., 2022). Además, la suplementación con *L. acidophilus* puede modificar favorablemente la composición de la MI, incrementando la abundancia de microorganismos benéficos y favoreciendo la producción de metabolitos asociados con beneficios metabólicos e inmunológicos (Gao et al., 2022).

1.6 *Bifidobacterium longum subsp. infantis*

1.6.1 Características biológicas y fisiológicas

Bifidobacterium longum subsp. infantis es una bacteria Gram positiva, anaerobia estricta, no esporulada y perteneciente al filo *Actinobacteria*. Forma parte de la MI humana y constituye una de las especies predominantes durante los primeros años de vida, donde desempeña un papel importante en el establecimiento del ecosistema intestinal saludable (Chichlowski et al., 2020; Underwood et al., 2015).

Esta subespecie se caracteriza por poseer una elevada capacidad para metabolizar carbohidratos complejos mediante sistemas enzimáticos especializados. Su metabolismo ocurre principalmente a través de la vía bifídica o fructosa-6-fosfato fosfoetolasa, generando ácido acético y ácido láctico como principales productos de fermentación. Estos metabolitos contribuyen al mantenimiento de un ambiente intestinal favorable para microorganismos benéficos y desfavorable para microorganismos potencialmente patógenos. La capacidad de utilizar oligosacáridos y otros carbohidratos no digeribles representa una de las principales ventajas del *B. longum subsp. infantis*, permitiéndole competir eficazmente dentro del ecosistema intestinal y participar activamente en la modulación de la MI. (Arbolea et al., 2016; Chichlowski et al., 2020).

1.6.2 Bases fisiológicas y mecanismos de acción de los probióticos

Los efectos probióticos de *B. longum subsp. infantis* son consecuencia de múltiples mecanismos biológicos que involucran a la MI, la barrera epitelial y el sistema inmunitario. Esta bacteria posee proteínas superficiales y estructuras de adhesión que favorecen su interacción con la mucosa intestinal, incrementando su permanencia en el tracto gastrointestinal y contribuyendo a la exclusión competitiva de microorganismos potencialmente patógenos (Chichlowski et al., 2020; Underwood et al., 2015).

La fermentación de carbohidratos complejos produce principalmente ácido láctico y ácido acético, compuestos que disminuyen el pH intestinal y favorecen el crecimiento de microorganismos benéficos. Asimismo, estos metabolitos participan en mecanismos de alimentación cruzada que estimulan indirectamente la producción de ácidos grasos de cadena corta por otros miembros de la MI. Desde el punto de vista inmunológico, diversas investigaciones han demostrado que *B. longum subsp. infantis* favorece la producción de citocinas antiinflamatorias como IL-10 y reduce la expresión de mediadores proinflamatorios como TNF- α , IL-1 β e IL-6. Además, puede promover la expansión de células T reguladoras, contribuyendo al mantenimiento de la tolerancia inmunológica y al control de procesos inflamatorios crónicos (Arbolea et al., 2016; Chichlowski et al., 2020; Plaza-Díaz et al., 2019) Además, esta bacteria contribuye al

fortalecimiento de la barrera intestinal mediante la estimulación de proteínas asociadas a las uniones estrechas y la producción de mucina, reduciendo la permeabilidad intestinal y limitando la translocación de endotoxinas hacia la circulación sistémica (Underwood et al., 2015).

1.7 Prebióticos

Los prebióticos constituyen uno de los componentes funcionales más ampliamente estudiados en el campo de la nutrición y la salud intestinal debido a su capacidad para modular selectivamente la composición y actividad metabólica de la MI. Desde su introducción conceptual en la década de 1990, la definición de prebiótico ha evolucionado significativamente conforme ha aumentado el conocimiento sobre las interacciones entre la dieta, la MI y el huésped. La ISAPP, define a los prebióticos como “un sustrato que es utilizado selectivamente por microorganismos del huésped y que confiere un beneficio para la salud” (Gibson et al., 2017; Hill et al., 2014; Salminen et al., 2021).

Para que una sustancia sea considerada prebiótica debe resistir la digestión y absorción en el tracto gastrointestinal superior, permitiendo llegar al colon en cantidades suficientes. Además, debe ser fermentada selectivamente por microorganismos específicos de la MI. Finalmente, la fermentación resultante debe generar efectos fisiológicos benéficos demostrables para el huésped (Gibson et al., 2017; Hill et al., 2014; Salminen et al., 2021).

1.7.1 Clasificación de los prebióticos

La mayoría de los prebióticos descritos hasta la fecha corresponden a carbohidratos no digeribles, particularmente oligosacáridos y polisacáridos complejos. Entre los compuestos más estudiados destacan la inulina, los fructooligosacáridos (FOS), galactooligosacáridos, xilooligosacáridos, isomaltooligosacáridos, lactulosa y diversos tipos de fructanos presentes en plantas de importancia alimentaria (Gibson et al., 2017; Hill et al., 2014; Salminen et al., 2021).

Los fructanos son considerados uno de los grupos de prebióticos más importantes debido a la abundancia de fuentes vegetales que los contienen y a la amplia evidencia científica que respalda sus efectos fisiológicos. Estos compuestos están formados principalmente por unidades de fructosa unidas mediante enlaces β -glucosídicos resistentes a la hidrólisis por enzimas digestivas humanas, permitiendo que lleguen prácticamente intactos al intestino grueso (Franco-Robles & López, 2015).

Además de los carbohidratos, investigaciones recientes han demostrado que algunos compuestos fenólicos, péptidos, ácidos grasos poliinsaturados y determinados metabolitos vegetales podrían ejercer efectos prebióticos mediante la modulación selectiva de microorganismos intestinales específicos. Sin embargo, la mayor parte de la evidencia clínica continúa concentrándose en oligosacáridos y fructanos (Gibson et al., 2017; Hill et al., 2014; Salminen et al., 2021).

1.7.2 Bases fisiológicas y mecanismos de acción de los prebióticos

Los efectos fisiológicos de los prebióticos están estrechamente relacionados con su fermentación por parte de microorganismos intestinales específicos. Una vez que estos compuestos alcanzan el colon, son utilizados como fuente de carbono y energía por bacterias capaces de producir enzimas especializadas para su degradación (Davani-Davari et al., 2019). Entre los microorganismos que responden favorablemente a la presencia de prebióticos destacan especies pertenecientes a los géneros *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*, las cuales poseen sistemas enzimáticos que les permiten metabolizar diversos oligosacáridos y fructanos complejos (Gibson et al., 2017).

La fermentación microbiana de estos compuestos genera diversos metabolitos, especialmente AGCC como acetato, propionato y butirato. Estos metabolitos ejercen múltiples efectos sobre el huésped, incluyendo regulación energética, mantenimiento de la integridad epitelial, modulación inmunológica y control de procesos inflamatorios (Davani-Davari et al., 2019; Rodríguez-Pastén et al., 2022). El acetato representa el

AGCC más abundante y puede ser utilizado como fuente energética por diferentes tejidos periféricos. El propionato participa en la regulación del metabolismo hepático y la gluconeogénesis, mientras que el butirato constituye la principal fuente de energía para los colonocitos y desempeña un papel fundamental en el mantenimiento de la integridad de la barrera intestinal (Gebrayel et al., 2022; Kho & Lal, 2018).

Además de la producción de AGCC, los prebióticos favorecen mecanismos de exclusión competitiva frente a microorganismos potencialmente patógenos. El incremento en la abundancia de bacterias benéficas modifica el ambiente intestinal mediante la producción de ácidos orgánicos y otros metabolitos que limitan el crecimiento de especies indeseables (Davani-Davari et al., 2019).

1.7.3 Efectos sobre la microbiota intestinal

Uno de los principales efectos de los prebióticos consiste en la modulación selectiva de la MI. Numerosos estudios han demostrado que el consumo regular de prebióticos incrementa la abundancia relativa de bifidobacterias y lactobacilos, fenómeno conocido como efecto bifidogénico (Davani-Davari et al., 2019; Rodríguez-Pastén et al., 2022).

El aumento de estas poblaciones microbianas suele acompañarse de modificaciones favorables en la diversidad y funcionalidad del ecosistema intestinal. Como consecuencia, se incrementa la producción de metabolitos asociados con beneficios para la salud y se reduce la proliferación de microorganismos potencialmente patógenos (Gibson et al., 2017; Hill et al., 2014). Asimismo, la fermentación de prebióticos promueve fenómenos de alimentación cruzada, mediante los cuales los metabolitos generados por determinadas bacterias son utilizados por otros microorganismos intestinales. Estas interacciones favorecen la estabilidad ecológica y la adaptación de la MI frente a los cambios o agresiones del entorno (Kho & Lal, 2018).

1.7.4 Efectos sobre la respuesta inmunológica

La MI y sus metabolitos ejercen una influencia significativa sobre el sistema inmunitario.

Debido a su capacidad para modificar la composición microbiana y aumentar la producción de AGCC, los prebióticos contribuyen indirectamente a la regulación de múltiples procesos inmunológicos (Gibson et al., 2017; Hill et al., 2014). Al respecto, se ha demostrado que su suplementación incrementa la síntesis de citocinas antiinflamatorias y favorece la expansión de linfocitos T reguladores, efectos que resultan cruciales para el mantenimiento de la tolerancia inmunológica y la mitigación de procesos inflamatorios crónicos (Davani-Davari et al., 2019).

Por otra parte, los AGCC generados durante la fermentación de estos sustratos participan en la regulación epigenética de células inmunitarias mediante la inhibición de histona desacetilasas y la activación de receptores específicos acoplados a proteínas G; mecanismos estrechamente asociados con efectos antiinflamatorios sistémicos (Kho & Lal, 2018; Rodríguez-Pastén et al., 2022). En consonancia, la evidencia científica sugiere que el consumo regular de prebióticos promueve la salud gastrointestinal y sistémica, destacando entre sus beneficios la optimización de la función intestinal, el fortalecimiento de la barrera epitelial, la modulación inmunitaria y la reducción de la inflamación (Gebrayel et al., 2022).

Asimismo, se ha evaluado el potencial terapéutico de los prebióticos en el manejo de obesidad, diabetes mellitus tipo 2, enfermedades inflamatorias intestinales y patologías cardiovasculares. Aunque los resultados varían según el compuesto utilizado y las características de la población, existe consenso en que la modulación de la MI representa el eje conductor de los beneficios observados (Gibson et al., 2017). Recientemente, este interés se ha extendido hacia afecciones vinculadas con disbiosis e inflamación sistémica, como la ERC. En ese escenario, se postula que la estimulación selectiva de microorganismos benéficos podría disminuir la producción de toxinas urémicas derivadas del catabolismo microbiano, ralentizando la progresión de dicha patología (McFarlane et al., 2021; Obrero et al., 2025).

Entre las diversas fuentes de prebióticos, los fructanos destacan por su capacidad para

modular selectivamente la MI y promover el crecimiento de bacterias ácido-lácticas y bifidobacterias, consolidando un ecosistema intestinal más estable y funcional (Gibson et al., 2017). No obstante, al ser una familia de carbohidratos estructuralmente heterogénea, sus propiedades dependen críticamente del origen botánico, el grado de polimerización y la distribución de sus enlaces glucosídicos. Bajo esta premisa, los fructanos obtenidos de *Agave salmiana* presentan atributos particulares debido a su elevada ramificación y diversidad molecular, variables que podrían influir de manera determinante en su perfil de fermentación y en la consecuente respuesta microbiana.

1.7.5 Fructanos de *Agave salmiana*

Los fructanos son carbohidratos de reserva presentes en numerosas especies vegetales y constituyen una de las principales fuentes de prebióticos utilizadas en las industrias alimentaria y nutracéutica. Estos compuestos están formados predominantemente por unidades de fructosa unidas mediante enlaces β - glucosídicos que resisten la hidrólisis de las enzimas digestivas humanas. Esta propiedad les permite llegar al intestino grueso prácticamente intactos y ejercer efectos fisiológicos clave en la modulación MI (Franco-Robles & López, 2015; Hughes et al., 2022; Roberfroid, 2005).

Dentro de las fuentes vegetales de estos polímeros, las especies del género *Agave* han despertado un interés creciente debido a la singularidad de su estructura química y a su abundancia en regiones áridas y semiáridas de México. Entre ellas, *Agave salmiana* destaca por su elevada capacidad de acumulación de fructanos, posicionándose como una fuente potencial para el desarrollo de ingredientes funcionales y sistemas *sinbióticos* innovadores (Godínez-Hernández et al., 2016).

Esta especie es endémica de México y se distribuye ampliamente en el altiplano central, abarcando estados como San Luis Potosí, Hidalgo, Zacatecas y Guanajuato. Aunque tradicionalmente se ha aprovechado para la obtención de aguamiel, pulque y otros productos derivados, durante las últimas décadas ha aumentado el interés científico por sus compuestos bioactivos; particularmente por sus fructanos, dadas sus prometedoras

aplicaciones en nutrición, salud y tecnología alimentaria (Godínez-Hernández et al., 2016; Ortiz-Basurto et al., 2008).

1.7.6 Estructura química de los fructanos de *Agave salmiana*

Los fructanos de *Agave salmiana* (fAs) pertenecen a un grupo de polisacáridos y oligosacáridos de alta complejidad estructural, constituidos por unidades de fructosa unidas mediante enlaces $\beta(2\rightarrow1)$ y $\beta(2\rightarrow6)$, con una molécula terminal de glucosa derivada de la sacarosa (Hughes et al., 2022; Roberfroid, 2005).

A diferencia de la inulina tradicional de la achicoria (*Cichorium intybus*), cuyos enlaces son predominantemente lineales enlaces $\beta(2\rightarrow1)$, los fructanos de agave presentan una arquitectura altamente ramificada que incorpora de manera simultánea enlaces $\beta(2\rightarrow1)$ y $\beta(2\rightarrow6)$. Esta característica genera una gran diversidad molecular y una amplia distribución en los grados de polimerización (DP), que abarcan desde oligómeros de bajo peso molecular hasta polímeros complejos de cadenas extensas (Hughes et al., 2022; Mellado-Mojica et al., 2017).

La presencia de diferentes grados de ramificación modifica variables como la solubilidad, la viscosidad, el comportamiento durante el procesamiento tecnológico y la susceptibilidad a la fermentación microbiana, aspectos críticos para su aplicación como ingrediente funcional (Aldrete et al., 2019; García Gamboa et al., 2018). Asimismo, se ha demostrado que la composición de estos hidratos de carbono fluctúa según la edad de la planta, las condiciones ambientales y el estado fisiológico del espécimen, factores que modifican el perfil prebiótico final y la consecuente respuesta metabólica de los microorganismos intestinales (Hughes et al., 2022; Mellado-Mojica et al., 2017).

1.7.7 Digestión y fermentación de los fructanos de *Agave salmiana*

Debido a que los enlaces $\beta(2\rightarrow1)$ y $\beta(2\rightarrow6)$ no pueden ser hidrolizados por las enzimas del tracto gastrointestinal superior, los fAs resisten la digestión estomacal y duodenal, llegando al colon prácticamente intactos. Una vez en el intestino grueso, son

fermentados por taxones específicos que poseen el repertorio enzimático necesario para romper dichos enlaces. Entre los principales colonizadores involucrados destacan los géneros *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, los cuales utilizan estos compuestos como fuente primaria de carbono y energía (Davani-Davari et al., 2019; Mellado-Mojica et al., 2017; Plascencia et al., 2022).

La fermentación de los fAs genera metabolitos como lactato y ácidos grasos de cadena corta, principalmente acetato, propionato y butirato. El acetato y el lactato pueden producirse directamente por determinadas bacterias fermentadoras y, posteriormente, ser utilizados por otros miembros de la MI mediante mecanismos de alimentación cruzada para la síntesis de propionato y butirato. Estos metabolitos participan en diversas funciones homeostáticas relacionadas con el mantenimiento de la integridad epitelial, la regulación de la respuesta inmunitaria y el metabolismo energético local y sistémico (Koh et al., 2016). Asimismo, la acumulación de ácidos orgánicos disminuye el pH del lumen intestinal, lo que limita la proliferación de determinados microorganismos potencialmente patógenos y favorece selectivamente el crecimiento y la actividad de poblaciones microbianas benéficas, constituyendo uno de los principales mecanismos asociados con la actividad prebiótica (Gibson et al., 2017).

La estimulación selectiva de microorganismos benéficos representa el atributo esencial de cualquier sustrato prebiótico. En el caso de los fAs, la evidencia científica demuestra que promueven específicamente la proliferación de bacterias de los géneros *Bifidobacterium* y *Lactobacillus* (Martinez-Gutierrez et al., 2017). Esta selectividad metabólica se fundamenta en la expresión de enzimas especializadas por parte de dichos taxones, tales como fructanasas y β -fructofuranosidasas, capaces de degradar la compleja arquitectura de estos carbohidratos. La capacidad de determinadas cepas de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* para hidrolizar y utilizar los fructanos de *Agave salmiana* como fuente de carbono puede conferirles una ventaja competitiva frente a otros integrantes de la MI con menor capacidad fructanolítica. Sin embargo, este efecto es dependiente de la cepa y de las características estructurales de los fructanos,

particularmente de su grado de polimerización y ramificación (Castro-Zavala et al., 2015;

La fermentación de los fAs favorece la formación de lactato, acetato y otros ácidos grasos de cadena corta, ya sea de manera directa o mediante mecanismos de alimentación cruzada entre diferentes poblaciones microbianas. Estos metabolitos contribuyen a la acidificación del lumen intestinal, al mantenimiento de la barrera epitelial y a la modulación de las respuestas inmunitaria y metabólica del hospedero (Koh et al., 2016).

1.7.8 Efecto prebiótico de los fructanos de *Agave salmiana*

El potencial prebiótico de los fAs ha sido respaldado mediante estudios in vitro, modelos animales e investigaciones clínicas exploratorias (Martínez-Gamiño et al., 2022; Martínez-Gutiérrez et al., 2017). En el estudio in vitro realizado por Martínez-Gutiérrez et al. (2017), se evaluó la capacidad de seis cepas bacterianas asociadas con el tracto gastrointestinal para utilizar los fAs como fuente de carbono. Los resultados mostraron una respuesta dependiente de la cepa; particularmente, *Lactobacillus acidophilus* presentó el mayor crecimiento, la disminución más pronunciada del pH y la producción más elevada de lactato. Asimismo, las cepas de *Bifidobacterium longum* fueron capaces de proliferar y producir principalmente acetato. Estos hallazgos evidencian que los fAs pueden ser utilizados selectivamente por determinadas bacterias intestinales y favorecer la producción de metabolitos orgánicos asociados con su actividad prebiótica.

Martínez-Martínez et al. (2022) analizaron el efecto de la suplementación con fructanos de agave incorporados en un yogur probiótico administrado a niños con sobrepeso u obesidad; los resultados revelaron modificaciones favorables en la MI, reflejadas en el incremento de poblaciones bacterianas benéficas y la reducción de marcadores asociados con disbiosis. Al igual, Martínez-Gamiño et al. (2022) reportaron que la suplementación con fAs estimuló el crecimiento de bacterias ácido-lácticas tanto en niños sanos como en pacientes con desnutrición, sugiriendo un impacto positivo generalizado sobre la homeostasis intestinal. Dicha selectividad en la estimulación de

microorganismos de interés probiótico convierte a los fAs en un sustrato idóneo para el desarrollo de formulaciones *sinbióticas*.

Los ensayos realizados con *Lactobacillus acidophilus* y diferentes cepas de *Bifidobacterium longum* muestran que estas bacterias pueden utilizar los fAs como fuente de carbono, aunque su crecimiento y perfil metabólico dependen de la cepa evaluada. Su fermentación favorece la producción de ácidos orgánicos, principalmente lactato y acetato, lo que sustenta el diseño racional de combinaciones *sinbióticas* en las que exista compatibilidad metabólica entre el componente probiótico y el sustrato prebiótico (Martínez-Gutiérrez et al., 2017). Además de su actividad prebiótica, los fructanos de agave presentan propiedades que permiten utilizarlos como agentes texturizantes, modificadores de las propiedades reológicas y materiales de pared para la encapsulación de compuestos bioactivos o microorganismos, ampliando sus posibilidades de incorporación en distintas matrices alimentarias (García-Villalba et al., 2023; Ramos-Hernández et al., 2021).

1.8 Sinbióticos

El avance en el conocimiento de los ejes de interacción entre la MI, la dieta y la salud humana ha impulsado el desarrollo de estrategias nutricionales dirigidas a modular favorablemente el ecosistema intestinal. Entre estas aproximaciones destacan los *sinbióticos*, formulaciones que combinan probióticos y sustratos prebióticos con el objetivo de potenciar sus efectos benéficos en el hospedero. Actualmente, representan una de las áreas de mayor interés en el campo de los alimentos funcionales debido a su capacidad para optimizar la viabilidad probiótica, favorecer la modulación de la MI y generar efectos fisiológicos superiores a los obtenidos mediante la administración individual de sus componentes (Swanson et al., 2020).

La ISAPP define a los *sinbióticos* como "una mezcla de microorganismos vivos y sustratos utilizados selectivamente por dichos microorganismos que confiere un beneficio para la salud del huésped" (Swanson et al., 2020). Esta definición enfatiza la

interacción funcional entre el probiótico y el prebiótico como el elemento central para la obtención de beneficios fisiológicos.

1.8.1 Clasificación de los *sinbióticos*

El consenso de la ISAPP reconoce dos categorías principales de *sinbióticos*:

- ***Sinbióticos complementarios***: Están constituidos por un probiótico y un prebiótico que aportan efectos benéficos individuales de manera independiente. En este tipo de formulaciones no es indispensable demostrar que el prebiótico sea utilizado específicamente por el microorganismo incorporado; por lo tanto, el efecto funcional resulta de la suma de los beneficios proporcionados por cada componente de forma separada. Un ejemplo de ello es la combinación de una cepa probiótica con evidencia clínica demostrada y un prebiótico capaz de modular favorablemente la MI, aun cuando ambos actúen mediante mecanismos independientes (Swanson et al., 2020).
- ***Sinbióticos sinérgicos***: Representan una categoría más específica y compleja. En estos sistemas, el prebiótico es seleccionado deliberadamente para favorecer el crecimiento, supervivencia o actividad metabólica de la cepa probiótica coadministrada. Como consecuencia, se establece una interacción funcional directa entre ambos componentes que potencia las respuestas fisiológicas de la formulación. La validación de un *sinbiótico* sinérgico requiere evidencia experimental que confirme que la cepa probiótica utiliza efectivamente el sustrato prebiótico y que dicha interacción genera respuestas biológicas medibles (Swanson et al., 2020).

1.8.2 Bases fisiológicas y mecanismos de acción de los *sinbióticos*

El principio rector de los *sinbióticos* radica en la interacción metabólica entre las cepas probióticas y los sustratos prebióticos. La incorporación simultánea de ambos componentes incrementa la probabilidad de supervivencia de los microorganismos durante el tránsito gastrointestinal y favorece su establecimiento funcional dentro del ecosistema digestivo, optimizando la eficiencia de la colonización transitoria (Markowiak

& Śliżewska, 2017).

Una vez en el colon, el prebiótico es utilizado por taxones específicos capaces de metabolizarlo mediante la expresión de sistemas enzimáticos especializados (Gibson et al., 2017). Los efectos fisiológicos derivados de esta sinergia involucran interacciones recíprocas entre los microorganismos, sus metabolitos y las células del hospedero, desplegándose a través de los siguientes mecanismos clave:

- **Modulación de la microbiota intestinal:** Consiste en la modificación selectiva de la composición y actividad metabólica de la comunidad microbiana. La combinación de probióticos y prebióticos favorece el crecimiento de taxones benéficos y limita la proliferación de poblaciones potencialmente patógenas, promoviendo el restablecimiento de la homeostasis intestinal (Swanson et al., 2020).
- **Producción de metabolitos bioactivos:** La fermentación del prebiótico por la cepa probiótica incrementa la síntesis de AGCC, como acetato, propionato y butirato y otros mediadores funcionales. Estos compuestos están implicados en la regulación del metabolismo energético, la señalización celular y la homeostasis intestinal (Koh et al., 2016).
- **Fortalecimiento de la barrera intestinal:** Los *sinbióticos* favorecen la expresión de proteínas de unión estrecha y estimulan la producción de mucina. Estas acciones reducen la permeabilidad epitelial y limitan la translocación de endotoxinas bacterianas hacia la circulación sistémica, evitando respuestas inflamatorias (Plaza-Díaz et al., 2019).
- **Modulación inmunológica:** La interacción directa entre las cepas microbianas, sus metabolitos fermentativos y las células inmunitarias promueve una respuesta inmunológica equilibrada. Este fenómeno se caracteriza por un incremento en la síntesis de citocinas antiinflamatorias y una consecuente reducción de mediadores proinflamatorios sistémicos (Plaza-Díaz et al., 2019).
- **Acidificación del medio luminal:** La producción de lactato y AGCC disminuye el pH intestinal, lo que genera un ambiente adverso para el asentamiento de bacterias

potencialmente patógenas y estimula por retroalimentación el crecimiento de poblaciones benéficas (Davani-Davari et al., 2019).

1.8.3 Aplicaciones clínicas de los *sinbióticos* y su impacto en la enfermedad renal crónica

Los *sinbióticos* han sido ampliamente evaluados en diversas condiciones clínicas vinculadas con disbiosis intestinal y procesos inflamatorios crónicos, abarcando desde enfermedades gastrointestinales funcionales y diarrea asociada a antibióticos, hasta el síndrome de intestino irritable y la enfermedad inflamatoria intestinal (Markowiak & Śliżewska, 2017). En el ámbito de los trastornos metabólicos, como la obesidad y el síndrome metabólico, la suplementación con estos, contribuye a optimizar los parámetros bioquímicos y a disminuir los marcadores inflamatorios; efectos atribuidos principalmente a las modificaciones benéficas en la MI y al incremento en la producción de metabolitos bioactivos (Gibson et al., 2017). Asimismo, investigaciones recientes exploran su potencial terapéutico en enfermedades cardiovasculares, trastornos neurodegenerativos y patologías autoinmunes; escenarios donde, si bien los resultados son prometedores, aún se requieren ensayos clínicos de mayor escala para corroborar dichos hallazgos (Swanson et al., 2020).

En este contexto, la ERC constituye un modelo clínico de especial interés debido a su estrecha relación con alteraciones en la composición y la actividad metabólica de la MI, fenómeno denominado disbiosis urémica. Las modificaciones del ambiente intestinal asociadas con la uremia pueden favorecer el predominio de funciones microbianas proteolíticas y aumentar el catabolismo de aminoácidos aromáticos, como el triptófano y la tirosina. Como resultado, se generan precursores bacterianos como el indol y el p-cresol, que posteriormente son transformados en el hígado en toxinas urémicas unidas a proteínas, principalmente sulfato de indoxilo y sulfato de p-cresilo. La disminución de su eliminación renal favorece su acumulación sistémica, donde pueden promover estrés oxidativo, disfunción endotelial e inflamación crónica, contribuyendo a la progresión del daño renal y al incremento del riesgo cardiovascular asociado con la ERC (Ramezani &

Raj, 2014).

Al respecto, se ha postulado que la modulación de la MI mediante *sinbióticos* podría disminuir la síntesis de estas toxinas y mejorar algunos parámetros clínicos de la ERC. Entre los mecanismos propuestos destacan la exclusión competitiva de los microorganismos productores de compuestos urémicos, el fortalecimiento de la barrera epitelial y la consecuente atenuación de la respuesta inflamatoria sistémica (McFarlane et al., 2021; Obrero et al., 2025). Esta hipótesis fue evaluada en el estudio clínico SYNERGY II desarrollado por McFarlane et al. (2021), en el cual se analizó la viabilidad del uso de *sinbióticos* en pacientes con ERC; los autores observaron modificaciones favorables en el perfil de la microbiota y reducciones significativas en determinados metabolitos asociados con el avance de la patología. De este modo, aunque los resultados clínicos globales aún muestran cierta heterogeneidad, estos hallazgos respaldan sólidamente el potencial terapéutico de los *sinbióticos* en el manejo integral de la enfermedad renal.

1.8.4 Interacción entre fructanos de *Agave salmiana*, *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium longum subsp. infantis*

La combinación de los fAs con las cepas probióticas *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium longum subsp. infantis* constituye una estrategia con potencial *sinbiótico* sustentada en la compatibilidad metabólica entre el sustrato y los microorganismos seleccionados. Estudios in vitro han demostrado que determinadas cepas de los géneros *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* pueden utilizar los fAs como fuente de carbono, aunque la magnitud del crecimiento y el perfil de metabolitos producidos dependen de la cepa, la concentración y las características estructurales del sustrato. En particular, se ha observado que *L. acidophilus* y *B. longum subsp. infantis* pueden fermentar mezclas que contienen fAs y producir lactato, acetato y propionato, lo que respalda el diseño racional de una formulación *sinbiótica* potencialmente sinérgica (Alvarez García et al., 2023; Martinez-Gutierrez et al., 2017).

La utilización selectiva de estos carbohidratos por determinadas bacterias intestinales puede favorecer el crecimiento y la actividad metabólica de las cepas probióticas capaces de fermentarlos, así como potenciar los efectos funcionales asociados con su metabolismo. Adicionalmente, la degradación de los fructanos genera metabolitos intermediarios, principalmente acetato y lactato, que pueden ser utilizados por otros integrantes de la MI mediante mecanismos de alimentación cruzada. Estas interacciones favorecen la producción secundaria de metabolitos como el butirato y contribuyen al establecimiento de redes metabólicas que pueden apoyar la estabilidad funcional del ecosistema intestinal (Rivière et al., 2016).

El conocimiento de las interacciones metabólicas entre los microorganismos y los sustratos fermentables ha favorecido el desarrollo de formulaciones *sinbióticas* racionalmente diseñadas, en las que la selección del componente prebiótico considera las capacidades metabólicas de cepas específicas. Este enfoque corresponde particularmente al concepto de *sinbiótico* sinérgico, cuyo diseño busca que el sustrato sea utilizado selectivamente por el microorganismo coadministrado y que la interacción entre ambos componentes contribuya al beneficio para la salud del hospedero (Swanson et al., 2020).

Por otra parte, la incorporación conjunta de microorganismos probióticos y sustratos prebióticos plantea retos tecnológicos relacionados con el mantenimiento de la viabilidad celular durante el procesamiento, el almacenamiento y el tránsito gastrointestinal. En consecuencia, el desarrollo de estrategias de protección y estabilización, como la microencapsulación mediante secado por aspersión, ha adquirido especial relevancia. El empleo de fructooligosacáridos combinados con materiales proteicos como agentes de pared puede mejorar la eficiencia de encapsulación, la estabilidad durante el almacenamiento y la tolerancia de los microorganismos frente a condiciones gastrointestinales simuladas (Rajam & Anandharamakrishnan, 2015). Estas estrategias son especialmente importantes para la incorporación de probióticos en matrices alimentarias no lácteas, cuyas propiedades fisicoquímicas deben optimizarse de

acuerdo con la cepa, el procesamiento y las condiciones de conservación (Terpou et al., 2019).

2. MICROENCAPSULACIÓN Y DESARROLLO DE ALIMENTOS FUNCIONALES NO LÁCTEOS

2.1 Estabilidad de microorganismos probióticos mediante microencapsulación

El creciente interés de los consumidores por alimentos que, además de proporcionar nutrientes esenciales, aporten beneficios adicionales para la salud ha impulsado el desarrollo de productos funcionales en diversos sectores de la industria alimentaria. En este contexto, los alimentos que contienen microorganismos probióticos han adquirido especial relevancia, debido a que determinadas cepas, cuando se administran en cantidades adecuadas, pueden contribuir a la modulación de la MI, al mantenimiento de la integridad de la barrera epitelial y a la regulación de mecanismos inmunitarios y metabólicos asociados con la salud del hospedero (Hill et al., 2014; Terpou et al., 2019).

No obstante, la incorporación de microorganismos probióticos en los alimentos constituye un desafío tecnológico, debido a la sensibilidad de muchas cepas frente a factores ambientales y operativos como la presencia de oxígeno, la actividad de agua, la temperatura, el pH, las fuerzas mecánicas y las condiciones propias del procesamiento industrial. La exposición a estos factores puede reducir significativamente la viabilidad celular durante la elaboración y el almacenamiento del producto, así como durante su paso por el tracto gastrointestinal, lo que podría comprometer la funcionalidad esperada y limitar los beneficios potenciales para el consumidor (Burgain et al., 2011).

Con el propósito de reducir estas limitaciones, se han desarrollado diferentes estrategias de protección celular, entre las cuales la microencapsulación constituye una de las tecnologías más estudiadas para la estabilización de microorganismos probióticos. Esta técnica consiste en incorporar, inmovilizar o recubrir las células con uno o varios materiales biocompatibles capaces de formar una barrera protectora frente a condiciones ambientales adversas. De esta manera, la microencapsulación puede

mejorar la estabilidad y la viabilidad de los microorganismos durante el procesamiento y el almacenamiento de los alimentos, además de incrementar su resistencia frente al pH ácido y las sales biliares durante el tránsito gastrointestinal (Burgain et al., 2011; Rokka & Rantamäki, 2010).

2.2 Fundamentos de la microencapsulación

La microencapsulación es una tecnología mediante la cual un material activo, también denominado núcleo o fase interna, es atrapado, incorporado o recubierto por una matriz protectora o material de pared. Su finalidad es preservar las propiedades físicas, químicas o biológicas del compuesto encapsulado, facilitar su manipulación y, en determinados sistemas, controlar su liberación bajo condiciones específicas. El producto resultante se presenta generalmente en forma de micropartículas, cuyo tamaño, morfología y estructura dependen de la técnica empleada, de las propiedades del material activo y de las características del agente encapsulante (Desai & Park, 2005).

La microencapsulación se ha aplicado ampliamente en la industria alimentaria debido a su capacidad para proteger ingredientes sensibles frente al oxígeno, la luz, la humedad, la temperatura y las interacciones con otros componentes de la matriz alimentaria. Entre los materiales que pueden encapsularse se encuentran vitaminas, minerales, lípidos, antioxidantes, compuestos aromáticos, pigmentos, enzimas, aceites esenciales y microorganismos probióticos. Además de mejorar su estabilidad, esta tecnología puede enmascarar sabores u olores indeseables, transformar sustancias líquidas en polvos de fácil manejo y favorecer la liberación controlada del ingrediente activo (Burgain et al., 2011; Desai & Park, 2005).

La selección del material encapsulante constituye un factor determinante para la eficiencia y funcionalidad del proceso. En aplicaciones alimentarias, estos materiales deben ser inocuos, compatibles con el compuesto activo y con la matriz receptora, poseer propiedades adecuadas de solubilidad, viscosidad y formación de película, y proporcionar protección durante el procesamiento y el almacenamiento. Asimismo,

deben presentar viabilidad tecnológica y económica y, cuando la aplicación lo requiera, permitir la liberación del material encapsulado en condiciones previamente definidas (Desai & Park, 2005).

2.3 Microencapsulación de microorganismos probióticos

Las bacterias probióticas son particularmente susceptibles a diversos factores de estrés, entre ellos la deshidratación, la exposición al oxígeno, las variaciones de temperatura, el pH ácido y la presencia de sales biliares durante el tránsito gastrointestinal. Estas condiciones pueden ocasionar alteraciones en la permeabilidad e integridad de la membrana celular, desnaturalización de proteínas, acumulación de especies reactivas de oxígeno y modificaciones de la actividad metabólica, lo que reduce la viabilidad y la funcionalidad de los microorganismos probióticos (Terpou et al., 2019).

La microencapsulación puede disminuir el efecto de estos factores mediante la formación de una barrera física alrededor de las células. El material encapsulante limita el contacto directo de los microorganismos con el oxígeno y con otros componentes potencialmente perjudiciales de la matriz alimentaria, además de reducir los cambios de humedad cuando posee propiedades de barrera adecuadas. Asimismo, puede amortiguar parcialmente el daño térmico y mecánico asociado con el procesamiento y favorecer la estabilidad celular durante el almacenamiento. Durante el tránsito gastrointestinal, la matriz encapsulante puede restringir la difusión de protones y sales biliares hacia el interior de la partícula, incrementando la supervivencia de las células hasta su liberación en el intestino. No obstante, el grado de protección depende de la cepa, la técnica de encapsulación, la composición y estructura del material de pared, el tamaño de las partículas y las condiciones de procesamiento y conservación (Burgain et al., 2011; Rokka & Rantamäki, 2010).

2.4 Secado por aspersión como técnica de microencapsulación

El secado por aspersión es una de las técnicas de microencapsulación más utilizadas en la industria alimentaria debido a su elevada capacidad de producción, operación

continua, costo relativamente bajo y facilidad de escalamiento. Asimismo, permite controlar características del producto final, como el tamaño de partícula, la humedad residual y la densidad aparente, mediante el ajuste de las condiciones de operación (Desai & Park, 2005).

El proceso consiste en transformar una alimentación líquida, generalmente una solución, emulsión o suspensión, en un polvo seco mediante su atomización en una corriente de aire caliente. La mezcla que contiene el material encapsulante y el ingrediente activo es bombeada hacia un atomizador, donde se fragmenta en pequeñas gotas con una determinada distribución de tamaños. Al entrar en contacto con el aire caliente, la elevada relación entre superficie y volumen de las gotas favorece la rápida evaporación del agua y la formación de partículas secas en un intervalo de pocos segundos. Posteriormente, las partículas son separadas de la corriente de aire mediante sistemas como ciclones o filtros (Burgain et al., 2011).

Entre las principales ventajas del secado por aspersión se encuentra la obtención de polvos con bajo contenido de humedad y reducida actividad de agua, condiciones que pueden limitar las reacciones de deterioro y favorecer la estabilidad durante el almacenamiento. Además, aunque se emplean temperaturas elevadas del aire de entrada, el rápido enfriamiento evaporativo y el corto tiempo de residencia pueden reducir la exposición térmica efectiva del material encapsulado. No obstante, la viabilidad de los microorganismos probióticos depende de la cepa, la temperatura de entrada y salida, la velocidad de alimentación, la concentración de sólidos, el material de pared y las condiciones posteriores de almacenamiento (Burgain et al., 2011; Terpou et al., 2019).

2.5 Materiales de pared utilizados en microencapsulación

Los materiales de pared desempeñan un papel fundamental en la protección y estabilidad de los microorganismos encapsulados. Entre los más utilizados se encuentran los hidratos de carbono, las proteínas y diversos polisacáridos funcionales.

Las maltodextrinas se emplean ampliamente debido a su costo relativamente bajo, elevada solubilidad y capacidad para favorecer la formación de matrices vítreas durante el secado. Por su parte, las proteínas de suero presentan propiedades emulsificantes y formadoras de película que pueden contribuir a la protección y estabilización de las células probióticas durante el proceso de microencapsulación (Burgain et al., 2011; Desai & Park, 2005).

Los fAs representan una alternativa de interés debido a su posible doble función tecnológica y biológica. Estos carbohidratos comprenden una mezcla estructuralmente compleja de oligómeros y polímeros de fructosa, con enlaces β (2 $\rightarrow$ 1) y β (2 $\rightarrow$ 6), diferentes grados de ramificación y una distribución amplia de grados de polimerización. Tales características dependen de factores como la especie, la edad de la planta, el tejido de procedencia y las condiciones de extracción (Godínez-Hernández et al., 2016; Plascencia et al., 2022). Debido a que sus enlaces β -fructofuranosídicos no son hidrolizados por las enzimas digestivas humanas, estos compuestos pueden alcanzar el intestino grueso y ser fermentados por determinados integrantes de la MI.

Estudios in vitro han demostrado que los fAs pueden favorecer el crecimiento de cepas como *Lactobacillus casei* y *Bifidobacterium lactis*, aunque la respuesta depende de la cepa, la concentración y las características estructurales del sustrato (Moreno-Vilet et al., 2014). La fermentación de fructanos de agave también puede modificar la producción de lactato y ácidos grasos de cadena corta, como acetato, propionato y butirato, mediante la actividad conjunta de distintas poblaciones microbianas y mecanismos de alimentación cruzada.

Por consiguiente, la incorporación de fAs como componente de una mezcla de materiales de pared podría aportar una funcionalidad dual: contribuir a la formación y estabilidad de la matriz encapsulante y actuar como sustrato fermentable para los microorganismos probióticos. No obstante, su efecto protector debe comprobarse experimentalmente mediante la evaluación de la eficiencia de encapsulación, la

viabilidad celular, la actividad de agua, la higroscopicidad, la estabilidad durante el almacenamiento y la resistencia a condiciones gastrointestinales simuladas.

2.6 Desarrollo de alimentos funcionales no lácteos

Los alimentos funcionales pueden definirse, en términos generales, como alimentos han demostrado que ambos microorganismos pueden crecer y producir lactato y naturales o procesados que, además de aportar nutrientes y satisfacer requerimientos nutricionales básicos, contienen componentes biológicamente activos capaces de ejercer efectos fisiológicos beneficiosos cuando son consumidos regularmente y en cantidades adecuadas como parte de la dieta habitual. Dentro de esta categoría, los productos que contienen probióticos, prebióticos o combinaciones *sinbióticas* representan un área relevante de investigación e innovación para la industria alimentaria (Granato et al., 2020).

Históricamente, los productos lácteos fermentados han constituido los principales vehículos alimentarios para la administración de microorganismos probióticos, debido a que su composición, capacidad amortiguadora y condiciones fisicoquímicas pueden favorecer la supervivencia de determinadas cepas. Sin embargo, la alta prevalencia de intolerancia a la lactosa, la alergia a las proteínas de la leche, la adopción de patrones alimentarios basados en plantas y la necesidad de diversificar las opciones disponibles han impulsado el desarrollo de matrices funcionales no lácteas (Terpou et al., 2019).

En este contexto, se han investigado matrices elaboradas a partir de cereales, frutas, vegetales, leguminosas, semillas y productos de confitería como posibles vehículos para probióticos y otros ingredientes funcionales. Estas alternativas pueden ampliar la disponibilidad de productos para personas que restringen o evitan el consumo de lácteos; sin embargo, su idoneidad depende de factores como la composición nutricional, la actividad de agua, el pH, la presencia de oxígeno, las condiciones de procesamiento, la estabilidad durante el almacenamiento y la aceptabilidad sensorial (Terpou et al., 2019).

La combinación de fAs con *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium longum subsp. infantis* constituye una formulación con potencial *sinbiótico*, sustentada en la posible compatibilidad metabólica entre el sustrato y las cepas seleccionadas. Estudios *in vitro* ácidos grasos de cadena corta durante la fermentación de mezclas que contienen fAs e inulina de achicoria. No obstante, debido a que dicha evidencia procede de mezclas de fructanos, la utilización selectiva de los fAs por cada cepa y el beneficio fisiológico de la combinación deben demostrarse específicamente en la formulación desarrollada (Alvarez García et al., 2023).

2.7 Productos de confitería como vehículos de ingredientes funcionales

La industria de la confitería ha ampliado progresivamente su campo de innovación mediante la incorporación de fibras dietéticas, prebióticos, probióticos y otros compuestos bioactivos. Aunque estos productos se han asociado tradicionalmente con el placer y la aceptabilidad sensorial, determinadas matrices de confitería también han sido investigadas como vehículos para la administración de ingredientes funcionales. En particular, se ha demostrado que productos como el chocolate pueden conservar la viabilidad de diferentes cepas probióticas y mantener una aceptación sensorial adecuada, lo que evidencia el potencial de este sector para el desarrollo de alimentos funcionales (Faccinnetto-Beltrán et al., 2021).

Entre las características favorables de determinados productos de confitería se encuentran su elevada aceptabilidad sensorial, facilidad de transporte, disponibilidad en porciones individuales y posibilidad de incorporar ingredientes funcionales en formatos familiares para el consumidor. No obstante, la estabilidad y funcionalidad del ingrediente añadido dependen de la composición fisicoquímica de la matriz, su actividad de agua, las condiciones de procesamiento, el sistema de envasado y la temperatura y duración del almacenamiento (Faccinnetto-Beltrán et al., 2021)

El mazapán elaborado a base de cacahuete constituye un producto tradicional de la confitería mexicana y presenta características que justifican su estudio como posible

vehículo para ingredientes funcionales. Su reducida humedad y su elevada proporción deterioro del alimento y favorecer la estabilidad de probióticos previamente microencapsulados. Asimismo, la fase lipídica y los componentes proteicos del cacahuete podrían formar una matriz protectora que reduzca parcialmente la exposición de las células al oxígeno, la humedad y otras condiciones adversas. Sin embargo, este efecto debe demostrarse específicamente mediante estudios de viabilidad durante el procesamiento y el almacenamiento, ya que depende de la formulación, la cepa, el sistema de encapsulación y las condiciones de conservación (Burgain et al., 2011).

La selección de una matriz sólida como el mazapán responde también a la necesidad de desarrollar alternativas a los productos lácteos fermentados, que históricamente han constituido los principales vehículos alimentarios de microorganismos probióticos. El desarrollo de matrices no lácteas puede ampliar las opciones disponibles para personas con intolerancia a la lactosa, alergia a las proteínas de la leche o patrones alimentarios basados en plantas. Sin embargo, la idoneidad de estas matrices debe evaluarse considerando su composición fisicoquímica, la supervivencia de las cepas incorporadas, la estabilidad durante el almacenamiento y la aceptabilidad sensorial del producto final (Terpou et al., 2019).

Desde una perspectiva conceptual, una presentación sólida, de baja humedad y fácil consumo podría representar una alternativa práctica para poblaciones en las que la ingesta de líquidos se encuentra clínicamente restringida, como puede ocurrir en determinados pacientes con enfermedad renal crónica avanzada. No obstante, esta posible aplicación no fue evaluada en el presente estudio, por lo que no debe interpretarse como una recomendación clínica ni como un beneficio demostrado del producto. Su inclusión se limita a la justificación del formato alimentario, en el contexto del interés científico por las intervenciones nutricionales dirigidas a modular la MI y la producción de metabolitos urémicos en la ERC (McFarlane et al., 2019, 2022).

Finalmente, la reformulación de productos tradicionales mediante la incorporación de

ingredientes funcionales representa una estrategia para aprovechar matrices culturalmente reconocidas y potencialmente aceptables para la población. En este sentido, el mazapán de cacahuete constituye una matriz de interés para el desarrollo de un alimento con potencial *sinbiótico* elaborado con ingredientes regionales, como los fAs. Esta propuesta integra la aceptación sensorial del producto tradicional con la posibilidad de conservar microorganismos probióticos microencapsulados y aportar un sustrato prebiótico; sin embargo, su estabilidad tecnológica, funcionalidad *sinbiótica* y beneficio fisiológico deben establecerse experimentalmente.

JUSTIFICACIÓN

El creciente interés por los alimentos funcionales ha impulsado la búsqueda de productos capaces de aportar beneficios a la salud más allá de su valor nutricional. En este contexto, los alimentos *sinbióticos*, que combinan probióticos y prebióticos, representan una alternativa prometedora para favorecer el equilibrio de la microbiota intestinal y contribuir al bienestar del consumidor.

No obstante, uno de los principales retos en su desarrollo es mantener la viabilidad de los microorganismos probióticos durante el procesamiento, almacenamiento y tránsito gastrointestinal. La microencapsulación surge como una estrategia eficaz para protegerlos y preservar su funcionalidad. Asimismo, la mayoría de los productos *sinbióticos* comercializados son de origen lácteo, y por lo tanto requieren además refrigeración, por lo que existe la necesidad de desarrollar opciones innovadoras en matrices alimentarias no lácteas, y que puedan conservarse a temperatura ambiente.

Por otro lado, el *Agave salmiana* es una planta endémica de nuestro país, y sus fructanos poseen propiedades prebióticas que favorecen el crecimiento de microorganismos benéficos, además de representar una materia prima con potencial de aprovechamiento agroindustrial. Por ello, esta investigación se enfocó en desarrollar y evaluar un alimento funcional elaborado con fructanos de *Agave salmiana*, *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium longum* subsp. *infantis*, incorporados en una matriz alimentaria de amplia aceptación. Los resultados aportan evidencia sobre la viabilidad tecnológica de este tipo de productos y su potencial aplicación en la promoción de la salud intestinal.

HIPÓTESIS

Es posible desarrollar un alimento funcional no lácteo en forma de confitería (mazapán), que incorpore cepas probióticas microencapsuladas y fructanos de *Agave salmiana*, y que cumpla con los criterios establecidos para un alimento funcional y estable durante su almacenamiento y en condiciones gastrointestinales simuladas.

Objetivo general

- Desarrollar y evaluar *in vitro* un alimento *sinbiótico* compuesto por fructanos de *Agave salmiana*, en combinación con los probióticos: *L. acidophilus* y *B. longum infantis*.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto prebiótico de fructanos de *Agave salmiana* con diferente grado de polimerización sobre el crecimiento de las cepas probióticas *L. acidophilus* y *B. longum infantis* a través de parámetros de cinética de crecimiento.
- Microencapsular el probiótico por secado por aspersión.
- Evaluar las propiedades de flujo, biológicas, fisicoquímicas y rendimiento del polvo microencapsulado.
- Evaluar la vida de anaquel del polvo microencapsulado.
- Evaluar la viabilidad del polvo en un modelo *in vitro* de simulación de condiciones gastrointestinales.
- Diseñar un confite comprimido con la adición del *sinbiótico* en diferentes concentraciones
- Determinar la composición bromatológica del producto *sinbiótico*.
- Evaluar la viabilidad de los confites *sinbióticos* en un modelo *in vitro* de simulación de condiciones gastrointestinales.
- Evaluar la capacidad de estimulación del crecimiento bacteriano polvo microencapsulado y los confites *sinbióticos* posterior a las condiciones gastrointestinales en reactores anóxicos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Extracción de los fructanos de *Agave salmiana* y preparación de las cepas probióticas

Los fructanos de *Agave salmiana* se obtuvieron mediante un procedimiento de extracción y acondicionamiento basado en métodos previamente descritos en la literatura. Se emplearon *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium longum subsp. infantis*, cultivados y escalados bajo condiciones controladas hasta obtener biomasa suficiente para los ensayos.

Microencapsulación por secado por aspersión y caracterización del polvo

Los probióticos se microencapsularon mediante secado por aspersión utilizando una matriz de pared constituida por componentes carbohidratados, proteicos y fructanos de *Agave salmiana*. Posteriormente se evaluaron el rendimiento del proceso, la viabilidad del polvo y sus propiedades tecnológicas de flujo.

Evaluación del crecimiento de probióticos con prebióticos

Se comparó el crecimiento de probióticos libres y microencapsulados en medio MRS sin glucosa, sin suplementación y suplementado con inulina o fructanos de *Agave salmiana*. El seguimiento se realizó mediante mediciones de crecimiento microbiano y análisis cinético.

Contenido reservado temporalmente: Se reservan los volúmenes de trabajo, tiempos de muestreo, condiciones instrumentales y demás parámetros operativos no indispensables para la comprensión general del estudio.

Formulación del confite *sinbiótico* tipo mazapán

Se desarrollaron tres formulaciones de mazapán: una formulación de referencia y dos formulaciones *sinbióticas* que incorporaron probióticos microencapsulados y fructanos de *Agave salmiana*. Las formulaciones *sinbióticas* fueron diseñadas considerando criterios de perfil nutrimental y la incorporación de cantidades funcionales de prebiótico

y probiótico. Los niveles generales de fructanos y probióticos divulgados en la publicación científica se mantienen en la sección de resultados.

Análisis bromatológico y evaluación sensorial

Las formulaciones fueron sometidas a análisis proximal mediante metodologías oficiales y a una evaluación sensorial hedónica con 50 panelistas. Se valoró la preferencia relativa entre las tres formulaciones.

Evaluación de viabilidad durante el almacenamiento

La estabilidad de los probióticos microencapsulados, solos y dentro de las formulaciones *sinbióticas*, se evaluó durante 60 días a 4, 30 y 45 °C, cuantificando la viabilidad en distintos puntos del almacenamiento.

Evaluación bajo condiciones gastrointestinales simuladas

Se realizó un modelo in vitro de condiciones gastrointestinales simuladas para comparar la supervivencia de probióticos libres, microencapsulados y microencapsulados incorporados en las formulaciones F2 y F3.

Análisis estadístico

Las cinéticas de crecimiento y de pérdida de viabilidad se analizaron mediante modelos matemáticos y comparaciones estadísticas entre grupos, con criterios de significación acordes con el estudio publicado.

Caracterización de fructanos mediante HPAEC-PAD

El perfil de los fructanos de *Agave salmiana* y su permanencia tras la incorporación en la matriz de confitería se evaluaron mediante cromatografía de intercambio aniónico de alta resolución con detección amperométrica pulsada (HPAEC-PAD), comparando la distribución por grado de polimerización con estándares de referencia.

CONCLUSIONES

Con base en los hallazgos de este estudio, el *sinbiótico* conformado por fructanos extraídos de *Agave salmiana* como prebiótico, junto con *L. acidophilus* y *B. infantis* como probióticos microencapsulados, presenta potencial para el desarrollo de alimentos funcionales no lácteos con *sinbióticos* estables a temperatura ambiente.

El uso de materiales de pared adecuados para la microencapsulación de las cepas probióticas proporciona resistencia térmica durante el proceso de secado por aspersión, lo que se traduce en una alta viabilidad y un mejor desempeño del secado.

Asimismo, la selección de la matriz alimentaria para incorporar el *sinbiótico* es un factor crítico para mejorar la supervivencia de los microorganismos. En este sentido, la elección de una matriz de confitería adecuada, específicamente un mazapán elaborado a partir de oleaginosas, representó una decisión estratégica. Los aceites naturales presentes en la matriz desempeñaron un papel relevante en la viabilidad de ambas cepas probióticas microencapsuladas.

Se logró formular dos productos de confitería que cumplen con las directrices para alimentos saludables, con una vida de anaquel cercana a un mes a temperatura ambiente. Las formulaciones F2 y F3 mostraron resultados innovadores en la elaboración de un *sinbiótico*, utilizando un prebiótico local y alineándose con especificaciones internacionales para alimentos funcionales.

BIBLIOGRAFÍA

- Abd El-Salam, M. H., & El-Shibiny, S. (2015). Preparation and properties of milk proteins-based encapsulated probiotics: A review. *Dairy Science & Technology*, 95(4), 393-412. <https://doi.org/10.1007/s13594-015-0223-8>
- Abed, S. M. (2016). *Inulin as Prebiotics and its Applications in Food Industry and Human Health; A Review*.
https://mail.ijair.org/administrator/components/com_jresearch/files/publications/IJAIR_2037_FINAL.pdf
- Albadran, H. A., Chatzifragkou, A., Khutoryanskiy, V. V., & Charalampopoulos, D. (2015). Stability of probiotic *Lactobacillus plantarum* in dry microcapsules under accelerated storage conditions. *Food Research International*, 74, 208-216. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.016>
- Aldrete, P., López, M., Medina-Torres, L., Ragazzo-Sanchez, J., Calderon-Santoyo, M., González-Avila, M., & Ortiz Basurto, R. (2019). Physicochemical Composition and Apparent Degree of Polymerization of Fructans in Five Wild Agave Varieties: Potential Industrial Use. *Foods*, 8. <https://doi.org/10.3390/foods8090404>
- Alvarez García, P., Alcántara Quintana, L. E., Ruiz Cabrera, M. Á., Martínez Gutiérrez, F., González García, R., & Grajales Lagunes, A. (2023). Fructan mixtures of *Agave salmiana* and chicory exhibit *in vitro* anticancer potential in human colon cells and prebiotic activity. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1), 2196871. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2196871>

- Arboleya, S., Stanton, C., Ryan, C. A., Dempsey, E., & Ross, P. R. (2016). Bosom Buddies: The Symbiotic Relationship Between Infants and *Bifidobacterium longum* ssp. *longum* and ssp. *infantis* . Genetic and Probiotic Features. *Annual Review of Food Science and Technology*, 7(1), 1-21.
<https://doi.org/10.1146/annurev-food-041715-033151>
- Arepally, D., Reddy, R. S., Goswami, T. K., & Coorey, R. (2022). A Review on Probiotic Microencapsulation and Recent Advances of their Application in Bakery Products. *Food and Bioprocess Technology*, 15(8), 1677-1699.
<https://doi.org/10.1007/s11947-022-02796-2>
- Arrizon, J., Morel, S., Gschaedler, A., & Monsan, P. (2010). Comparison of the water-soluble carbohydrate composition and fructan structures of Agave tequilana plants of different ages. *Food Chemistry*, 122(1), 123-130.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.028>
- Association of official analytical chemists. (1990). *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (15th ed.). Association of Official Analytical Chemist. <http://www.eoma.aoac.org/methods/info.asp?ID=12320>
- Ávila-Fernández, Á., Galicia-Lagunas, N., Rodríguez-Alegría, M. E., Olvera, C., & López-Munguía, A. (2011). Production of functional oligosaccharides through limited acid hydrolysis of agave fructans. *Food Chemistry*, 129(2), 380-386.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.088>
- Barajas-Álvarez, P., González-Ávila, M., & Espinosa-Andrews, H. (2022). Microencapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* HN001 by spray drying and its evaluation under gastrointestinal and storage conditions. *LWT*, 153, 112485.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112485>

- Beck, L. C., Masi, A. C., Young, G. R., Vatanen, T., Lamb, C. A., Smith, R., Coxhead, J., Butler, A., Marsland, B. J., Embleton, N. D., Berrington, J. E., & Stewart, C. J. (2022). Strain-specific impacts of probiotics are a significant driver of gut microbiome development in very preterm infants. *Nature Microbiology*, 7(10), 1525-1535. <https://doi.org/10.1038/s41564-022-01213-w>
- Bernal-Castro, C., Camargo-Herrera, Á., Gutiérrez-Cortés, C., & Díaz-Moreno, C. (2025). Probiotic and Technological Potential of Native Lactic Acid Bacteria Strains from High Andean Forest Bee Bread: In Vitro Study. *Plant Foods for Human Nutrition*, 80(4), 163. <https://doi.org/10.1007/s11130-025-01392-x>
- Binda, S., Hill, C., Johansen, E., Obis, D., Pot, B., Sanders, M. E., Tremblay, A., & Ouwehand, A. C. (2020). Criteria to Qualify Microorganisms as “Probiotic” in Foods and Dietary Supplements. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1662. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01662>
- Burgain, J., Gaiani, C., Linder, M., & Scher, J. (2011). Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications. *Journal of Food Engineering*, 104(4), 467-483. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.12.031>
- Carneiro, H. C. F., Tonon, R. V., Grosso, C. R. F., & Hubinger, M. D. (2013). Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. *Journal of Food Engineering*, 115(4), 443-451. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.033>

- Castro-Zavala, A., Juárez-Flores, B. I., Pinos-Rodríguez, J. M., Delgado-Portales, R. E., Aguirre-Rivera, J. R., & Alcocer-Gouyonnet, F. (2015). Prebiotic Effects of Agave salmiana Fructans in Lactobacillus acidophilus and Bifidobacterium lactis Cultures. *Natural Product Communications*, 10(11), 1934578X1501001145. <https://doi.org/10.1177/1934578X1501001145>
- Catanzaro, R., Sciuto, M., & Marotta, F. (2021). Lactose intolerance: An update on its pathogenesis, diagnosis, and treatment. *Nutrition Research (New York, N.Y.)*, 89, 23-34. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2021.02.003>
- Ceja-Medina, L. I., Ortiz-Basurto, R. I., Medina-Torres, L., Calderas, F., Bernad-Bernad, M. J., González-Laredo, R. F., Ragazzo-Sánchez, J. A., Calderón-Santoyo, M., González-ávila, M., Andrade-González, I., & Manero, O. (2020). Microencapsulation of Lactobacillus plantarum by spray drying with mixtures of Aloe vera mucilage and agave fructans as wall materials. *Journal of Food Process Engineering*, 43(8), e13436. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13436>
- Center for Food Safety and Applied Nutrition. (2025, marzo 18). *The Nutrition Facts Label*. Food and Drug Administration. <https://www.fda.gov/food/nutrition-education-resources-materials/nutrition-facts-label>
- Chichlowski, M., Shah, N., Wampler, J. L., Wu, S. S., & Vanderhoof, J. A. (2020). Bifidobacterium longum Subspecies infantis (B. infantis) in Pediatric Nutrition: Current State of Knowledge. *Nutrients*, 12(6), 1581. <https://doi.org/10.3390/nu12061581>
- Cuevas-Juárez, E., Ávila-Fernández, Á., & López-Munguía, A. (2017). Identification of enzymatic activities involved in agave fructan consumption by Bifidobacterium

longum subsp. Infantis ATCC 15697. *Journal of Functional Foods*, 35, 267-278.

<https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.05.048>

Davani-Davari, D., Negahdaripour, M., Karimzadeh, I., Seifan, M., Mohkam, M., Masoumi, S., Berenjian, A., & Ghasemi, Y. (2019). Prebiotics: Definition, Types, Sources, Mechanisms, and Clinical Applications. *Foods*, 8(3), 92.

<https://doi.org/10.3390/foods8030092>

Del Gobbo, L. C., Falk, M. C., Feldman, R., Lewis, K., & Mozaffarian, D. (2015). Are Phytosterols Responsible for the Low-Density Lipoprotein-Lowering Effects of Tree Nuts?: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of the American College of Cardiology*, 65(25), 2765-2767.

<https://doi.org/10.1016/j.jacc.2015.03.595>

Desai, K. G. H., & Park, H. J. (2005). Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients. *Drying Technology*, 23(7), 1361-1394.

<https://doi.org/10.1081/DRT-200063478>

Doherty, S. B., Gee, V. L., Ross, R. P., Stanton, C., Fitzgerald, G. F., & Brodkorb, A. (2011). Development and characterisation of whey protein micro-beads as potential matrices for probiotic protection. *Food Hydrocolloids*, 25(6), 1604-1617.

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.12.012>

Evans, M., Gallagher, J. A., Ratcliffe, I., & Williams, P. A. (2016). Determination of the degree of polymerisation of fructans from ryegrass and chicory using MALDI-TOF Mass Spectrometry and Gel Permeation Chromatography coupled to multiangle laser light scattering. *Food Hydrocolloids*, 53, 155-162.

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.015>

Evert, A. B., Dennison, M., Gardner, C. D., Garvey, W. T., Lau, K. H. K., MacLeod, J., Mitri, J., Pereira, R. F., Rawlings, K., Robinson, S., Saslow, L., Uelmen, S., Urbanski, P. B., & Yancy, W. S., Jr. (2019). Nutrition Therapy for Adults With Diabetes or Prediabetes: A Consensus Report. *Diabetes Care*, 42(5), 731-754. <https://doi.org/10.2337/dci19-0014>

Faccinetto-Beltrán, P., Gómez-Fernández, A. R., Santacruz, A., & Jacobo-Velázquez, D. A. (2021). Chocolate as Carrier to Deliver Bioactive Ingredients: Current Advances and Future Perspectives. *Foods*, 10(9), 2065. <https://doi.org/10.3390/foods10092065>

Food and Agriculture Organization. (2006). Probiotics in food. Health and nutritional properties and guidelines for evaluation. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/382476b3-4d54-4175-803f-2f26f3526256/content>

Frakolaki, G., Giannou, V., Kekos, D., & Tzia, C. (2021). A review of the microencapsulation techniques for the incorporation of probiotic bacteria in functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(9), 1515-1536. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1761773>

Franco-Robles, E., & López, M. G. (2015). Implication of Fructans in Health: Immunomodulatory and Antioxidant Mechanisms. *The Scientific World Journal*, 2015, 289267. <https://doi.org/10.1155/2015/289267>

Fu, B., & Labuza, T. P. (1997). Shelf-Life Testing: Procedures and Prediction Methods. En M. C. Erickson & Y.-C. Hung (Eds.), *Quality in Frozen Food* (pp. 377-415). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5975-7_19

- Gao, H., Li, X., Chen, X., Hai, D., Wei, C., Zhang, L., & Li, and P. (2022). *The Functional Roles of Lactobacillus acidophilus in Different Physiological and Pathological Processes*. 32(10), 1226-1233. <https://doi.org/10.4014/jmb.2205.05041>
- García Gamboa, R., Ortiz Basurto, R. I., Calderón Santoyo, M., Bravo Madrigal, J., Ruiz Álvarez, B. E., & González Avila, M. (2018). *In vitro* evaluation of prebiotic activity, pathogen inhibition and enzymatic metabolism of intestinal bacteria in the presence of fructans extracted from agave: A comparison based on polymerization degree. *LWT*, 92, 380-387. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.051>
- García-Villalba, W. G., Rodríguez-Herrera, R., Ochoa-Martínez, L. A., Rutiaga-Quiñones, O. M., Gallegos-Infante, J. A., & González-Herrera, S. M. (2023). Agave fructans: A review of their technological functionality and extraction processes. *Journal of Food Science and Technology*, 60(4), 1265-1273. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05375-7>
- Gebara, C., Chaves, K. S., Ribeiro, M. C. E., Souza, F. N., Grosso, C. R. F., & Gigante, M. L. (2013). Viability of *Lactobacillus acidophilus* La5 in pectin–whey protein microparticles during exposure to simulated gastrointestinal conditions. *Food Research International*, 51(2), 872-878. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.02.008>
- Gebrayel, P., Nicco, C., Al Khodor, S., Bilinski, J., Caselli, E., Comelli, E. M., Egert, M., Giaroni, C., Karpinski, T. M., Loniewski, I., Mulak, A., Reygner, J., Samczuk, P., Serino, M., Sikora, M., Terranegra, A., Ufnal, M., Villeger, R., Pichon, C., ... Edeas, M. (2022). Microbiota medicine: Towards clinical revolution. *Journal of*

Translational Medicine, 20(1), 111. <https://doi.org/10.1186/s12967-022-03296-9>

Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., Scott, K., Stanton, C., Swanson, K. S., Cani, P. D., Verbeke, K., & Reid, G. (2017). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 14(8), 491-502. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>

Godínez-Hernández, C. I., Aguirre-Rivera, J. R., Juárez-Flores, B. I., Ortiz-Pérez, M. D., & Becerra-Jiménez, J. (2016). Extraction and characterization of Agave salmiana Otto ex Salm-Dyck fructans. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 22(1), 59-72. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.02.007>

Granato, D., Barba, F. J., Bursać Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 11(1), 93-118. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708>

Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., Morelli, L., Canani, R. B., Flint, H. J., Salminen, S., Calder, P. C., & Sanders, M. E. (2014). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 11(8), Article 8. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>

- Hughes, R. L., Alvarado, D. A., Swanson, K. S., & Holscher, H. D. (2022). The Prebiotic Potential of Inulin-Type Fructans: A Systematic Review. *Advances in Nutrition*, 13(2), 492-529. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab119>
- Humphreys, C. (2020). Intestinal Permeability. En *Textbook of Natural Medicine* (pp. 166-177.e4). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-43044-9.00019-4>
- Kho, Z. Y., & Lal, S. K. (2018). The Human Gut Microbiome – A Potential Controller of Wellness and Disease. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1-23. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2018.01835>
- Kim, W. S., Perl, L., Park, J. H., Tandianus, J. E., & Dunn, N. W. (2001). Assessment of stress response of the probiotic *Lactobacillus acidophilus*. *Current Microbiology*, 43(5), 346-350. <https://doi.org/10.1007/s002840010314>
- Kocková, M., & Valík, L. (2014). Development of new cereal-, pseudocereal-, and cereal-leguminous-based probiotic foods. *Czech Journal of Food Sciences*, 32 (2014)(No. 4), 391-397. <https://doi.org/10.17221/553/2013-CJFS>
- Koh, A., De Vadder, F., Kovatcheva-Datchary, P., & Bäckhed, F. (2016). From Dietary Fiber to Host Physiology: Short-Chain Fatty Acids as Key Bacterial Metabolites. *Cell*, 165(6), 1332-1345. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.05.041>
- Kumar, D., Lal, M. K., Dutt, S., Raigond, P., Changan, S. S., Tiwari, R. K., Chourasia, K. N., Mangal, V., & Singh, B. (2022). Functional Fermented Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics from Non-Dairy Products: A Perspective from Nutraceutical. *Molecular Nutrition & Food Research*, 66(14), 2101059. <https://doi.org/10.1002/mnfr.202101059>

- Leylak, C., Özdemir, K. S., Gurakan, G. C., & Ogel, Z. B. (2021). *Optimisation of spray drying parameters for Lactobacillus acidophilus encapsulation in whey and gum Arabic: Its application in yoghurt*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104865>
- Li, Z., Chu, X., Mouille, G., Yan, L., Kosar-Hashemi, B., Hey, S., Napier, J., Shewry, P., Clarke, B., Appels, R., Morell, M. K., & Rahman, S. (1999). The localization and expression of the class II starch synthases of wheat. *Plant Physiology*, 120(4), 1147-1156. <https://doi.org/10.1104/pp.120.4.1147>
- Lim, J. (2011). Hedonic scaling: A review of methods and theory. *Food Quality and Preference*, 22(8), 733–747. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.05.008>
- Liu, Q., Lin, C., Yang, X., Wang, S., Yang, Y., Liu, Y., Xiong, M., Xie, Y., Bao, Q., & Yuan, Y. (2023). Improved Viability of Probiotics via Microencapsulation in Whey-Protein-Isolate-Octenyl-Succinic-Anhydride-Starch-Complex Coacervates. *Molecules*, 28(15), Article 15. <https://doi.org/10.3390/molecules28155732>
- Madureira, A. R., Amorim, M., Gomes, A. M., Pintado, M. E., & Malcata, F. X. (2011). Protective effect of whey cheese matrix on probiotic strains exposed to simulated gastrointestinal conditions. *Food Research International*, 44(1), 465-470. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.010>
- Markowiak, P., & Śliżewska, K. (2017). Effects of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics on Human Health. *Nutrients*, 9(9), 1021. <https://doi.org/10.3390/nu9091021>

- Martinez-Gamiño, D., Garcia-Soto, Mariano J, Gonzalez-Acevedo, O., Godinez-Hernandez, C., Juarez-Flores, B., Ortiz-Basurto, R. I., Maribel, M., Flores-Ramirez, R., Martinez-Martinez, M. U., Ratering, S., Schnell, S., Bach, H., & Martinez-Gutierrez, F. (2022). Prebiotic effect of fructans from *Agave salmiana* on probiotic lactic acid bacteria and as a supplement for in children malnutrition. *Food & Function*, 13(7), 4184-4193. <https://doi.org/10.1039/D1FO03852D>
- Martínez-Gutiérrez, F., Ratering, S., Juárez-Flores, B., Godínez-Hernández, C., Geissler-Plaum, R., Prell, F., Zorn, H., Czermak, P., & Schnell, S. (2017). Potential use of *Agave salmiana* as a prebiotic that stimulates the growth of probiotic bacteria. *LWT – Food Science and Technology*, 84, 151–159. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.044>
- Martinez-Martinez, M. U., Vázquez-Maldonado, D., Ratering, S., Godínez-Hernández, C., Ortiz-Basurto, R. I., Soria-Guerra, R. E., Schneider, B., Juárez-Flores, B. I., Portales-Pérez, D. P., Schnell, S., & Martinez-Gutierrez, F. (2022). Fructans from *Agave* enhance probiotic yoghurt by modulating gut microbiota on children with overweight or obesity. *Food Bioscience*, 46, 101516. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101516>
- McFarlane, C., Krishnasamy, R., Stanton, T., Savill, E., Snelson, M., Mihala, G., Kelly, J. T., Morrison, M., Johnson, D. W., & Campbell, K. L. (2021). Synbiotics Easing Renal Failure by Improving Gut Microbiology II (SYNERGY II): A Feasibility Randomized Controlled Trial. *Nutrients*, 13(12), 4481. <https://doi.org/10.3390/nu13124481>

- McFarlane, C., Krishnasamy, R., Stanton, T., Savill, E., Snelson, M., Mihala, G., Morrison, M., Johnson, D. W., & Campbell, K. L. (2022). Diet Quality and Protein-Bound Uraemic Toxins: Investigation of Novel Risk Factors and the Role of Microbiome in Chronic Kidney Disease. *Journal of Renal Nutrition*, 32(5), 542-551. <https://doi.org/10.1053/j.jrn.2021.10.003>
- McFarlane, C., Ramos, C. I., Johnson, D. W., & Campbell, K. L. (2019). Prebiotic, Probiotic, and Synbiotic Supplementation in Chronic Kidney Disease: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Renal Nutrition*, 29(3), 209-220. <https://doi.org/10.1053/j.jrn.2018.08.008>
- Mellado-Mojica, E., González De La Vara, L. E., & López, M. G. (2017). Fructan active enzymes (FAZY) activities and biosynthesis of fructooligosaccharides in the vacuoles of Agave tequilana Weber Blue variety plants of different age. *Planta*, 245(2), 265-281. <https://doi.org/10.1007/s00425-016-2602-7>
- Méndez - Saldívar, HB (2021). *Evaluación de las propiedades de microencapsulados de mezclas de dos cepas probióticas con fructanos de Agave mediante secado por aspersión* [Tesis de licenciatura no publicada]. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Miles, A. A., Misra, S. S., & Irwin, J. O. (1938). The estimation of the bactericidal power of the blood. *Epidemiology and Infection*, 38(6), 732–749. <https://doi.org/10.1017/S002217240001158X>
- Mishra, A., Chakravarty, I., & Mandavgane, S. (2021). Current trends in non-dairy based synbiotics. *Critical Reviews in Biotechnology*, 41(6), 935-952.

<https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1898329>

Misra, S., Pandey, P., Dalbhagat, C. G., & Mishra, H. N. (2022). Emerging Technologies and Coating Materials for Improved Probiotication in Food Products: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 15(5), 998-1039. <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02753-5>

Moreno-Vilet, L., Garcia-Hernandez, M. H., Delgado-Portales, R. E., Corral-Fernandez, N. E., Cortez-Espinosa, N., Ruiz-Cabrera, M. A., & Portales-Perez, D. P. (2014). In vitro assessment of agave fructans (*Agave salmiana*) as prebiotics and immune system activators. *International Journal of Biological Macromolecules*, 63, 181-187. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.10.039>

Naissinger da Silva, M., Tagliapietra, B. L., Flores, V. do A., & Pereira dos Santos Richards, N. S. (2021). In vitro test to evaluate survival in the gastrointestinal tract of commercial probiotics. *Current Research in Food Science*, 4, 320-325. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.04.006>

Neffe-Skocińska, K., Rzepkowska, A., Szydłowska, A., & Kołożyn-Krajewska, D. (2018). Trends and possibilities of the use of probiotics in food production. *Alternative and Replacement Foods*, 65-94. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811446-9.00003-4>

Niness, K. R. (1999). Inulin and Oligofructose: What Are They? 1. *The Journal of Nutrition*, 129(7), 1402S-1406S. <https://doi.org/10.1093/jn/129.7.1402S>

Obrero, T., Pendón-Ruiz de Mier, M. V., Gordillo-Arnaud, J. E., Jiménez Moral, M. J., Vidal, V., Guerrero, F., Carmona, A., Rodríguez-Ortiz, M. E., Torralbo, A. I., Ojeda, R., Moyano, C., Sanchez-Ramade, M., Mesa, J., López-Ruiz, D. J.,

- Valdés-Díaz, K., García-Sáez, R. M., Jurado-Montoya, D., Rodelo-Haad, C., Álvarez-Benito, M., ... Muñoz-Castañeda, J. R. (2025). Probiotic Supplementation in Chronic Kidney Disease: Outcomes on Uremic Toxins, Inflammation, and Vascular Calcification from Experimental and Clinical Models. *Toxins*, 18(1), 6. <https://doi.org/10.3390/toxins18010006>
- Ortiz-Basurto, R. I., Pourcelly, G., Doco, T., Williams, P., Dornier, M., & Belleville, M.-P. (2008). Analysis of the Main Components of the Aguamiel Produced by the Maguey-Pulquero (*Agave mapisaga*) throughout the Harvest Period. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(10), 3682-3687. <https://doi.org/10.1021/jf072767h>
- Ouwehand, A. C., Salminen, S., & Isolauri, E. (2002). Probiotics: An overview of beneficial effects. *Antonie van Leeuwenhoek*, 82(1-4), 279-289. <https://doi.org/10.1023/A:1020620607611>
- Paludan-Müller, C., Gram, L., & Rattray, F. P. (2002). Purification and Characterisation of an Extracellular Fructan β -fructosidase from a *Lactobacillus pentosus* Strain Isolated from Fermented Fish. *Systematic and Applied Microbiology*, 25(1), 13-20. <https://doi.org/10.1078/0723-2020-00101>
- Pan American Health Organization. (2016). *Pan American Health Organization Nutrient Profile Model*. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/18621>
- Pinto, S. S., Verruck, S., Vieira, C. R. W., Prudêncio, E. S., Amante, E. R., & Amboni, R. D. M. C. (2015). Influence of microencapsulation with sweet whey and prebiotics on the survival of *Bifidobacterium*-BB-12 under simulated gastrointestinal conditions and heat treatments. *LWT - Food Science and*

Technology, 64(2), 1004-1009. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.020>

- Plascencia, A., Gutiérrez-Mora, A., Rodríguez-Domínguez, J. M., Castañeda-Nava, J. J., Gallardo-Valdez, J., Shimada, H., & Camacho-Ruiz, R. M. (2022). Molecular weight distribution of fructans extracted from *Agave salmiana* leaves. *Botanical Sciences*, 100(3), 657-666. <https://doi.org/10.17129/botsci.2960>
- Plaza-Díaz, J., Ruiz-Ojeda, F. J., Gil-Campos, M., & Gil, A. (2019). Mechanisms of Action of Probiotics. *Advances in Nutrition*, 10(Suppl 1), S49-S66. <https://doi.org/10.1093/advances/nmy063>
- Puente-Garza, C. A., Espinosa-Leal, C. A., & García-Lara, S. (2018). Steroidal Saponin and Flavonol Content and Antioxidant Activity during Sporophyte Development of Maguey (*Agave salmiana*). *Plant Foods for Human Nutrition*, 73(4), 287-294. <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0684-z>
- 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, Part 1), 773-780. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.062>
- Ramezani, A., & Raj, D. S. (2014). The gut microbiome, kidney disease, and targeted interventions. *Journal of the American Society of Nephrology: JASN*, 25(4), 657-670. <https://doi.org/10.1681/ASN.2013080905>
- Ramos-Hernández, J. A., Lagarón, J. M., Calderón-Santoyo, M., Prieto, C., & Ragazzo-Sánchez, J. A. (2021). Enhancing hygroscopic stability of agave fructans capsules obtained by electrospraying. *Journal of Food Science and Technology*, 58(4), 1593-1603. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04672-3>

- Rivière, A., Selak, M., Lantin, D., Leroy, F., & De Vuyst, L. (2016). Bifidobacteria and Butyrate-Producing Colon Bacteria: Importance and Strategies for Their Stimulation in the Human Gut. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00979>
- Roberfroid, M. B. (2005). Introducing inulin-type fructans. *British Journal of Nutrition*, 93(S1), S13-S25. <https://doi.org/10.1079/BJN20041350>
- Rodríguez-Pastén, A., Pérez-Hernández, N., Añorve-Morga, J., Jiménez-Alvarado, R., Cariño-Cortés, R., Sosa-Lozada, T., & Fernández-Martínez, E. (2022). The Activity of Prebiotics and Probiotics in Hepatogastrointestinal Disorders and Diseases Associated with Metabolic Syndrome. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(13), 7229. <https://doi.org/10.3390/ijms23137229>
- Rokka, S., & Rantamäki, P. (2010). Protecting probiotic bacteria by microencapsulation: Challenges for industrial applications. *European Food Research and Technology*, 231(1), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s00217-010-1246-2>
- Ros, E., Singh, A., & O'Keefe, J. H. (2021). Nuts: Natural Pleiotropic Nutraceuticals. *Nutrients*, 13(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/nu13093269>
- Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M. M., Sanders, M. E., Shamir, R., Swann, J. R., Szajewska, H., & Vinderola, G. (2021). The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews. Gastroenterology & Hepatology*, 18(9), 649-667. <https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6>

- Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M. M., Sanders, M. E., Shamir, R., Swann, J. R., Szajewska, H., & Vinderola, G. (2022). Author Correction: The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews. Gastroenterology & Hepatology*, 19(8), 551. <https://doi.org/10.1038/s41575-022-00628-4>
- Sharma, R., Rashidinejad, A., & Jafari, S. M. (2022). Application of Spray Dried Encapsulated Probiotics in Functional Food Formulations. *Food and Bioprocess Technology*, 15(10), 2135-2154. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02803-6>
- Šipailienė, A., & Petraitytė, S. (2018). Encapsulation of Probiotics: Proper Selection of the Probiotic Strain and the Influence of Encapsulation Technology and Materials on the Viability of Encapsulated Microorganisms. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 10(1), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s12602-017-9347-x>
- Slavin, J., & Carlson, J. (2014). Carbohydrates. *Advances in Nutrition*, 5(6), 760-761. <https://doi.org/10.3945/an.114.006163>
- Swanson, K. S., Gibson, G. R., Hutkins, R., Reimer, R. A., Reid, G., Verbeke, K., Scott, K. P., Holscher, H. D., Azad, M. B., Delzenne, N. M., & Sanders, M. E. (2020). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of synbiotics. *Nature Reviews. Gastroenterology & Hepatology*, 17(11), 687-701. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-0344-2>

- Terpou, A., Papadaki, A., Lappa, I. K., Kachrimanidou, V., Bosnea, L. A., & Kopsahelis, N. (2019). Probiotics in Food Systems: Significance and Emerging Strategies Towards Improved Viability and Delivery of Enhanced Beneficial Value. *Nutrients*, 11(7), 1591. <https://doi.org/10.3390/nu11071591>
- Troisi, J., Di Fiore, R., Pulvento, C., D'Andria, R., Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Martínez, E. A., & Lavini, A. (2014). Saponinas. En D. Bazile, D. Bertero, & C. Nieto (Eds.), Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013 (pp. 317–330). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement. <https://doi.org/10.13140/2.1.1568.5129>
- Tukaram, K. S., Sopanrao, S. R., & Kacharu, L. O. (2025). Unveiling The Therapeutic Potential of Probiotics: A Review. *Journal of Future Foods*. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2025.09.011>
- Underwood, M. A., German, J. B., Lebrilla, C. B., & Mills, D. A. (2015). Bifidobacterium longum subspecies infantis: Champion colonizer of the infant gut. *Pediatric research*, 77(0), 229-235. <https://doi.org/10.1038/pr.2014.156>
- Wada, T., Sugatani, J., Terada, E., Ohguchi, M., & Miwa, M. (2005). Physicochemical Characterization and Biological Effects of Inulin Enzymatically Synthesized from Sucrose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(4), 1246-1253. <https://doi.org/10.1021/jf048711u>
- Waleckx, E., Gschaedler, A., Colonna-Ceccaldi, B., & Monsan, P. (2008). Hydrolysis of fructans from Agave tequilana Weber var. Azul during the cooking step in a traditional tequila elaboration process. *Food Chemistry*, 108(1), 40-48.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.028>

- Wink, M. (2003). Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. *Phytochemistry*, 64(1), 3-19.
[https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(03\)00300-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00300-5)
- Yao, S., Zhao, Z., Wang, W., & Liu, X. (2021). Bifidobacterium Longum: Protection against Inflammatory Bowel Disease. *Journal of Immunology Research*, 2021, 8030297. <https://doi.org/10.1155/2021/8030297>
- Ying, D., Schwander, S., Weerakkody, R., Sanguansri, L., Gantenbein-Demarchi, C., & Augustin, M. A. (2013). Microencapsulated Lactobacillus rhamnosus GG in whey protein and resistant starch matrices: Probiotic survival in fruit juice. *Journal of Functional Foods*, 5(1), 98-105.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.08.009>
- Yoha, K. S., Nida, S., Dutta, S., Moses, J. A., & Anandharamakrishnan, C. (2022). Targeted Delivery of Probiotics: Perspectives on Research and Commercialization. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 14(1), 15-48.
<https://doi.org/10.1007/s12602-021-09791-7>
- Zamora P, C., Juárez F, B. I., Aguirre, J. R., Godínez, C. I., & Álvarez, G. (2010). Variación de la concentración de azúcares y saponinas durante la cocción del Maguey Mezcalero Potosino. *e-Gnosis*, 8. <http://www.e-gnosis.udg.mx/index.php/eg/article/view/101>

Anamaría Bravo Ramírez

Tesis 110826 ABR.pdf

 Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:615793183

Fecha de entrega

20 ago 2026, 2:20 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

20 ago 2026, 2:26 p.m. GMT-6

Nombre del archivo

Tesis 110826 ABR.pdf

Tamaño del archivo

1.6 MB

107 páginas

24.678 palabras

147.941 caracteres

3% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

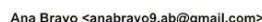
- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 14 palabras)
- Methods and Materials
- Trabajos entregados

Fuentes principales

- 3%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

CARTA DE ACEPTACIÓN

Gmail - ACEPTACIÓN: Plant Foods for Human Nutrition: Decision on your manuscript



1 mensaie

30 de mayo de 2026 a las 8:01 a.m.

Toda opinión que se expresa en este mensaje pertenece a la persona remitente por lo que no debe entenderse como una opinión de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, a menos que el remitente este autorizado para hacerlo o expresamente lo diga en el mismo mensaje. Para mayor información revisa el [Aviso de Privacidad](#).