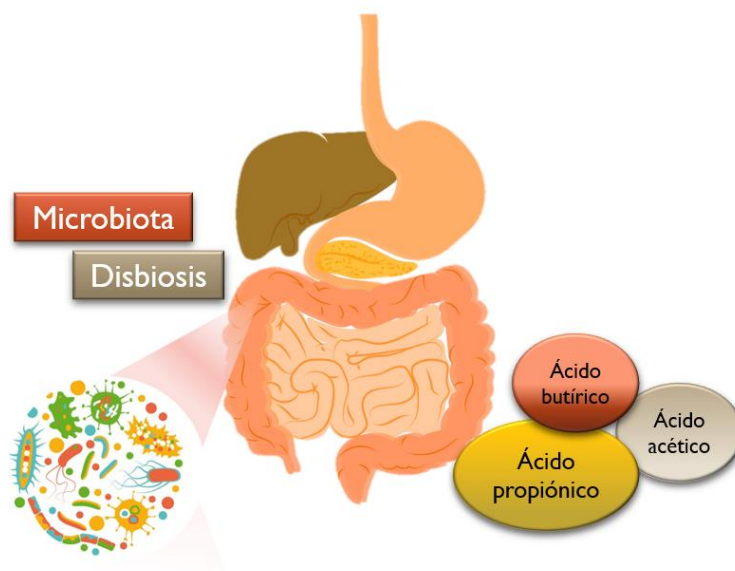








Consumo de alimentos funcionales: Una revisión sobre el efecto de prebióticos-probióticos en la salud humana.

Consumption of functional foods: A review on the effect of prebiotics-probiotics on human health.



Stephany Nefertari Chávez García¹ , Sonia Yesenia Silva Belmares¹ , Sendar Nery Flores¹ , Adriana Carolina Flores Gallegos¹ , Xochitl Ruelas Chacón² , Raúl Rodríguez Herrera^{1*} 

¹Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Boulevard Venustiano Carranza and José Cárdenas S/ n, Republica Oriente, C.P. 25280, Saltillo, Coahuila, México; s_chavez@uadec.edu.mx +528442769472 (S.C.), yesenia_silva@uadec.edu.mx +528441054089 (S.S.), sendar_nery@uadec.edu.mx +528441209161 (S.N.), carolinaflores@uadec.edu.mx +528442780526 (C.F.);

²Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; xochitlruelas@uadec.edu.mx +528444193246(X.R.);

*autor para correspondencia: raul.rodriguez@uadec.edu.mx +528444599066 (R.R.)

Resumen

La prevalencia de enfermedades inflamatorias intestinales relacionadas a la ingesta de gluten ha ido en incremento, por lo que la industria alimentaria se ha visto en la necesidad de desarrollar alimentos funcionales libres de gluten. La reformulación de alimentos de consumo habitual tiene como desafío el crear productos nutricionalmente adecuados para este tipo de consumidores, además de tomar en cuenta los aspectos sensoriales. Se ha identificado que la población que sufre de esta problemática tiene en común una disbiosis intestinal, y que puede obtener beneficios al consumir alimentos con probióticos y prebióticos en su dieta. Por lo que este manuscrito se enfocó en estudiar la información existente sobre el efecto del consumo de alimentos que contienen probióticos y prebióticos en la salud humana, así como su mecanismo de acción y tendencias futuras.

Palabras Clave: Probióticos, Prebióticos, Gluten

Abstract

Prevalence of inflammatory bowel diseases related to gluten intake has been increasing, so the food industry has seen the need to develop gluten-free foods with functional properties. Reformulation of commonly consumed has the challenge of creating nutritionally adequate products for this type of consumer, in addition to considering the sensory aspects. It has been identified that population that suffers from this problem has in common an intestinal dysbiosis and may have benefits when consuming foods with probiotics and prebiotics in their diet. In this document, a review of literature on the health effects of foods with probiotics and prebiotics, their mechanism of action and future trends was made.

Key words: Probiotics, Prebiotics, Gluten

Introducción

En la actualidad, existe un incremento en la demanda de alimentos que además de nutrir aporten beneficios para la salud del consumidor (Siegrist y col., 2015). Por lo que la industria ha desarrollado alimentos funcionales para prevenir y coadyuvar en el tratamiento de enfermedades (Nystrand y Olsen, 2019). Dado que contienen proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas, minerales, y compuestos bioactivos que otorgan un beneficio para la salud a dosis adecuadas (Plasek y Temesi, 2019).

Por otro lado, las enfermedades inflamatorias intestinales relacionadas con el consumo de alimentos tales como: intolerancia a la lactosa, síndrome de colon irritable, colitis, entre otras y las condiciones patológicas relacionadas con la ingesta de gluten se han incrementado. El gluten está compuesto por proteínas que se encuentran en varios cereales como el trigo, centeno y cebada (Rosell y col., 2014). Entre los padecimientos principales relacionados al gluten están: sensibilidad, alergia y la enfermedad celíaca. Actualmente, no existe tratamiento para tratar estas enfermedades, por lo que se recomienda que los pacientes eviten el consumo de alimentos que contengan este ingrediente (Reig-Otero y col., 2017). Actualmente la población en la mayoría de los casos, tiene dietas deficientes en nutrientes, presentando constantes episodios de inflamación intestinal, y afectando su microbiota (Jiménez y col., 2016). Como consecuencia, el mercado de productos libres de gluten tiene como principal reto integrar cereales que carezcan de gluten para la elaboración de productos con características organolépticas agradables, ya que el gluten es usado frecuentemente a nivel tecnológico por las propiedades de elasticidad y estructura que proporciona (Gallagher y col., 2004).

Por otra parte, se conoce que la microbiota intestinal tiene un papel importante en la salud, ya que está formada por microorganismos capaces de metabolizar nutrientes lo que da lugar a la síntesis de componentes benéficos,

estableciendo así una relación simbiótica con el ser humano. Sin embargo, para que la microbiota mantenga su funcionalidad requiere de sustancias (prebióticos) que mejoren su desarrollo (Quigley, 2019). Los fructanos de agave son moléculas formadas por fructooligosacáridos considerados como prebióticos por ser carbohidratos no digeribles y brindan beneficios nutricionales, tróficos y antiinflamatorios sobre el epitelio intestinal (Mellado y López, 2012). Por lo tanto, su inclusión en el desarrollo de alimentos brinda beneficios a la salud del consumidor. Por lo que este manuscrito se enfocó en un estudio bibliográfico sobre el efecto que produce el consumo de alimentos funcionales que contienen prebióticos y probióticos en la salud humana.

1. Alimento funcional (AF)

Los alimentos funcionales se describen como alimentos naturales o procesados que contienen compuestos biológicamente activos; los cuales en cantidades específicas (efectivas y no tóxicas) otorgan un beneficio al consumidor probado clínicamente utilizado para la prevención o dentro del tratamiento de alguna enfermedad crónica y sus síntomas (Gur y col., 2018). Los ingredientes responsables de este efecto pueden estar presentes de forma natural en el alimento o haber sido adicionados durante el procesamiento del mismo (prebióticos, probióticos, antioxidantes, ácidos grasos poliinsaturados, fitoesteroles, fitoestrógenos, polifenoles, carotenos, licopenos, entre otros) (Biesalski y col., 2011).

En los últimos años se ha promovido el consumo de AF, dando lugar a un aumento en la demanda de estos, por los beneficios que aportan a la salud (Pringsulaka y col., 2015; Alongi y Anese, 2021) y la industria alimentaria para desarrollar los AF toma en cuenta aspectos tales como:

- Que el alimento a desarrollar sea de consumo frecuente.

- Que el AF contenga componentes biológicamente activos, en concentraciones adecuadas y efectivas durante el proceso de formulación.
- Que el AF tenga tanto valor nutritivo como efectos positivos en la salud, además de que no contenga compuestos antinutricionales.

El uso de probióticos corresponde a organismos vivos, que cuando son administrados a un huésped en cantidades adecuadas le deparan beneficios para la salud según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2006). Por otro lado, los prebióticos como alimentos funcionales son de gran interés por su potencial para modular el bioma intestinal, para reducir las enfermedades relacionadas con procesos inflamatorios, ya que existe un desequilibrio en el bioma intestinal que altera la relación mutualista entre el huésped y sus microorganismos ocasionando una disbiosis intestinal, que es descrita como un desequilibrio entre la cantidad y tipo de microorganismos normales presentes en la microbiota, que puede resultar en afecciones patológicas y clínicas, a mediano y largo plazo (Aranda, 2019).

2. Enfermedades relacionadas con la ingesta de gluten

El gluten es una mezcla de proteínas conocidas como gliadinas y gluteninas. Estas proteínas o sus equivalentes se encuentran en trigo, cebada y centeno, y son de importancia debido a su impacto en el procesamiento de granos y en la manufactura de pan, pasta y fideos, entre otros (Rosell y col., 2014). En los últimos años, se le ha dado mucha importancia al gluten debido al creciente número de pacientes con intolerancia, alergia o sensibilidad al mismo.

Las patologías relacionadas al gluten se clasifican en:

- i) alergia alimentaria; afectando al 0.2 a 0.5 % de la población mundial.
- ii) enfermedad celíaca (EC), definido como un trastorno autoinmune con una prevalencia de 0.1 a 1.6 % a nivel mundial

- iii) sensibilidad al gluten, con una incidencia aproximada del 6 % para la población de EE. UU. (Sapone y col., 2011; Comino y col., 2011).

Actualmente el tratamiento más efectivo para estos padecimientos se basa en una dieta libre de gluten, por lo que se necesitan desarrollar alimentos inocuos, nutricionales, con un buen sabor y libres de gluten. No obstante, el desarrollo de estos productos alimenticios es un gran desafío en la tecnología de alimentos (Rosell y col., 2014).

2.1. Alergia alimentaria al gluten del trigo

La alergia alimentaria al trigo está definida como una reacción inmunológica con hipersensibilidad a las proteínas del trigo (no sólo gluten) mediado por la inmunoglobulina E (IgE) y con la liberación de mediadores químicos como histamina. Los síntomas aparecen minutos después de tener contacto con el trigo, presentado diferentes sintomatologías según la vía de exposición: síntomas digestivos (diarrea), respiratorios (rinorrea) y cutáneos (urticaria) (Ortiz y col., 2017; Quirce y col., 2016), estimándose este padecimiento con una prevalencia del 0.1% en la población (Jiménez y col., 2016). Se han asociado los eventos patológicos que ocurren en la infancia con las alteraciones en la microbiota que conducen a una disbiosis de larga duración (Nylund y col., 2016).

Su fisiopatología se basa en la pérdida de tolerancia inmunológica ante antígenos específicos de la dieta, que se refiere a la supresión específica del antígeno durante la respuesta inmune humoral o celular. Una vez que el componente atraviesa la mucosa es reconocido y es presentado por células dendríticas que generan una respuesta en conjunto con los linfocitos T, específicamente las células reguladoras TH2 que comienzan con la producción de citocinas (IL-4, IL-5, e IL-13) para regular los eventos del sistema inmunitario desde

las células efectoras TCD4+. Los linfocitos T son responsables de la inmunidad humoral y celular, del rechazo de injertos, de la destrucción de microorganismos patógenos y de células malignas. Por otro lado, los linfocitos B producen IgE que se unen a los receptores de distintas células como los mastocitos de la piel, la mucosa del tracto gastrointestinal y vías áreas; los prepara para reaccionar ante una reexposición al alérgeno (Ortiz y col., 2017).

2.2. Enfermedad celiaca

La enfermedad celíaca (EC) es un trastorno sistémico mediado por el sistema inmunitario desencadenado por la ingestión de gluten en sujetos genéticamente susceptibles, caracterizado por el desarrollo de auto anticuerpos específicos. Además, es uno de los trastornos metabólicos más comunes (Fasano y Catassi, 2012). El factor genético mejor caracterizado es la presencia de halotipos HLA DQ2 o DQ8. En personas con EC el gluten es digerido parcialmente, a péptidos con residuos de glutamina y prolina, que conforman una de las fracciones proteicas del gluten: gliadina (Ortiz y col., 2017). En el intestino delgado, el gluten interactúa con el epitelio y desencadena la liberación de zonulina, un regulador de las uniones intercelulares (Fasano y Catassi, 2012). Luego, hace contacto con la enzima transglutaminasa (tTG) que los desamina convirtiendo los residuos de glutamina en ácido glutámico. Por lo que aumentan las cargas negativas y genera péptidos muy afines que interactúan con moléculas MHC tipo II HLA-DQ2 expresadas en la superficie de las células presentadoras de antígenos (CPA) sobre la lámina propia intestinal (Ortiz y col., 2017). Esto provoca una mayor permeabilidad y translocación de la gliadina sobre la lámina propia de la mucosa que activa la respuesta inmune, lo que da lugar a un proceso inflamatorio intestinal que aplanan las vellosidades y provoca eventualmente una mala absorción (Nylund y col., 2016).

La prevalencia de EC a nivel mundial fluctúa alrededor de 0.5-1%. Se ha descrito un aumento de incidencia, y en los últimos años se ha duplicado la prevalencia (Catassi y col., 2015). Esto se atribuye a factores ambientales tales como: aumento de consumo de trigo e infecciones al inicio de la vida (Ortiz y col., 2017). El cuadro clínico incluye síntomas digestivos y extradigestivos, y en ocasiones se muestra asintomático. Los síntomas digestivos incluyen diarrea crónica o intermitente, constipación crónica, y vómitos, cabe mencionar que los pacientes con EC, se caracterizan por tener una disbiosis, que se refiere a alteraciones en el microbioma y también una menor diversidad microbiana (Ortiz y col., 2017).

2.3. Intolerancia al gluten

La sensibilidad al gluten no celiaca (SGNC) es un trastorno en el que en la actualidad no se cuentan con suficientes biomarcadores específicos para identificar y diagnosticar esta patología y diferenciarla de otros trastornos gastrointestinales. Diagnosticándose por exclusión de aquellos casos de reacción al gluten en donde se descartan tanto los mecanismos autoinmunes como los alérgicos (Sapone y col., 2011). Estudios actuales muestran que en este trastorno existe un incremento en la permeabilidad intestinal, relacionándolo con una reducción en la barrera epitelial y aparición de enfermedades gastrointestinales (Reig-Otero y col., 2017). El marcador TLR2 es uno de lo más importante ya que juega un papel importante como iniciador de la respuesta inmune innata y se encuentra incrementado en la SGNC, la cual se caracteriza por síntomas intestinales y extraintestinales, entre los síntomas intestinales están: dolor abdominal, gases, diarrea y estreñimiento (Reig-Otero y col., 2017).

2.4. Microbiota

El cuerpo humano alberga una enorme diversidad de bacterias que ejercen funciones tróficas, metabólicas y defensivas, por lo que la microbiota es como un órgano indispensable para el correcto crecimiento corporal, desarrollo de la inmunidad y nutrición. Dado que la microbiota es considerada como el conjunto de microorganismos que coexisten en distintas partes del cuerpo de individuos sanos. Su composición es diversa y especializada, además puede verse modificada por el tipo de alimentos consumidos, de ahí que cada persona tenga una microbiota específica (Manrique y col., 2014).

Las tres funciones primarias de la microbiota intestinal son: i) funciones de nutrición y metabolismo, que incluyen recuperación de energía en forma de ácidos grasos de cadena corta, producción de vitaminas, neurotransmisores y efectos favorables sobre la absorción de calcio y hierro en el colon; ii) funciones de protección, previniendo la invasión de agentes infecciosos y iii) funciones tróficas en la proliferación y diferenciación del epitelio intestinal, y sobre el desarrollo y modulación del sistema inmune (Putta y col., 2018).

2.5. Prebióticos

Los prebióticos son sustratos que al ser metabolizados por algunos géneros de bacterias que componen la microbiota, proporcionan un efecto benéfico al hospedero, estimulando de forma selectiva el crecimiento de bifidobacterias y lactobacillus, además de controlar el crecimiento de bacterias patógenas en el colon (Gibson y col., 2017; Santiago y col., 2017). Los prebióticos son usados para mantener la salud del microbioma o bien restablecer el equilibrio bacteriano (Paulo y col., 2019). En el Cuadro 1 se observan los beneficios del consumo de prebióticos en algunas patologías en específico. Los carbohidratos no digeribles como los

polisacáridos (almidón resistente, pectina y dextrina) y los oligosacáridos como los fructooligosacáridos (FOS), lactulosa, inulina y otros son considerados como componentes con propiedades prebióticas (Colantonio y col., 2019). Estos son fermentados por la microbiota del intestino, produciendo ácidos grasos de cadena corta (AGCC) como propionato, butirato y acetato; la producción de AGCC está relacionada con la función intestinal, absorción de minerales, regulación del metabolismo de lípidos y glucosa, además de reducir el riesgo de desarrollar cáncer de colon (Paulo y col., 2019).

Aparte de los beneficios en la salud humana, los prebióticos tienen aplicaciones tecnológicas en la industria de los alimentos como ingredientes funcionales, ya que pueden ser utilizados como edulcorantes de bajo índice glicémico en el desarrollo de alimentos funcionales, dado que ofrecen un bajo aporte energético, no son cariogénicos, altamente solubles y estables (Ashwini y col., 2019). Cabe mencionar que pueden funcionar como sustitutos de grasa, emulsionantes y texturizadores. En la industria alimentaria se ha realizado la sustitución de grasa por inulina en varios productos, afectando así propiedades reológicas (Guimarães y col., 2018), además se puede ver alterada la percepción de sabor y la textura del alimento (Santiago y col., 2017), debido a que imitan el comportamiento de la grasa al absorber el agua, lubricando y dando una sensación placentera en la boca (Paulo y col., 2019).

Cuadro 1. Efectos del consumo de probióticos y prebióticos sobre algunas patologías.

Probióticos		Prebióticos	
Patología	Efecto	Patología	Efecto
Obesidad	Modula el microbioma intestinal. Reduce el índice de masa corporal y circunferencia de cintura, ayuda en el control de la obesidad y sus	Síndrome metabólico	La producción de AGCC como el butirato inhibe la síntesis de colesterol, el propionato inhibe la síntesis de ácidos grasos en

	comorbilidades (Calderón y Acosta, 2019).		el hígado, y disminuye la secreción de triglicéridos (Paulo y col., 2019).
Síndrome de intestino irritable (SII)	Alivia síntomas como dolor abdominal, hinchazón o distensión abdominal, estreñimiento y hábitos intestinales (Hungin y col., 2018).	Enfermedad Inflamatoria Intestinal (EII)	Incrementa el crecimiento de <i>Lactobacillus</i> y <i>Bifidobacterias</i> , aumentando la producción de AGCC especialmente butirato, que evita la adhesión de bacterias patógenas a la mucosa, disminuye el pH y reduce la aparición de eventos inflamatorios en la enfermedad (Mokhtari y Hekmatdoost, 2019).
Alergias e intolerancias alimentarias	Incrementa la Inmunoglobulina A (IgA), mejorando los síntomas de la alergia (Sánchez-Salguero y col., 2018). En intolerancias alimentarias ayuda a regular el número de microorganismos en la microbiota (Sharma y Bhagatwala, 2019).	Cáncer de colon	Los AGCC inhiben el crecimiento de células tumorales en el colon, ya que el butirato absorbido por los colonocitos, evita la formación de tumores al inducir apoptosis además de proteger al cuerpo de los carcinógenos (Markowiak y Slizewska, 2017).
Enfermedad Celiaca	Efecto protector sobre las células epiteliales contra los péptidos tóxicos derivados de la gliadina. <i>Lactobacillus</i> y de <i>Bifidobacterium</i> pueden mejorar la respuesta inmune celular inespecífica mediante la estimulación de linfocitos T, macrófagos y células natural killer. Aumentando la cantidad de células productoras de citocinas e Inmunoglobulina A (IgA). <i>Lactobacillus</i> , <i>L. alimentarius</i> , <i>L. brevis</i> , <i>L. rhamnosus</i> , <i>L. casei</i> y <i>L. paracasei</i> inhibieron eficazmente la gliadina (Norouzbeigi y col., 2020).	Enfermedad Celiaca	Adición de inulina a productos panificados sin gluten, la absorción de calcio puede aumentar al igual que la de otros ingredientes. (Krishnareddy and Green, 2017).

2.6. Probióticos

Se ha documentado que los probióticos proporcionan una gran cantidad de beneficios a la salud, afectando de manera positiva la microbiota intestinal regulando la cantidad de los mismos y así puedan estimular los mecanismos inmunitarios y no inmunitarios de la mucosa (Valdovinos y col., 2017). Por lo que para proponer un microorganismo como prebiótico se requiere que muestre seguridad, funcionalidad y que permita su uso biotecnológico (Guarner y col., 2012). Además, debe presentar las características que se describen a continuación:

- a) Tienen que ser aislados de humanos sanos, no pueden ser patógenos ni tóxicos y no portar genes transmisibles de resistencia a antibióticos.
- b) Deben de sobrevivir a las condiciones fisiológicas del tracto gastrointestinal y mostrar una adherencia a las superficies epiteliales. Además de presentar una actividad antagonista contra patógenos.
- c) Manejar un número de cepas viables que conduzcan al efecto benéfico, viabilidad durante el procesado, estabilidad en el producto y durante el almacenamiento y contar con evidencia científica de su eficacia en seres humanos.

Para el uso de probióticos se debe tener en cuenta la selección de matrices alimentarias y el potencial sinérgico de los alimentos, así como la aceptabilidad sensorial y la viabilidad del microorganismo dentro de la matriz (Serna-Cock, 2015). Para que un alimento se considere funcional debe contener una cantidad mínima de probióticos de 10^6 CFU/g (Guimaraes y col., 2019). Los probióticos se encuentran principalmente en productos lácteos fermentados y no fermentados, tales como: frutas, vegetales y carne seca. También pueden ser microencapsulados para ser añadidos en alimentos no fermentados, para que puedan soportar las condiciones que la matriz alimentaria brinda, y mantener su viabilidad al paso por el tracto digestivo (Espitia y col., 2016). Así mismo, los probióticos se

han incorporado en recubrimientos, y empaques por sus propiedades antimicrobianas para alargar la vida de anaquel, y mantener la estabilidad del alimento liberando, además, compuestos activos. Los recubrimientos comestibles adicionados con probióticos se han empleado en productos como pan, galletas y frutos (Vieira da Silva y col., 2016).

Existen diferentes mecanismos de interacción entre los probióticos y las células del sistema inmune. Dado que se ha detectado que las bacterias ácido lácticas son captadas por las células M del epitelio intestinal, que permiten la captación y transporte de antígenos desde la luz intestinal hasta la submucosa, y facilitan la estimulación del tejido linfoide. También ocasionan cambios en el ambiente gastrointestinal, como la inducción de un pH por debajo de 4, y producción de AGCC (acetatos, butiratos, etc) (Agudelo, 2016). también, poseen la capacidad de adherirse a enterocitos y colonocitos, lo que afecta el ecosistema intestinal debido al efecto inmunológico, dificultando así la traslocación bacteriana (Tormo, 2006). En el Cuadro 1 se pueden apreciar los efectos del consumo de probióticos en la salud.

2.7. Simbióticos

Un simbiótico se define como aquella mezcla entre microorganismos vivos y sustratos que son aprovechados de manera selectiva por los microorganismos del consumidor, otorgando así un beneficio para el huésped (Cunningham y col., 2021). En el mercado existen productos que contienen probióticos y prebióticos, en donde hay una relación de beneficio mutuo, y se genera un efecto sinérgico (Acker y Cash, 2017). Un alimento simbiótico puede contener en forma natural dentro de su formulación, un componente probiótico o prebiótico. Por otro lado, en el caso de alimentos cuya matriz está constituida principalmente por ingredientes de naturaleza prebiótica, pueden ser complementados con probióticos para obtener el

mismo efecto de simbiosis (Hwang y Lee, 2019). El prebiótico favorece la supervivencia del probiótico, logrando que soporte variaciones en los niveles de oxígeno, pH y temperatura del tracto gastrointestinal (Markowiak y Slizewska, 2017). Además, se ha demostrado que en humanos, el consumo de simbióticos modifica de forma positiva la composición de la microbiota en pacientes con patologías metabólicas, gastrointestinales e infecciones. Estas modificaciones conducen a la modulación inmune intestinal, y la migración de células inmunes en procesos de inflamación (Jirillo y col., 2016).

2.8. Tendencias futuras

Actualmente, existen muchos alimentos que han sido adicionados con alguna sustancia probiótica, prebiótica o ambas. Las tendencias actuales se inclinan a la formulación de alimentos en distintas matrices como cereales, frutas, productos cárnicos, entre otros; con una cantidad viable de las sustancias activas, haciendo uso de la tecnología para permitir que estos compuestos lleguen intactos al consumidor. Además de que se están aprovechando las propiedades tecnológicas que aportan para el desarrollo de nuevos y mejores alimentos (Neffe-Skocińska y col., 2018; Biswal y col., 2017). En el Cuadro 2 se enlistan una serie de aplicaciones sobre la salud y tecnológicas de los probióticos y prebióticos.

Cuadro 2. Aplicaciones sobre la salud y tecnológicas de los probióticos y prebióticos.

Aplicaciones actuales		Aplicaciones a futuro	
Probióticos	Prebióticos	Probióticos	Prebióticos
La microencapsulación se emplea como protección a factores como pH, oxígeno, y luz (Nguyen y col., 2016).	Controlar el desequilibrio de la microbiota intestinal mediante el crecimiento de bacterias beneficiosas (<i>Lactobacillus</i> y <i>Bifidobacterium</i>), aumentando la	Aislamiento y la caracterización de una nueva gama de microorganismos de microbiomas humanos con posibles beneficios para la salud y la oportunidad de	Desarrollo de nuevos compuestos prebióticos: oligosacáridos presentes en la leche; glicanos, presentes en mucinas, levaduras, sustancias no carbohidratos (polifenoles, ácidos grasos, hierbas y otros micronutrientes) (Althubiani y col., 2019).

	producción de AGCC (Gibson y col., 2017).	desarrollarse como probióticos (Veiga y col., 2020).	
Incorporación de los probióticos en empaques y recubrimientos para para alargar la vida de anaquel, y mantener la estabilidad del alimento, evitando el uso de antibióticos (Vieira da Silva y col., 2016).	Mejora de la integridad de la membrana intestinal y absorción de nutrientes (Althubiani y col., 2019).	Fuente de nuevas cepas probióticas como el tracto urogenital femenino, cavidad oral, tracto nasofaríngeo y piel (Maguire and Maguire 2017).	Los residuos alimentarios representan una fuente sostenible de ingredientes bioactivos naturales (Frutas, verduras y cereales contienen prebióticos potenciales) (Monteagudo-Mera y col., 2018).
Modular el microbioma intestinal, dependiendo de la especie y cepa utilizada (Calderón y Acosta, 2019).	Reducción de niveles glucémicos, peso corporal, mejor inmunidad y modulación de biomarcadores metabólicos, cardiovasculares e inflamatorios (Colantonio y col., 2019).	Alimentos fermentados como frutas, verduras, granos / cereales, productos lácteos, cárnicos, pescados y miel (Espitia y col., 2016).	Los nuevos compuestos prebióticos pueden modificarse química o estructuralmente mediante la aplicación de tratamientos con el fin de modificar la funcionalidad (Lam and Cheung, 2019).
La microbiota intestinal esta relacionada con la patogenia y la progresión de la lesión hepática en pacientes con síndrome metabólico y en la enfermedad de hígado graso no alcohólico (Meroni y col., 2019).	Mejora en la intolerancia a la glucosa y resistencia a la insulina (Ahmadi y col., 2019).		Uso de prebióticos para afectar otros microbiomas dentro del huésped, como el tracto urogenital femenino, la cavidad oral y la piel (Cunningham y col., 2021).
Fermentación de alimentos para otorgar un sabor y textura agradables para el consumidor (Blana y col., 2014).	Influyen en el metabolismo y la obesidad, regulando la expresión de hormonas anoréxicas y disminuyen los niveles de hormonas orogénicas (Kao, Burnet, y Lennox 2018).		La capacidad de los prebióticos para controlar el desarrollo de patógenos virales (Enam, and Mansell 2019).
	Utilizados como sustitutos de grasa y edulcorantes en los alimentos (Santiago y col., 2017; Eswaran y col., 2017).		

Se estima que la investigación estará inclinada a tratamientos personalizados en la sintomatología y estados patológicos del consumidor, además de que deben ser compatibles con la dieta, estilo de vida, demografía y factores genéticos. Actualmente se busca identificar nuevas especies probióticas y fuentes de componentes prebióticos, por lo que faltarían pruebas para identificar el efecto específico sobre alguna patología (O'Toole y col., 2017, Brodmann y col., 2017; Kashyap y col., 2017). El desarrollo de nuevos alimentos con propiedades funcionales seguirá en constante innovación gracias a la búsqueda de la combinación perfecta entre mezclas de probióticos y prebióticos (simbiosis) para generar un efecto benéfico sobre el consumidor (Cunningham y col., 2021).

Conclusiones

En la actualidad, la prevalencia de enfermedades relacionadas a la ingesta de gluten ha propiciado el desarrollo de productos funcionales, que puedan atenuar los síntomas de dichas patologías. Se ha vinculado el consumo de alimentos con probióticos y prebióticos con una mejoría en el proceso de diversos padecimientos, por lo que la industria alimentaria busca generar nuevas y mejores estrategias para poder integrar estos componentes en la alimentación. Además de buscar diferentes aplicaciones, no solo en población con enfermedades relacionadas al sistema gastrointestinal. Las propiedades de los probióticos y prebióticos, han permitido el desarrollo de alimentos con una mejor calidad nutrimental, aparte de los beneficios en la salud del consumidor. Todavía se necesitan realizar más investigaciones para poder determinar nuevas cepas probióticas y el efecto específico que tienen, identificar nuevas fuentes prebióticas y establecer cuáles son las mejores combinaciones, entre los componentes simbióticos añadidos en cada alimento. Asimismo, se deben de buscar mejores técnicas para la incorporación de compuestos probióticos y prebióticos, en matrices alimenticias para una óptima viabilidad de los elementos mencionados, asegurando que sus beneficios sean

aprovechados por el organismo, además de potenciar las características sensoriales y nutrimentales en el alimento.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

SNCG agradece el apoyo económico del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACyT) para realizar sus estudios de postgrado. Este estudio fue financiado por la Universidad Autónoma de Coahuila.

Referencias

1. Acker, B. W., Cash, B. D. (2017). Medicinal foods for functional GI disorders. *Current Gastroenterology Reports*. 19,62: 1-8.
2. Agudelo Ochoa G.M., Giraldo Giraldo N.A., Barrera Causil C.J., Valdés Duque B.E. (2016). Microbiota intestinal y ácidos grasos de cadena corta en pacientes críticos. *Perspectivas en Nutrición Humana*. 18: 205-222.
3. Ahmadi, S., Nagpal, R., Wang, S., Gagliano, J., Kitzman, D. W., Soleimanian-Zad, S. (2019). Prebiotics from acorn and sago prevent high-fat diet-induced insulin resistance via microbiome-gut-brain axis modulation. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 67: 1-13.
4. Alongi M & Anese M. (2021). Re-thinking functional food development through a holistic approach. *Journal of functional foods*. 81, 104466: 1-13.
5. Althubiani, A. S., Al-Ghamdi, S. B., Samreen, Qais, F. A., Khan, M. S., & Malak, H. A. (2019). Plant-derived prebiotics and its health benefits. *New Look to Phytomedicine*, 4: 63–88.
6. Aranda Díaz A., Ng K.M., Tropini C., Frankel M.R., Treunen W.V., O’Laughlin C.T., Merrill B.D., Yu F.B., Pruss K.M., Olivera R.A., Higginbottom S.K.,

Neff N.F., Fischbach M.A., Huang K.C. (2019). Recovery of the gut microbiota after antibiotics depends on host diet, community context, and environmental reservoirs. *Cell Host & Microbe*.26: 650-665.

7. Ashwini, A., Ramya, H. N., Ramkumar, C., Reddy, K. R., Kulkarni, R. V., Abinaya, V., ... Raghu, A. V. (2019). Reactive mechanism and the applications of bioactive prebiotics for human health: Review. *Journal of Microbiological Methods*. 159: 128-137.

8. Biesalski H., Aggett P., Anton R. Bernstein P.S., Blumberg J., Heaney R.P., Henry J., Nolan J. M., Richardson D. P., Ommen B., Witkamp R. F., Rijkers G. T. & Zöllner I. (2011). 26th Honhenhein Consensus Conference, September 11, 2010. Scientific substantiation of health claims: Evidence-based nutrition. *Nutrition*. 27: S1-S20.

9. Biswal, P., Pal, A., Das, A. P. (2017). Current Trends and Future Prospective of Prebiotics as Therapeutic Food. *Microbial Production of Food Ingredients and Additives*. 3: 57–88.

10. Blana, V. A., Grounta, A., Tassou, C. C., Nychas, G.-J. E., Panagou, E. Z. (2014). Inoculated fermentation of green olives with potential probiotic *Lactobacillus pentosus* and *Lactobacillus plantarum* starter cultures isolated from industrially fermented olives. *Food Microbiology*. 38: 208–218.

11. Brodmann, T., Endo A, Gueimonde M., Vinderola G., Kneifel W., M. de Vos W., Salminen S., and Gómez-Gallego C. (2017). Safety of novel microbes for human consumption: practical examples of assessment in the European Union. *Front. Microbiol*. 8: 1-15.

12. Calderón G., Acosta A. (2019). The gastrointestinal system and obesity dietary interventions in gastrointestinal diseases. Watson R. and Preedy V. (Eds.), *Foods, Nutrients, and Dietary Supplements* (pp. 43-62). Elsevier.

13. Catassi C., Gatti S., Lionetti E. (2015). World Perspective and Celiac Disease Epidemiology. *Dig Dis*. 33:141-6.

14. Colantonio, A. G., Werner, S. L., Brown, M. (2019). The effects of prebiotics and substances with prebiotic properties on metabolic and inflammatory biomarkers in individuals with type 2 diabetes mellitus: A systematic review. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 120:4, P587-607.E2.
15. Comino I., Real A., de Lorenzo L., Cornell H., López-Casado M.A., Barro F., Lorite P., Torres M.I., Cebolla A., Sousa, C. (2011). Diversity in oat potential immunogenicity: basis for the selection of oat varieties with no toxicity in coeliac disease. *Gut*. 60: 915-922.
16. Cunningham M., Azcarate-Peril M. A., Barnard A., Benoit V., Grimaldi R., Guyonnet D., Holscher H. D., Hunter K., Manurung S., Obis D., Petrova M. I., Steinert R. E., Swanson K. S., Sinderen D., Vulevic J., Gibson G. R. (2021). Shaping the Future of Probiotics and Prebiotics. *Trends in Microbiology*. 8: 667-685.
17. De Paulo Farias, D., Fernandes de Araújo, F., Neri-Numa, I. A., Pastore, G. M. (2019). Prebiotics: Trends in food, health and technological applications. *Trends in Food Science & Technology*. 93: 23-25.
18. Enam, F. and Mansell, T.J. (2019). Prebiotics: tools to manipulate the gut microbiome and metabolome. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 46: 1445–1459.
19. Espitia, P. J. P., Batista, R. A., Azeredo, H. M. C., Otoni, C. G. (2016). Probiotics and their potential applications in active edible films and coatings. *Food Research International*. 90: 42–52.
20. Eswaran, S., Farida, J. P., Green, J., Miller, J. D., Chey, W. D. (2017). Nutrition in the management of gastrointestinal diseases and disorders: the evidence for the low FODMAP diet. *Current Opinion in Pharmacology*. 37: 151–157.
21. FAO. (2006). Probiotics in food. Health and nutritional properties and guidelines for evaluation. [En línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a0512e/a0512e.pdf> Fecha de consulta: 20 de Junio del 2021.

22. Fasano A. & Catassi C., (2012) Celiac disease. *N Engl J Med.* 367: 2419-2426.
23. Gallagher E., Gormley R. T., & Arendt K. E. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science & Technology.* 15: 143–152.
24. Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J. (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: 491-502.
25. Guarner F, Khan A, Garisch J, Eliakim r, Gangl A, Thomson A. (2012) Guía Práctica de la organización mundial de gastroenterología: Prebióticos y Probióticos. *Gastroenterol. Latinoam.* 23: 206-221.
26. Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Silva, R., Esmerino, E. A., Silva, M. C., Sant’Ana, A. S., Cruz, A. G. (2019). Impact of probiotics and prebiotics on food texture. *Current Opinion in Food Science.* 33: 38-44.
27. Gur J., Mawuntu M. and Martirosyan D.M. (2018). FFC’s advancement of functional food definition. *Functional Foods in Health and Disease,* 8: 385-397
28. Hungin, A. P. S., Mitchell, C. R., Whorwell, P., Mulligan, C., Cole, O., ... Agréus, L. (2018). Systematic review: probiotics in the management of lower gastrointestinal symptoms - an updated evidence-based international consensus. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics.* 47: 1054–1070.
29. Hwang H.W., Lee D.W. (2019). Prebiotics: An overview of current researches and industrial applications. *Food Science and Industry.* 52: 241-260.
30. Jiménez Ortega A.I., Martínez García R.M., Quiles Blanco M.J., Majid Abu Naji J.A. y González Iglesias M.J. (2016). Enfermedad celíaca y nuevas patologías relacionadas con el gluten. *Nutrición Hospitalaria.* 33: 44-48.
31. Jirillo, F., Jirillo, E., Magrone, T. (2016). Synbiotics and the immune system. *Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics.* 30: 449–458.

32. Kao, A. C.-C., Burnet, P. W. J., Lennox, B. R. (2018). Can prebiotics assist in the management of cognition and weight gain in schizophrenia? *Psychoneuroendocrinology*. 95: 179–185.
33. Kashyap, P. C., Chia, N., Nelson, H., Segal, E., Elinav, E. (2017). Microbiome at the Frontier of Personalized Medicine. *Mayo Clinic Proceedings*. 92: 1855–1864.
34. Krishnareddy S. and Green. P.H.R. (2017). Celiac disease, the microbiome, and probiotics. *The microbiota in gastrointestinal pathophysiology*. 39: 365-371.
35. Lam, K.L. and Cheung, P.C. (2019). Carbohydrate-based prebiotics in targeted modulation of gut microbiome. *J. Agric. Food Chem*. 67: 12335–12340.
36. Maguire, M. and Maguire, G. (2017). The role of microbiota, and probiotics and prebiotics in skin health. *Arch. Dermatol. Res*. 309: 411–421.
37. Manrique V. D., Carreras F. L., Ortega A. E., González S. M. (2014) Probióticos: más allá de la salud intestinal. *Nutr Hosp*. 30: s63-s67.
38. Markowiak P., Slizewska K. (2017). Effects of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics on Human Health. *Nutrients*. 9:1-30.
39. Mellado-Mojica, E., & López, M. G. (2012). Fructan metabolism in A. tequilana Weber blue variety along its developmental cycle in the field. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 60: 11704-11713.
40. Meroni, M., Longo, M., & Dongiovanni, P. (2019). The Role of Probiotics in Nonalcoholic Fatty Liver Disease: A New Insight into Therapeutic Strategies. *Nutrients*. 11: 1-24.
41. Mokhtari, Z., Hekmatdoost, A. (2019). Dietary Interventions and Inflammatory Bowel Disease. *Dietary Interventions in Gastrointestinal Diseases*. 3: 33–42.
42. Monteagudo-Mera, A., Chatzifragkou, A., Kosik, O., Gibson, G., Lovegrove, A., Shewry, P. R., & Charalampopoulos, D. (2018). Evaluation of the prebiotic potential of arabinoxylans extracted from wheat distillers' dried grains with solubles

(DDGS) and in-process samples. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 102: 7577–7587.

43. 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*. 3: 65–94.
44. Nguyen, H.-T., Truong, D.-H., Kouhoundé, S., Ly, S., Razafindralambo, H., Delvigne, F. (2016). Biochemical engineering approaches for increasing viability and functionality of probiotic bacteria. *International Journal of Molecular Sciences*. 17, 867: 1-18.
45. Norouzbeigi, S., Vahid-Dastjerdi, L., Yekta, R., Sohrabvandi, S., Zendeboodi, F., & Mortazavian, A. M. (2020). Celiac therapy by administration of probiotics in food products: A review. *Current Opinion in Food Science*. 32: 58-66.
46. Nylund L., Kaukinen K., Lindfors K. (2016). The microbiota as a component of the celiac disease and non-celiac gluten sensitivity. *Clinical Nutrition Experimental*. 6: 17 – 24.
47. Nystrand B.T. and Olsen S.O. (2019). Consumers' attitudes and intentions toward consuming functional foods in Norway. *Food Quality and Preference*. 80, 103827: 1-11.
48. Ortiz C., Valenzuela R., Lucero Y. (2017) Enfermedad celíaca, sensibilidad no celíaca al gluten y alergia al trigo: comparación de patologías diferentes gatilladas por un mismo alimento. *Revista Chilena de Pediatría*. 88: 417-423.
49. O'Toole P.W., Marchesi J.R., Hill C. (2017). Next-generation probiotics: the spectrum from probiotics to live biotherapeutics. *Nat. Microbiol*. 2, 17057: 1-6.
50. Plasek B., Temesi Á. (2019). The credibility of the effects of functional food products and consumers' willingness. *Appetite*. 143, 104398: 1-10.
51. Pringsulaka, O., Rueangyotchanthana, K., Suwannasai, N., Watanapokasin, R., Amnueysit, P., Sunthornthummas, S., ... Rangsiruji, A. (2015). In vitro screening of lactic acid bacteria for multi-strain probiotics. *Livestock Science*. 174: 66–73.

52. Putta, S., Yarla, N. S., Lakkappa, D. B., Imandi, S. B., Malla, R. R., Chaitanya, A. K., ... Aliev, G. (2018). Probiotics: Supplements, food, pharmaceutical industry. *Therapeutic, Probiotic, and Unconventional Foods*. 2: 15–25.
53. Quigley, E. M. M. (2019). Prebiotics and probiotics in digestive health. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*. 17: 333–344.
54. Quirce S., Boyano-Martínez T., Díaz-Perales A. (2016). Clinical presentation, allergens, and management of wheat allergy. *Expert Rev Clin Immunol*. 12: 563-72.
55. Reig-Otero Y., Mañes J., Manyes iFont L. (2017). Sensibilidad al gluten no celiaca (SGNC): manejo nutricional de la enfermedad. *Nutrición clínica y dietética hospitalaria*. 37:171-182.
56. Rosell C. M., Barro F., Sousa C., & Mena M. C. (2014). Cereals for developing gluten free products and analytical tools for gluten detection. *Journal of Cereal Science*, 59: 354-364.
57. Sánchez Salguero E.S., Santos Argumedo L. (2018). La asociación de la microbiota humana con la inmunoglobulina A y su participación en la respuesta inmunológica. *Revista Alergia México. Rev Alerg Mex*. 65: 264-278.
58. Santiago-García, P. A., Mellado-Mojica, E., León-Martínez, F. M., López, M. G. (2017). Evaluation of *Agave angustifolia* fructans as fat replacer in the cookies manufacture. *LWT*. 77: 100–109.
59. Sapone A., Lammers K.M., Casolaro V., Cammarota M., Giuliano, M.T., De Rosa M., Stefanile R., Mazzarella G., Tolone C., Russo M.I. (2011). Divergence of gut permeability and mucosal immune gene expression in two gluten-associated conditions: celiac disease and gluten sensitivity. *BMC Med*. 9, 23: 1-11.
60. Serna-Cock L., Angulo-López J.E., Ayala-Aponte A.A. (2015). Barra de cereal como matriz sólida para la incorporación de microorganismo probióticos. *Información Tecnológica*. 26: 29-40.

61. Sharma, A., Bhagatwala, J. (2019). Food, nutrients, and dietary supplements in management of disorders of gut–brain interaction, formerly functional gastrointestinal disorders. *Dietary Interventions in Gastrointestinal Diseases*. 6: 73–80.
62. Siegrist, M., Shi, J., Giusto, A., & Hartmann, C. (2015). Worlds apart. Consumer acceptance of functional foods and beverages in Germany and China. *Appetite*. 92: 87–93.
63. Tormo C.T. (2006) Probióticos concepto y mecanismo de acción. *An Pediatr*. 4: 30-41.
64. Valdovinos M.A., Montijo E., Abreu A.T., Heller S., González-Garay A., Bacarreza D., Bielsa-Fernández M., Bojórquez-Ramos M.C., Bosques-Padilla F., Burguete-García A.I., Carmona-Sánchez R., Consuelo-Sánchez A., Coss-Adame E., Chávez-Barrera J.A., de Ariño M., Flores-Calderón J., Gómez-Escudero O., González-Huezo M.S., Icaza-Chávez M.E., Larrosa-Haro A., Morales-Arámula M., Murata C., Ramírez-Mayans J.A., Remes-Troche J.M., Rizo-Robles T., Peláez-Luna M., Toro-Monjaraz E.M., Torre A., Urquidi-Rivera M.E., Vázquez R., Yamamoto-Furusho J.K., Guarner F. (2017). Consenso mexicano sobre probióticos en gastroenterología. *Revista de Gastroenterología de México*. 82: 156-178.
65. Veiga, P. Suez J., Derrien M. and Elinav E. (2020). Moving from probiotics to precision probiotics. *Nat. Microbiol*. 5: 878–880.
66. Vieira da Silva, B., Barreira, J. C. M., Oliveira, M. B. P. P. (2016). Natural phytochemicals and probiotics as bioactive ingredients for functional foods: Extraction, biochemistry and protected-delivery technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 50: 144–158.