

Usos y Aplicaciones de Prebióticos en la Industria Alimentaria

Uses and Applications of Prebiotics in the Food Industry

Martínez Nimmerfall, I.P.¹, García Rodríguez, S.R.¹, Wong Paz, J.E.¹, Reyes Munguía, A.¹,
Muñiz Márquez, D.B.^{1*}

¹ Laboratorio de investigación de alimentos. Facultad de Estudios Profesionales Zona Huasteca. Romualdo del Campo, 501,
Rafael Curiel, Ciudad Valles, San Luis Potosí. CP. 79060.

*Autor para correspondencia: diana.marquez@uaslp.mx

Recibido: 30 de mayo de 2024

Aceptado: 23 octubre de 2024

Resumen

Los prebióticos son ingredientes funcionales los cuales otorgan beneficios a la salud del consumidor. Hoy en día, se han encontrado diferentes tipos de prebióticos, con estructuras y propiedades que los caracterizan particularmente, los más aplicados son los FOS, GOS y la inulina. Los prebióticos pueden otorgar diferentes tipos de beneficios, entre ellos aliviar la inflamación intestinal, bajar los niveles de colesterol, además de prevenir enfermedades como la diabetes, el cáncer y desordenes gastrointestinales. Por ello, han sido utilizados en la industria de los alimentos como un ingrediente funcional en distintos tipos de productos, ya que además de los beneficios a la salud del consumidor, éstos también son capaces de modificar positivamente las características fisicoquímicas del alimento, por ello han surgido como una estrategia prometedora en la industria alimentaria que al ser introducidos en la dieta humana por medio de verduras, frutas crudas, o añadidos directamente en alimentos pueden ser favorables para la microbiota intestinal de los consumidores.

Palabras clave: Prebióticos, beneficios, microbiota intestinal, industria alimentaria, alimentos funcionales.

Abstract

Prebiotics are functional ingredients that provide health benefits to the consumer. Nowadays, different types of prebiotics have been found, with structures and properties that characterize them particularly. The most applied are FOS, GOS, and inulin. Prebiotics can provide different benefits, including alleviating intestinal inflammation, lowering cholesterol levels, and preventing diseases such as diabetes, cancer, and gastrointestinal disorders. Therefore, they have been used in the food industry as a functional ingredient in different types of products, since in addition to the health benefits to the consumer, they are also able to modify the physicochemical characteristics of the food positively, so they have emerged as a promising strategy in the food industry that when introduced into the human diet through vegetables, raw fruits, or added directly to food can be favorable for the intestinal microbiota of consumers.

Keywords: Prebiotics, benefits, gut microbiota, food industry, functional food.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha incrementado la demanda social de alimentos saludables, con ellos, el incremento en la búsqueda de componentes funcionales que agreguen un beneficio a la salud mediante la dieta. Entre estos componentes se encuentran los prebióticos, los cuales se definen como ingredientes que no pueden ser hidrolizados por enzimas gastrointestinales y que al mismo tiempo tienen un efecto

beneficioso en la salud del consumidor, al incrementar selectivamente el crecimiento de bacterias en el tracto gastrointestinal (de la rosa *et al.*, 2019). Los prebióticos se encuentran de forma natural en algunos alimentos, como las frutas, verduras, los cereales y otras plantas comestibles que se han reportado con contenido de hidratos de carbono que constituyen prebióticos potenciales (Markowiak & Ślizewska, 2017), algunos ejemplos a mencionar son los tomates, los espárragos, las cebollas, la avena, el trigo, entre otros (Yuan Kun

Lee & Seppo Salminen, 2008), aunque también pueden ser sintetizados por enzimas o microorganismos (Sampaio Paulo *et al.*, 2021), que pertenecen en su mayoría a los siguientes géneros: *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Lactococcus*, *Streptococcus* y *Enterococcus* (Simón, 2005), y tienen el objetivo de promover su proliferación en el tracto intestinal y así proporcionar un beneficio para la salud del huésped (Bhola y Bhadekar, 2024).

Por su gran impacto se evalúa que el mercado mundial de prebióticos en 2018 fue de 3.400 millones de dólares y se espera que alcance 8.340 millones de dólares en 2026 (Colombo Pimentel *et al.*, 2022). Es importante mencionar que los efectos del prebiótico en su adición a alimentos dependen del tipo y la dosis implementada, al igual que la matriz alimentaria y el tipo de consumidor. En los últimos años han sido ampliamente utilizados para la elaboración de productos alimenticios con valor funcional, como sustitutos de comidas, bebidas, lácteos y té (Wang *et al.*, 2022). Este artículo presenta una revisión sobre los usos y aplicaciones de los prebióticos porque es importante analizar la información sobre sus posibles aplicaciones en la industria alimentaria.

PREBIÓTICOS

La definición de prebiótico partió del concepto de probiótico, que en 2001 la definición más amplia fue aceptada y se reafirmó en 2014 (Depeint *et al.*, 2008; FAO & WHO, 2001). El principal objetivo de los prebióticos es mejorar la salud de las personas y son sustratos no viables utilizados como nutrientes por los microorganismos benéficos que se albergan en el huésped (Gibson *et al.*, 2017). En un huésped saludable, la microbiota intestinal tiene la capacidad de metabolizar polisacáridos que el organismo no puede degradar, disminuyendo la inflamación, modulando las respuestas

inmunes e inhibiendo la proliferación de microorganismos patógenos (Liu *et al.*, 2024).

Los prebióticos son definidos como sustratos utilizados selectivamente por los microorganismos del huésped (probióticos) que al ser consumidos confieren un beneficio a la salud (Gibson *et al.*, 2017). Existen varios tipos de prebióticos como por ejemplo; los fructooligosacáridos (FOS), inulina, galactooligosacáridos (GOS), polisacáridos, maltodextrina, estaquiosa, entre otros y en los últimos años ha existido una gran interés hacia los polifenoles como posibles prebióticos, que junto con los ya mencionados pueden tener distintas aplicaciones por sus diversas propiedades fisicoquímicas a los cuales se les puede aplicar diferentes tipos de aplicaciones, ya que cada uno cuenta con diferentes propiedades (Alves-Santos *et al.*, 2020).

BENEFICIOS DE LOS PREBIÓTICOS

Los prebióticos presentan diferentes actividades biológicas como la capacidad de bajar los niveles de triglicéridos, fosfolípidos y colesterol y que contribuyen a la prevención de enfermedades crónico-degenerativas (Muñiz Márquez *et al.*, 2019). A través de la fermentación de los prebióticos se producen ácidos grasos volátiles de cadena corta (AGV) como el ácido butírico, acético y propiónico que tienen como función la disminución del pH de la zona intestinal, limitando el crecimiento de microorganismos patógenos, mantiene la homeostasis de la mucosa intestinal y ejercen propiedades antiinflamatorias (Nabizadeh *et al.*, 2023). Por lo tanto, los prebióticos actúan en la prevención de enfermedades tanto digestivas e intestinales, así como en padecimientos asociados a la alimentación tales como la obesidad, la diabetes, osteoporosis, enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer (Cáceres R., 2020). Existen distintos tipos de prebióticos que aportan un beneficio al huésped de manera concreta al ser ingeridos y así ayudar en la proliferación de las bacterias benéficas denominadas probióticas y por ende generar beneficios en la salud de las personas (Figura 1).

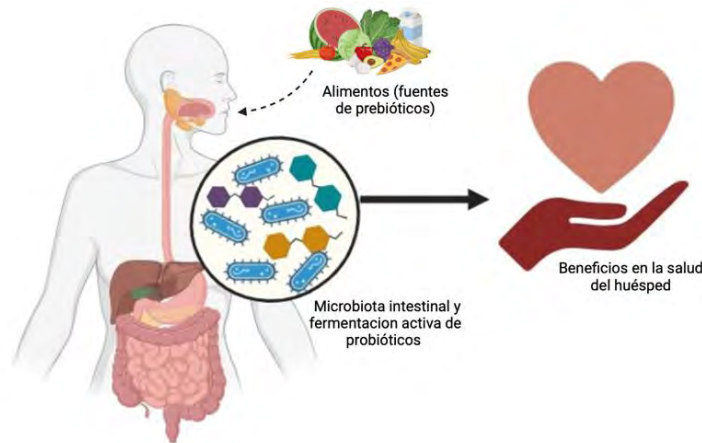


Figura 1. La ingesta de prebióticos promueve la proliferación de probióticos generando beneficio a la salud del huésped

MECANISMOS DE ACCIÓN

Los prebióticos proporcionan la fuente de energía, modulan su composición y la función de la microbiota intestinal (Flint *et al.*, 2007). En su mayoría los prebióticos están en productos naturales, pero una tendencia de la industria alimentaria en los últimos años es la adición de estos en los alimentos con la finalidad de mejorar su valor nutricional y que sean saludables (Markowiak & Ślizewska, 2017). Los prebióticos pueden servir de medio para los probióticos y no son digeridos por las enzimas del huésped y llegan al colon donde son fermentados por bacterias (por ejemplo, del género *lactobacillus* o

bifidobacterium), su consumo impacta en la composición de la microbiota intestinal y a su actividad metabólica (Loo *et al.*, 2005). La estructura de los prebióticos es importante porque determina los efectos fisiológicos que presentara y los microorganismos que puedan utilizarlos como fuente de energía en el intestino (Lee & Salminen, 2009). El mecanismo de acción beneficioso de los prebióticos sigue sin estar claro sin embargo se han propuesto varios modelos posibles (figura 2).

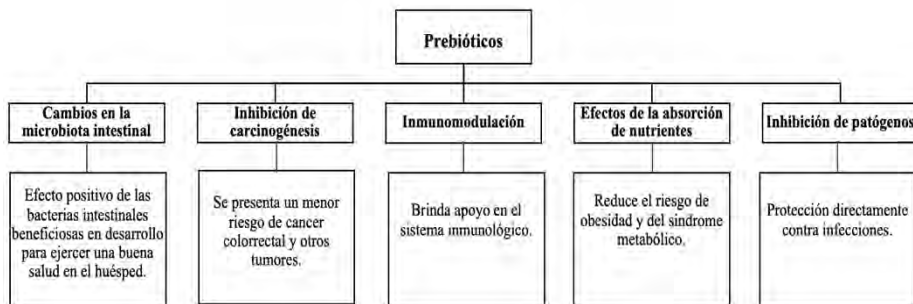


Figura 2. Mecanismos de acción de los prebióticos y sus efectos (Markowiak & Ślizewska, 2017)

TIPOS DE PREBIÓTICOS

Distintos tipos de prebióticos ayudan en estimular el crecimiento de diferentes bacterias intestinales (Markowiak & Ślizewska, 2017) Por razones de eficiencia en la seguridad de los prebióticos, su desarrollo con destino a beneficiar a salud de los consumidores debe tener presente los perfiles individuales de las especies que podrían resultar (Chung *et al.*, 2016). Las verduras, frutas, cereales y otras plantas comestibles son fuentes de carbohidratos (por ejemplo; verduras verdes, legumbres, ajo, cebollas, tomates, plátanos, etc.), algunos son producidos artificialmente (por ejemplo; galactooligosacáridos, fructooligosacáridos, lactulosa, etc.) y se cree que los fructanos, como la inulina y la oligofructosa, son de los más utilizados y eficaces en la relación con muchas especies de prebióticos (Markowiak & Ślizewska, 2017).

Maltodextrina (RMD)

La maltodextrina se considera un almidón resistente de tipo V, que es elaborado por reordenación intencionalmente de las moléculas del almidón, se compone de D-glucosa conectada en cadenas de longitud variable (Astina & Sapwarobol, 2019). Es un prebiótico generalmente reconocido como seguro por sus siglas en inglés (GRAS) (Oluwatosin *et al.*, 2022). Este prebiótico cuenta con propiedades que lo hacen soluble en agua, promueve una baja viscosidad, además de soportar altas temperaturas y bajos niveles de pH además de modular los niveles de glucosa en sangre, reducir los niveles de colesterol, mejora la retención y absorción de minerales (Trithavisup *et al.*, 2022).

Estaquiosa (STA)

La STA es un polímero tetrasacárido dietético conformado por dos residuos alfa-D-galactosil unidos (1 → 6) al residuo D-glucosil de la sacarosa (He *et al.*, 2024). Este prebiótico se encuentra de forma natural en legumbres y se caracteriza por tener propiedades que otros oligosacáridos no poseen, como prevenir el daño hepático, mejora los síntomas de la diabetes y es capaz de reducir los niveles de azúcar en sangre, además de mitigar la colitis, la inflamación intestinal y la diarrea (Zhang *et al.*, 2023). Además, la STA puede mejorar el crecimiento y la vitalidad de bacterias beneficiosas (*Bifidobacterium* y *Lactobacillus acidophilus*) que realizan la función crucial en la regulación de la microbiota intestinal y proporcionar resistencia a los patógenos (Zhong *et al.*, 2018).

Fructanos

Esta clasificación está formada por la inulina (INU) y el fructooligosacárido (FOS) u oligofructosa, su estructura base es una cadena alineada de fructuosa con enlace β (2→1), suelen tener terminales con enlace β (2→1) de glucosa (Davani-Davari *et al.*, 2019). La INU tiene un grado de polimerización de hasta 60, es un polisacárido que se encuentra de forma natural en raíces y rizomas en diferentes tipos de plantas, entre ellas *Achicoria*, *Dalia* y *Alcachofa de Jerusalén* (Akram *et al.*, 2024). Actualmente la INU es utilizada como un ingrediente alimentario funcional actuando como agente estabilizador de espuma, como sustituto de grasa o azúcar y como un modificador de textura (Lin *et al.*, 2024). Por otro lado, los FOS presentan grado de polimerización inferior a 10, son considerados prebióticos bien establecidos, ya que están enlazados con una alta variedad de efectos beneficiosos sobre varias actividades fisiológicas tanto en animales como en humanos. Entre estos efectos beneficiosos se encuentra el incremento de la absorción de calcio, magnesio y hierro; además de reducir la ansiedad y el colesterol (Braga *et al.*, 2022).

Lactulosa

Se caracteriza por ser un disacárido semisintético que se conforma por galactosa y fructosa (4-O- β -d-galactopiranosil-d-fructosa), por sus características puede recrearse mediante la isomerización de la lactosa (galactosa y glucosa), es fermentado principalmente por bacterias que son benéficas como los *lactobacillus* (Karim & Aider, 2022; Masanetz *et al.*, 2011). Es considerado un carbohidrato prebiótico que tiene la capacidad de impulsar la actividad de bacterias que fomentan la salud gastrointestinal, así como inhibir el crecimiento de bacterias patógenas como *Salmonella*, además es empleado en el tratamiento del estreñimiento, encefalopatía hepática, en mantener el nivel de glucosa e insulina adecuado en la sangre y la prevención de tumores (Karim y Aider, 2022).

Galactooligosacáridos (GOS)

Los galactooligosacáridos (GOS) son producto de la extensión de la lactosa, se pueden presentar en dos grupos: I) Exceso de lactosa en C₃, C₄ o C₆ y II) Elaborados a partir de la lactosa por medio de transglucosilación enzimática (Gibson *et al.*, 2010). Son considerados como prebióticos bien establecidos, los cuales se encuentran disponibles como suplemento alimenticio. Tienen la capacidad de disminuir los síntomas gastro intestinales inflamatorios, modular la actividad

de las citoquinas, así como impulsar la función de la barrera intestinal (Holmes *et al.*, 2022).

Otros Oligosacáridos

Se caracterizan por ser carbohidratos de bajo peso molecular, estos pueden ser aislados mediante procesos fisicoquímicos, síntesis química o reacción enzimática de productos naturales. Además de sus características prebióticas estos son capaces de ejecutar actividades antitumorales, antiinflamatorias, hipolipemiantes y antioxidantes (Chen *et al.*, 2024). Están constituidos por carbohidratos que poseen una baja cantidad de monosacáridos, los cuales están unidos por enlaces glicosídicos (Bhola y Bhadekar, 2024).

Entre los oligosacáridos destacan los oligosacáridos de leche humana (HMO) que contienen entre 5 – 15g de oligosacáridos por litro y se han identificado distintos tipos sin embargo el más abundante es un trisacárido conformado por glucosa, galactosa y fucosa y se denominan los componentes más importantes de la leche materna, ya que son capaces de promover el desarrollo del sistema intestinal, nervioso e inmunológico neonatal (Okburan y Kızıler, 2023). Se desconoce la capacidad del tracto gastrointestinal de los adultos para emplear los HMO de acuerdo con las limitadas investigaciones clínicas a la fecha (Jackson *et al.*, 2023).

Otro oligosacárido de gran interés en los últimos años es el Xilooligosacáridos (XOS) porque aportan beneficios para la salud de los consumidores y pueden incorporarse en alimentos, se pueden producir mediante hidrólisis química o enzimática (Santibáñez *et al.*, 2021), realizan diferentes tipos de actividades biológicas, entre ellas, prebióticas, antioxidantes, antiinflamatorias, anticancerígenas y antimicrobianas (Yan *et al.*, 2023) y por último los Isomaltooligosacáridos (IMOS) son polisacáridos de bajo grado con enlaces glucosídicos α -(1 \rightarrow 6) entre los residuos de la glucosa y monosacáridos de 2-5, se encuentran de forma natural en alimentos fermentados (X. Chen *et al.*, 2022). Son utilizados principalmente en el industria alimentaria, cosmética y farmacéutica. Siendo su principal atributo su efecto prebiótico, además de poseer bajo valor calórico, resistencia a la cristalización y un bajo índice glucémico (Rengarajan y Palanivel, 2020).

Posibles prebióticos

Se han realizado investigaciones que presentan a los polifenoles como candidatos a posibles prebióticos debido a su capacidad de proliferar microorganismos probióticos (Liu *et al.*, 2024). Los polifenoles son sustancias químicas, metabolitos

secundarios y los primeros dadores de bioactividad antioxidante de las plantas y son ricos en muchos alimentos vegetales como frutas, verduras, cereales, café y té (J. Chen *et al.*, 2024; Mithul Aravind *et al.*, 2021; Sayers *et al.*, 2021). Cuentan con propiedades beneficiosas para salud como capacidad antioxidante y antiinflamatorias (Bhola y Bhadekar, 2024).

ALIMENTOS PREBIÓTICOS

En los últimos años la adición de los prebióticos en la formulación de alimentos funcionales ha resultado prometedores para contrarrestar problemas relacionados con la salud de los consumidores (Singla & Chakkaravarthi, 2017). Los criterios a tomar en cuenta para su aceptabilidad son el sabor, la textura y la palatabilidad general (Maina, 2018). Por ello, en los estudios recientes se han centrado en mejorar todos estos aspectos para asegurar la calidad que el consumidor requiere pero que al mismo tiempo sea beneficioso para su salud.

Entre los alimentos enriquecidos con prebióticos son en su mayoría complementados con fibras, desde pan y pasta, hasta bebidas, esto permite a los consumidores una mayor aceptabilidad y que puedan incorporarlos en su dieta diaria (Lazou, 2024). Por mencionar algunos de estos alimentos enriquecidos con prebióticos, como por ejemplo Montemurro *et al.*, (2021) reportaron que el pan sin gluten con adición de psilio mejoraba su textura y presentaba efectos beneficios en la microbiota intestinal de personas con enfermedad celíaca. En otro estudio Koleva *et al.*, (2012), informaron que el consumo de FOS e inulina reducen los marcadores de inflamación en el colon, estos se añadieron a un alimento semi-sólido llamado yogurt (Brennan & Tudorica, 2008) y en alimentos a base de granos de cereal como el pan (Miolla *et al.*, 2023), haciendo que sean más accesibles y puedan ser aceptados por los consumidores. Estos son algunos de los alimentos funcionales enriquecidos con prebióticos, sin duda que es un gran campo de investigación para la industria alimentaria en donde se pueden implementar técnicas, formulaciones nuevas, etc. Para cumplir exigencias de con los consumidores ofreciendo alimentos que tengan un beneficio para su salud.

APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

La aplicación de los prebióticos en la industria alimentaria les da un gran potencial funcional para poder dar un beneficio en la salud de los consumidores y así mismo cumplir con las exigencias de calidad e inocuidad, por ello es un tema de gran interés en los últimos años reportando muchas

aplicaciones en alimentos con fuentes de obtención de manera natural y comercial dando un beneficio en su mayoría en la microbiota intestinal con crecimiento de bacterias benéficas como se muestra algunos ejemplos en la tabla 1.

Tabla 1. Alimentos de la industria con potencial prebiótico

Prebiótico	Fuente de obtención	de	Aplicación en alimento	Beneficio a la salud	Referencia
Polisacárido	Fracción derivada del mejillón azul		Alimento nutraceútico	Potencial prebiótico de <i>Bifidobacterium animalis subsp. Lactis</i> , mejoras en la microbiota intestinal	(Adler et al., 2024)
FOS	Comercial		Helado de nieve	Mejora la salud digestiva, estimula la producción de SCFA'S y mejora la estabilidad del alimento	(Soukoulis et al., 2010)
Compuestos fenólicos (prebióticos naturales)	Extracción de plátano verde, moringa y soya	de	Adición en pan con harinas enriquecidas	Aumenta el número de probióticos en intestino y mejora la salud intestinal	(Bonik et al., 2024)
Inulina y maltodextrina	Frutafit (adquiridos en Hardline Nutrition)	HD en	Aplicación en queso Lor por secado al vacío	Produce <i>Lactobacillus acidophilus</i> , beneficiando la microbiota intestinal	(Kaan et al., 2024)
INU, XOS, GOS, STA	Comerciales proporcionados por Zhejiang Yano Biotech Company		Bebida fermentada Suancai	Efectos positivos en la microbiota para mejorar la salud	(Zhao et al., 2024)
Ácido ferúlico combinado con arabinosilano	Obtenidos de manera comercial	de	Aplicación en cereales integrales	Aumentó la abundancia de <i>Bifidobacterium</i> , <i>Faecalibaculum</i> y <i>Akkermansia</i>	(Fang et al., 2024)
β -glucano	A partir de <i>Aureobasidium thailandense</i> NRRL 58543	de	Aditivo alimentario funcional en gominolas	Crecimiento de <i>L. casei</i> y <i>L. Brevis</i> y efecto benéfico en la microbiota intestinal	(Kayanna et al., 2022)

CONCLUSIÓN

El estudio de los prebióticos proporciona información adecuada para poder implementarlos en la elaboración de alimentos funcionales en la industria alimentaria debido a la variedad de beneficios a la salud que aportan al huésped, son relevantes por sus propiedades preventivas sobre enfermedades

como la diabetes, cáncer, diarrea, inflamación, niveles de colesterol y azúcar en sangre; así mismo por sus propiedades fisicoquímicas que son beneficiosas para la estabilidad del alimento. Por ello es importante continuar con el estudio de compuestos prebióticos y posibles candidatos para ampliar sus aplicaciones en la industria alimentaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adler, I., Kotta, J., Robal, M., Humayun, S., Vene, K., & Tuvikene, R. (2024). Valorization of Baltic Sea farmed blue mussels: Chemical profiling and prebiotic potential for nutraceutical and functional food development. *Food Chemistry*, *X*, *23*, 101736. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2024.101736>
- Alves-Santos, A. M., Sugizaki, C. S. A., Lima, G. C., & Naves, M. M. V. (2020). Prebiotic effect of dietary polyphenols: A systematic review. En *Journal of Functional Foods* (Vol. *74*). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104169>
- Akram, W., Pandey, V., Sharma, R., Joshi, R., Mishraa, N., Garudc, N., & Haider, T. (2024). Inulin: Unveiling its potential as a multifaceted biopolymer in prebiotics, drug delivery, and therapeutics. *International Journal of Biological Macromolecules*, *259*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.129131>
- Astina, J., & Sapwarobol, S. (2019). Resistant Maltodextrin and Metabolic Syndrome: A Review. *Journal of the American College of Nutrition*, *38*(4), 380–385. <https://doi.org/10.1080/07315724.2018.1523028>
- Bhola, J., & Bhadekar, r. (2024). Prebiotic effect of daily dietary polyphenols and oligosaccharides on lactobacillus species. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, *31*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2024.100407>
- Bonik, S. K., Tamanna, S. T., Happy, T. A., Haque, M. N., Islam, S., & Faruque, M. O. (2024). Formulation and evaluation of cereal-based breads fortified with natural prebiotics from green banana, moringa leaves powder and soya powder. *Applied Food Research*, *4*(1), 100377. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2023.100377>
- Braga, A., Gomes, D., Amorim, C., Silvério, S. C., Alves, J., Rainha, J., . . . Rodrigues, L. R. (2022). One-step production of a novel prebiotic mixture using *Zymomonas mobilis* ZM4. *Biochemical Engineering Journal*, *183*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bej.2022.108443>
- Brennan, C. S., & Tudorica, C. M. (2008). Carbohydrate-based fat replacers in the modification of the rheological, textural and sensory quality of yoghurt: Comparative study of the utilization of barley beta-glucan, guar gum and inulin. *International Journal of Food Science and Technology*, *43*(5), 824–833. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2007.01522.X/ABSTRACT>
- Cáceres R., P. (2020). PROBIÓTICOS Y PREBIÓTICOS EN LÁCTEOS Y SU RELACIÓN CON LA SALUD. En R. Valenzuela (Ed.), *Lácteos nutrición y salud*. https://consorciolechero.cl/libro-capitulo/LNS_SI_C7%20Probi%C3%B3ticos%20y%20prebi%C3%B3ticos.pdf
- Chen, J., Chen, X., Zhang, Y., Feng, Z., Zhu, K., Xu, F., & Gu, C. (2024). Bioactivity and influence on colonic microbiota of polyphenols from noni (*Morinda citrifolia* L.) fruit under simulated gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, *X*, *21*. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101076>
- Chen, X., Li, S., Lin, C., Zhang, Z., Liu, X., Wang, C., Chen, J., Yang, B., Yuan, J., & Zhang, Z. (2022). Isomaltooligosaccharides inhibit early colorectal carcinogenesis in a 1,2-dimethylhydrazine-induced rat model. *Frontiers in Nutrition*, *9*. <https://doi.org/10.3389/FNUT.2022.995126/FULL>
- Chung, W. S. F., Walker, A. W., Louis, P., Parkhill, J., Vermeiren, J., Bosscher, D., Duncan, S. H., & Flint, H. J. (2016). Modulation of the human gut microbiota by dietary fibres occurs at the species level. *BMC biology*, *14*(1). <https://doi.org/10.1186/S12915-015-0224-3>
- Colombo Pimentel, T., Torres de Assis, B. B., Rocha, C. d., Aparecida Marcolino, V., Rosset, M., & Magnani, M. (2022). Prebiotics in non-dairy products: Technological and physiological functionality, challenges, and perspectives. *Food Bioscience*, *46*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101585>
- Davani-Davari, D., Negahdaripour, M., Karimzadeh, I., Seifan, M., Mohkam, M., Masoumi, S. J., Berenjian, A., & Ghasemi, Y. (2019). *Prebiotics: Definition, Types, Sources, Mechanisms, and Clinical Applications*. <https://doi.org/10.3390/foods8030092>

- De la rosa, O., Flores Gallegos, A. C., Muñiz Marquez, D., Nobre, C., Contreras Esquivel, J. C., & Aguilar, C. N. (1 de 09 de 2019). Fructooligosaccharides production from agro-wastes as alternative low-cost source. (Elsevier, Ed.) *Trends in Food Science & Technology*, *91*, 139-146. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.06.013>
- Depeint, F., Tzortzis, G., Vulevic, J., I'Anson, K., & Gibson, G. R. (2008). Prebiotic evaluation of a novel galactooligosaccharide mixture produced by the enzymatic activity of *Bifidobacterium bifidum* NCIMB 41171, in healthy humans: a randomized, double-blind, crossover, placebo-controlled intervention study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *87*(3), 785-791. <https://doi.org/10.1093/AJCN/87.3.785>
- Fang, W., Peng, W., Qi, W., Zhang, J., Song, G., Pang, S., & Wang, Y. (2024). Ferulic acid combined with different dietary fibers improve glucose metabolism and intestinal barrier function by regulating gut microbiota in high-fat diet-fed mice. *Journal of Functional Foods*, *112*, 105919. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2023.105919>
- FAO, & WHO. (2001). *Health and Nutrition Properties of Probiotics in Food including Powder Milk with Live Lactic Acid Bacteria*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/382476b3-4d54-4175-803f-2f26f3526256/content>
- Flint, H. J., Duncan, S. H., Scott, K. P., & Louis, P. (2007). Interactions and competition within the microbial community of the human colon: links between diet and health. *Environmental microbiology*, *9*(5), 1101-1111. <https://doi.org/10.1111/J.1462-2920.2007.01281.X>
- 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. En *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology* (Vol. 14, Número 8, pp. 491-502). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>
- Gibson, G. R., Scott, K. P., Rastall, R. A., Tuohy, K. M., Hotchkiss, A., Dubert-Ferrandon, A., Gareau, M., Murphy, E. F., Saulnier, D., Loh, G., Macfarlane, S., Delzenne, N., Ringel, Y., Kozianowski, G., Dickmann, R., Lenoir-Wijnkoop, I., Walker, C., & Buddington, R. (2010). Dietary prebiotics: current status and new definition. *Food Science & Technology Bulletin: Functional Foods*, *7*(1), 1-19. <https://doi.org/10.1616/1476-2137.15880>
- He, N., Wang, H., Yu, S., Chen, K., Wu, Z., Lin, X., Xiao, L., Zou, Y., & Li, S. (2024). Stachyose ameliorates obesity-related metabolic syndrome via improving intestinal barrier function and remodeling gut microbiota. *Journal of Functional Foods*, *115*, 106106. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2024.106106>
- Holmes, Z. C., Tang, H., Xiao Liu, C., arbusto, a., Neubert, B. C., Jiao, Y., . . . Sung, A. D. (2022). Prebiotic galactooligosaccharides interact with mouse gut microbiota to attenuate acute graft-versus-host disease. *Blood*, *140*(21), 2300-2304. <https://doi.org/https://doi.org/10.1182/blood.2021015178>
- Jackson, P. P., Wijeyesekera, A., Williams, C. M., Theis, S., Harsselaar, J. v., & Rastall, R. A. (2023). Inulin-type fructans and 2'fucosyllactose alter both microbial composition and appear to alleviate stress-induced mood state in a working population compared to placebo (maltodextrin): the EFFICAD Trial, a randomized, controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *118*, 938-955. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ajcnut.2023.08.016>
- Kaan, I., Tuna, O., Tepe, A., Ergin Zeren, F., & Küçükçetin, A. (2024). Effect of drying temperatures and using prebiotics on the physicochemical and microbiological properties as well as consumer acceptance of probiotic-enriched Lor cheese snacks produced by vacuum drying. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, *36*, 100929. <https://doi.org/10.1016/J.IJGFS.2024.100929>
- Karim, A., & Aider, M. (2022). Production of prebiotic lactulose through isomerization of lactose as a part of integrated approach through whey and whey permeate complete valorization: A review. *International Dairy Journal*, *126*, 105249. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2021.105249>
- Kayanna, N., Suppavorasatit, I., Bankeeree, W., Lotrakul, P., Punnapayak, H., & Prasongsuk, S. (2022). Production of prebiotic aubasidan-like β -glucan from *Aureobasidium*

- thailandense NRRL 58543 and its potential as a functional food additive in gummy jelly. *LWT*, 163, 113617. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2022.113617>
- Koleva, P. T., Valcheva, R. S., Sun, X., Gänzle, M. G., & Dieleman, L. A. (2012). Inulin and fructo-oligosaccharides have divergent effects on colitis and commensal microbiota in HLA-B27 transgenic rats. *The British journal of nutrition*, 108(9), 1633–1643. <https://doi.org/10.1017/S0007114511007203>
- Lazou, A. E. (2024). Food extrusion: An advanced process for innovation and novel product development. *Critical reviews in food science and nutrition*, 64(14), 4532–4560. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2143474>
- Lee, Y. K. ., & Salminen, Seppo. (2009). *Handbook of probiotics and prebiotics*. 596. [https://www.wiley.com/en-
jp/Handbook+of+Probiotics+and+Prebiotics%2C+2nd+
Edition-p-9780470135440](https://www.wiley.com/en-
jp/Handbook+of+Probiotics+and+Prebiotics%2C+2nd+
Edition-p-9780470135440)
- Liu, X., Hu, K. K., & Haritos , V. S. (2024). Enzymatic production of cello-oligosaccharides with potential human prebiotic activity and release of polyphenols from grape marc. *Food Chemistry*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137562>
- Liu, X., Su, S., Yao, J., Xinyu, Z., Wu, Z., Jia, L., . . . Liu, L. (2024). Research advance about plant polysaccharide prebiotics, benefit for probiotics on gut homeostasis modulation. *Food Bioscience*, 59. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103831>
- Loo, J. Van, Clune, Y., Bennett, M., & Collins, J. K. (2005). The SYNCAN project: goals, set-up, first results and settings of the human intervention study. *The British journal of nutrition*, 93 Suppl 1(S1), S91–S98. <https://doi.org/10.1079/BJN20041353>
- Markowiak, P., & Ślizewska, K. (2017). Effects of probiotics, prebiotics, and Synbiotics on human health. En *Nutrients* (Vol. 9, Número 9). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu9091021>
- Masanetz, S., Preißinger, W., Meyer, H. H. D., & Pfaffl, M. W. (2011). Effects of the prebiotic’s inulin and lactulose on intestinal immunology and hematology of prerinant calves. *Animal*, 5(7), 1099–1106. <https://doi.org/10.1017/S1751731110002521>
- Miolla, R., Ottomano Palmisano, G., Roma, R., Caponio, F., Difonzo, G., & De Boni, A. (2023). Functional Foods Acceptability: A Consumers’ Survey on Bread Enriched with Oenological By-Products. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/FOODS12102014>
- Mithul Aravind, S., Wichienchot, S., Tsao, R., Ramakrishnan, S., & Chakkaravarthi, S. (2021). Role of dietary polyphenols on gut microbiota, their metabolites and health benefits. En *Food Research International* (Vol. 142). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110189>
- Montemurro, M., Pontonio, E., & Rizzello, C. G. (2021). Design of a “Clean-Label” Gluten-Free Bread to Meet Consumers Demand. *Foods 2021, Vol. 10, Page 462, 10(2)*, 462. <https://doi.org/10.3390/FOODS10020462>
- Muñiz Márquez, D. B., Teixeira, J. A., Mussatto, S. I., Contreras Esquivel, J. C., Rodriguez Herrera, R., & Aguilar, C. N. (1 de 03 de 2019). Fructo-oligosaccharides (FOS) production by fungal submerged culture using aguamiel as a low-cost by-product. (A. Press, Ed.) *Lwt*, 102, 75-79. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.020>
- Nabizadeh, E., Sadeghi, J., Rezaee, M. A., Hamishehkar, H., Hasani, A., Kafil, H. S., Sharifi, Y., Asnaashari, S., Kadkhoda, H., & Ghotaslou, R. (2023). The profile of key gut microbiota members and short-chain fatty acids in patients with sepsis. *Heliyon*, 9(7), e17880. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E17880>
- Okburan, G., & Kıziler, S. (2023). Human milk oligosaccharides as prebiotics. *Pediatrics & Neonatology*, 64, 231-238. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pedneo.2022.09.017>
- Oluwatosin, S. O., Tai, S. L., & Fagan Endres, M. A. (2022). Sucrose, maltodextrin and inulin efficacy as cryoprotectant, preservative and prebiotic – towards a freeze dried *Lactobacillus plantarum* topical probiotic. *Biotechnology Reports*, 33. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.btre.2021.e00696>

- Rengarajan, S., & Palanivel, R. (2020). High purity prebiotic isomalto-oligosaccharides production by cell associated transglucosidase of isolated strain *Debaryomyces hansenii* SCY204 and selective fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* SYI065. *Process Biochemistry*, 98, 93-105. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.07.024>
- Sampaio Paulo, A. F., Baú, T. R., Iouko Ida, E., & Ayumi Shirai, M. (2021). Edible coatings and films with incorporation of prebiotics —A review. *Food Research International*, 148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110629>
- Santibáñez, L., Henríquez, C., Corro-Tejeda, R., Bernal, S., Armijo, B., & Salazar, O. (2021). Xylooligosaccharides from lignocellulosic biomass: A comprehensive review. *Carbohydrate Polymers*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117118>
- Sayers, B., Wijeyesekera, A., & Gibson, G. (2021). Exploring the potential of prebiotic and polyphenol-based dietary interventions for the alleviation of cognitive and gastrointestinal perturbations associated with military specific stressors. En *Journal of Functional Foods* (Vol. 87). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104753>
- Simon, O. (2005). *Micro-Organisms as Feed Additives-Probiotics*. 16.
- Singla, V., & Chakkaravarthi, S. (2017). Applications of prebiotics in food industry: A review. En *Food Science and Technology International* (Vol. 23, Número 8, pp. 649–667). SAGE Publications Inc. <https://doi.org/10.1177/1082013217721769>
- Soukoulis, C., Rontogianni, E., & Tzia, C. (2010). Contribution of thermal, rheological and physical measurements to the determination of sensorially perceived quality of ice cream containing bulk sweeteners. *Journal of Food Engineering*, 100(4), 634–641. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2010.05.012>
- Trithavisup, K., Shi, Y. C., Krusong, K., & Tananuwong, K. (2022). Molecular structure and properties of cassava-based resistant maltodextrins. *Food Chemistry*, 369. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130876>
- Wang, M., Zhang, Z., Sun, H., He, S., Liu, S., Zhang, T., . . . Ma, G. (2022). Research progress of anthocyanin prebiotic activity: A review. *Phytomedicine*, 102. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.phymed.2022.154145>
- Wanjiru Maina, J., & Juliana Wanjiru Maina Murang, C. (2018). Analysis of the factors that determine food acceptability. *The Pharma Innovation Journal*, 7(5), 253–257. <https://www.thepharmajournal.com/archives/?year=2018&vol=7&issue=5&ArticleId=2049>
- Yan, B., Gu, Y., Huang, C., Lai, C., Ling, Z., & Yong, Q. (2023). Preparing xylooligosaccharides from paper mulberry branches as a promising prebiotic candidate for in vitro regulation of intestinal microbiota in colitis. *Industrial Crops and Products*, 205. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117521>
- Yuan Kun Lee, & Seppo Salminen. (2008). Facts and functions of prebiotics, probiotics and Synbiotics. En *Handbook of Probiotics and Prebiotics* (Vol. 1, pp. 535–582). Nutrition News. <http://www.innvista.com/health/nutrition/biotics/synbiot.htm>
- Zhang, G. y., Sun, C., Song, J. r., Jin, W. y., Tang, Y., Zhou, D. y., & Song, L. (2023). Glycation of whey protein isolate and stachyose modulates their in vitro digestibility: Promising prebiotics as functional ingredients. *Food Bioscience*, 52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102379>
- Zhao, M., Cao, X., Wu, Y., Zou, S., Li, Z., Lin, X., Ji, C., Dong, L., Zhang, S., Yu, C., & Liang, H. (2024). Effects of prebiotics on the fermentation of traditional suancai of Northeast China. *Food Science and Human Wellness*, 13(3), 1358–1367. <https://doi.org/10.26599/FSHW.2022.9250114>
- Zhong, X. F., Zhang, Y. B., Huang, G. D., Ouyang, Y. Z., Liao, D. J., Peng, J. W., & Huang, W. Z. (2018). Proteomic analysis of stachyose contribution to the growth of *Lactobacillus acidophilus* CICC22162. *Food & function*, 9(5), 2979–2988. <https://doi.org/10.1039/C8FO00528A>