



# Posbióticos de bacterias ácido lácticas

y su uso potencial en alimentos funcionales

---

V. E. Vera-Santander\* y M. T. Jiménez-Munguía

\*Programa de Doctorado en Ciencia de Alimentos  
Correos electrónicos: [victor.verasr@udlap.mx](mailto:victor.verasr@udlap.mx) • [mariat.jimenez@udlap.mx](mailto:mariat.jimenez@udlap.mx)

## RESUMEN

**R**ecientes estudios han demostrado que la viabilidad bacteriana no es indispensable para obtener algunos beneficios en la salud conferidos por las bacterias consideradas probióticos. Dentro de esta evidencia ha surgido el término «posbiótico», refiriéndose a los metabolitos producidos por dichas bacterias, cuyo consumo puede aportar beneficios a la salud del consumidor. Se ha estudiado una gran variedad de posbióticos provenientes de microorganismos probióticos, entre los cuales se incluyen algunas bacterias ácido lácticas (BAL). Adicionalmente, se ha investigado el proceso de obtención de los posbióticos con el propósito de llevarlo a una escala industrial. El uso de posbióticos en los alimentos tiene ventajas tecnológicas con respecto a los probióticos, por lo que pueden ser ingredientes potenciales para el desarrollo de alimentos funcionales. El objetivo del artículo es proporcionar una compilación sobre los posbióticos desde su definición, los tipos que existen, sus beneficios a la salud, el proceso de obtención (producción, inactivación bacteriana, técnicas de extracción, métodos de concentración y métodos analíticos para su identificación), y sus posibles aplicaciones en los alimentos.

**Palabras clave:** posbióticos, probióticos, BAL y alimentos funcionales.

## ABSTRACT

Recent studies have shown that bacterial viability is not indispensable to obtain some benefits from bacteria considered as probiotics. Within this evidence, the term «postbiotic» has emerged, referring to the metabolites produced by these bacteria. The consumption of these can confer benefits to the consumers' health. A wide variety of postbiotics from probiotics, which include some lactic acid bacteria (LAB) have been studied. In addition, the process to obtain postbiotics has been investigated with the purpose of applying it to an industrial scale. The use of postbiotics in food has technological advantages over probiotics, so they can be potential ingredients to develop functional foods. The objective of this article is to provide a review of postbiotics from their definition, their types, health benefits, their processing (production, bacterial inactivation, extraction techniques, concentration methods and analytical methods for their identification), and possible applications in food.

**Keywords:** postbiotics, probiotic, LAB, and functional foods.

## INTRODUCCIÓN

Los probióticos están definidos como aquellos microorganismos que, cuando son consumidos en cantidades adecuadas, pueden proveer beneficios a la salud del consumidor, como el alivio de desórdenes gastrointestinales, ayuda en el tratamiento de alergias, obesidad, depresión, vaginosis bacteriana, enfermedades cancerígenas, entre otros (Cordoba y Hotel, 2001; Zucko *et al.*, 2020). Como se muestra en la figura 1, existen diversos microorganismos que son considerados como probióticos que pertenecen al grupo de las bacterias ácido lácticas (BAL) como el género *Lactobacillus*, *Leuconostoc* y *Streptococcus* (Holzapfel y Wood, 2014; Williams, 2010). Otros microorganismos que no pertenecen a las BAL, pero que son reconocidos como probióticos, son algunas especies de bifidobacterias, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* Nissle y *Saccharomyces boulardii* (levadura) (Williams, 2010). Recientes investigaciones han demostrado que la viabilidad de los probióticos no es necesaria para obtener algunos de sus beneficios para la salud, ya que estos no solo producen ácido láctico sino también una gran variedad de metabolitos, por ejemplo, bacteriocinas, vitaminas, biosurfactantes, etc. (Aguilar-Toalá *et al.*, 2018; Cuevas-González *et al.*, 2020; Hernández-Granados y Franco-Robles, 2020; Nataraj *et al.*, 2020). Así es como surge el término de los posbióticos, refiriéndose a dichos metabolitos producidos por microorganismos probióticos.

Diversos autores han enfatizado el uso de los posbióticos y paraprobióticos (células inactivadas y sus metabolitos) en los alimentos, ya que tienen ciertas ventajas tecnológicas con respecto a los probióticos, como una mejor estabilidad fisicoquímica durante el tiempo de almacenamiento, no requieren condiciones de almacenamiento tan estrictas, pueden ser adicionados en alimentos en los que se aplican tratamientos térmicos, entre otros (Aguilar-Toalá *et al.*, 2018; Sawada *et al.*, 2016; Siciliano *et al.*, 2021). Por lo tanto, la investigación de los posbióticos dentro de la ciencia y la industria alimentaria resulta interesante, ya que pueden ser ingredientes potenciales para el desarrollo de alimentos funcionales (Nataraj *et al.*, 2020).

El objetivo del artículo es proporcionar una compilación sobre los posbióticos desde su definición, los tipos que existen, sus beneficios a la salud, el proceso de obtención (producción, inactivación bacteriana, técnicas de extracción, métodos

de concentración y métodos analíticos para su identificación), y lo más relevante sobre sus posibles aplicaciones en los alimentos funcionales.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1. Generalidades

Varios investigadores han propuesto diferentes terminologías que describen a los posbióticos, también conocidos como «metabióticos», «biogénicos», «metabolitos» o «sobrenadantes libres de células» (Aguilar-Toalá *et al.*, 2018). Por ejemplo, Tsilingiri y Rescigno (2013) definieron a los posbióticos como «cualquier factor resultante de la actividad metabólica de un probiótico o cualquier molécula liberada capaz de conferir efectos beneficiosos al huésped de forma directa o indirecta». Otra definición es que son compuestos producidos por microorganismos, liberados de los componentes de los alimentos o constituyentes microbianos (incluidas las células no viables) que, cuando son administrados en cantidades adecuadas, promueven la salud y el bienestar (Collado *et al.*, 2019). Johnson *et al.* (2019) han definido a los posbióticos como «productos bacterianos no viables o subproductos metabólicos de microorganismos probióticos que tienen efectos positivos en el huésped o el microbiota». Wegh *et al.* (2019) los definieron como compuestos bioactivos funcionales, generados en una matriz durante la fermentación, que pueden utilizarse para promover la salud. Una de las definiciones más aceptadas y reconocidas en la literatura es la de Aguilar-Toalá *et al.* (2018), pues señalan que son factores solubles (productos o subproductos metabólicos), secretados por bacterias vivas o liberados después de la lisis bacteriana; estos subproductos ofrecen beneficios fisiológicos al huésped al proporcionar bioactividad adicional. En 2021, el panel de consenso de la Asociación Científica Internacional de Probióticos y Prebióticos (por sus siglas en inglés ISAPP) definió al posbiótico como una «preparación de microorganismos inanimados y/o sus componentes que confieren un beneficio a la salud del huésped».

Cabe mencionar que existe otro término denominado «paraprobiótico», que se puede llegar a confundir con los posbióticos. Los paraprobióticos, también conocidos como «probióticos no viables», «probióticos inactivados» o «probióticos fantasmas»,



## 2. Tipos de posbióticos y sus beneficios

En general, las bacterias producen metabolitos de bajo peso molecular durante su ciclo de vida, y estos compuestos juegan un papel clave en la regulación del crecimiento propio y la reproducción; fomentan el crecimiento de otros organismos beneficiosos; participan en la comunicación de célula a célula, y brindan protección contra factores de estrés (Aguilar-Toalá *et al.*, 2018). Estos metabolitos no solo ayudan a la bacteria, sino también al huésped. Por esta razón, se les han denominado como posbióticos y han ganado un gran interés dentro de la ciencia alimentaria y la salud, especialmente aquellos que provienen de las BAL.

Los posbióticos incluyen una gran variedad de componentes moleculares como vitaminas, ácidos orgánicos, áci-

dos grasos de cadena corta (AGCC), proteínas/péptidos secretados, bacteriocinas, neur transmisores, biosurfactantes secretados, aminoácidos, compuestos derivados de flavonoides como desaminotirosina, equol daidzeína, daidzeína, nortirriol, terpenoides, compuestos fenólicos, entre otros (Nataraj *et al.*, 2020). Estos compuestos se pueden clasificar, de acuerdo con su composición química, en lípidos (AGCC y plasmalógenos), proteínas (enzimas y péptidos), carbohidratos (ácidos teicoicos y exopolisacáridos), vitaminas y moléculas complejas como los biosurfactantes. En la tabla I se muestran los principales posbióticos que se han estudiado, los probióticos con respecto al componente de interés y sus beneficios en la salud.

**Tabla I.** Tipos de posbióticos producidos por diferentes probióticos y sus efectos en la salud

Posbiótico de interés	Probiótico	Dosis evaluada	Efectos en la salud	Referencias
Acetato y propionato	<i>Bif. bifidum</i> MF 20/5	125 mM de acetato y 130 $\mu$ M de propionato	Efectos metabólicos (control de obesidad).	(LeBlanc <i>et al.</i> , 2017)
	<i>Bif. longum</i> SP 07/3	110 mM de acetato y 125 $\mu$ M de propionato		
	<i>Lb. gasseri</i> PA 16/8	60 mM de acetato y 110 $\mu$ M de propionato		
	<i>Lb. rhamnosus</i> GG	55 mM de acetato y 100 $\mu$ M de propionato		
Acetato, propionato y butirato	<i>Lb. salivarius</i> subsp. <i>salicinii</i> JCM 1230	45 $\mu$ M/g de acetato, 5 $\mu$ M/g de propionato y 8 $\mu$ M/g de butirato	Efectos metabólicos (control de la homeostasis de la glucosa) y antiinflamatorios en el colon.	(Meimandipour <i>et al.</i> , 2010)
	<i>Lb. agilis</i> JCM 1048			
	<i>Lb. acidophilus</i> CRL 1014	42.5 mM/g de acetato, 20 mM/g de propionato y 27 mM/g de butirato	Regulación de la microbiota intestinal.	(Sivieri <i>et al.</i> , 2013)
Ácido lipoteicoico (ALT)	<i>Lb. paracasei</i> D3-5	200 mg/kg*día	Efectos antiinflamatorios, fisiológicos y antienvjecimiento.	(S. Wang <i>et al.</i> , 2020)
	<i>Lb. delbrueckii</i>	3-30 $\mu$ g/ml	Efectos antiinflamatorios en el colon.	(Kim <i>et al.</i> , 2017)
	<i>Lb. sakei</i>			
	<i>Lb. rhamnosus</i> GG			
Ácido metilpentadecanoico (Biosurfactante)	<i>Lb. jensenii</i> P6A	0.338 mg	Propiedades antimicrobianas contra patógenos intestinales y urogenitales.	(Morais <i>et al.</i> , 2017)
Ácido eicosanoico (Biosurfactante)	<i>Lb. gasseri</i> P65	1.18 mg		

**Tabla I.** Tipos de posbióticos producidos por diferentes probióticos y sus efectos en la salud (continuación)

Posbiótico de interés	Probiótico	Dosis evaluada	Efectos en la salud	Referencias
Biosurfactantes (mezcla)	<i>Lb. casei</i> B1	25 mg/ml	Efectos antimicrobianos y antioxidantes.	(Merghni et al., 2017)
Exopolisacáridos	<i>Lb. casei</i> SB27	10-600 µg/ml	Efectos antitumorales.	(Di et al., 2017)
	<i>Lb. fermentum</i> S1	1-4 mg/ml	Actividad contra la formación de biopelículas de patógenos y efectos antioxidantes.	(K. Wang et al., 2020)
	<i>Lb. buchneri</i> TCP016	200-800 mg/kg	Regulación de la microbiota.	(Xu et al., 2019)
	<i>L. lactis</i> subsp. <i>lactis</i>	50, 100 y 150 mg/kg	Efectos antioxidantes e inmunes.	(Guo et al., 2013)
	<i>Lb. rhamnosus</i> GG	46 µg	Escudo protector contra factores inmunes del intestino.	(Lebeer et al., 2011)
Subtilisina y glutamil endopeptidasa (proteasas)	<i>B. pumilus</i>	0.5 U/ml de subtilisina y 0.1 U/ml de glutamil endopeptidasa	Efectos antimicrobianos contra la formación de biopelículas.	(Mitrofanova et al., 2017)
Bacteriocina no identificada	<i>Lb. casei</i>	100 µl de la solución posbiótica	Efectos antimicrobianos contra patógenos resistentes.	(Hasan et al., 2019)
Bacteriocina KT11	<i>Ent. faecalis</i> KT11	178 AU/ml	Efectos antimicrobianos contra patógenos urogenitales y resistentes.	(Abanoz y Kunduhoglu, 2018)
Plasmalógenos	<i>Bif. animalis</i> subsp. <i>lactis</i>	No reportado	Efectos antioxidantes.	(Oberge et al., 2012)
Vitamina B12 (cobalamina)	<i>P. freudenreichii</i> 2067	120-124.8 ng/ml	Efectos en el metabolismo.	(Deptula et al., 2017)
Vitamina B2 (riboflavina)	<i>Lb. brevis</i>	0.5 a 1.5 mg/l en mezcla de los probióticos	No reportado.	(Thakur et al., 2016)
	<i>Lb. fermentum</i>			
	<i>Lb. reuteri</i>			
	<i>Lb. salivarius</i>			

B.: *Bacillus*, Bif.: *Bifidobacterium*, Lb.: *Lactobacillus*, L.: *Lactococcus*, P.: *Propionibacterium*, Ent.: *Enterococcus*.

## 2.1. Lípidos

Los lípidos más estudiados dentro de los posbióticos son los AGCC y los plasmalógenos. Los AGCC son el resultado de la digestión de prebióticos por la microbiota mediante la fermentación de fibras o carbohidratos no digeribles (Klemashevich et al., 2014). Los AGCC que mayormente se producen durante la fermentación bacteriana son el acetato, butirato y propionato. Los lactobacilos sintetizan a los AGCC desde la fermentación de carbohidratos para

producir piruvato por la vía glucolítica, mientras que las bacterias heterofermentativas como las bifidobacterias lo hacen por la vía fosfocetolasa (Gill et al., 2018). Como se muestra en la tabla I, los probióticos que se han estudiado son principalmente del género *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*. LeBlanc et al. (2017) estudiaron la producción de acetato, butirato y propionato de *Bifidobacterium longum* SP07/3, *Bif. bifidum* MF20/5 y *Lactobacillus gasseri* PA, 16/8 y *Lb. rhamnosus* GG. En sus resultados,

la mayor producción de acetato y propionato fue con *Bif. bifidum* con una concentración aproximadamente de 125 mM y 130  $\mu$ M, respectivamente; mientras que el *Lb. rhamnosus* GG presentó la menor producción de AGCC con 55 mM de acetato y 100  $\mu$ M de propionato. Gill *et al.* (2018) mencionaron que los AGCC tienen efectos antitumorales, antiinflamatorios en el colon, protección contra el desarrollo de trastornos inmunes, control de obesidad, control de la homeostasis de la glucosa, regulación del apetito y efectos cardiovasculares. Ellos han sugerido el uso de los AGCC como probióticos, ya sea en el consumo de fármacos o en la dieta. Cabe mencionar que aún no se ha determinado una dosis mínima de consumo de los AGCC para apreciar los efectos funcionales en la salud, sin embargo, en otro estudio se probó que una bebida de intervención con vinagre de manzana que contenía 25.8 mM de acetato, 0.05 mM de propionato y 0.04 mM de butirato ayudó a reducir la presión sanguínea, mostrando efectos positivos cardiovasculares (Gill *et al.*, 2021).

Los plasmalógenos son un grupo de lípidos con importantes funciones en organismos como bacterias, protozoarios, invertebrados y mamíferos (Řezanka *et al.*, 2012). Las clases predominantes de los plasmalógenos son glicerofosforil etanolamina y glicerofosforilcolina con un vinil éter en la posición del glicerol *sn*-1 en lugar de un ácido graso. Por otro lado, en la posición del glicerol *sn*-2, los plasmalógenos son enriquecidos con un ácido graso poliinsaturado (Wallner y Schmitz, 2011). Los plasmalógenos se han estudiado solo con una especie del género *Bifidobacterium* (tabla 1), siendo *Bif. animalis* subsp. *lactis*, en el cual los plasmalógenos fueron reconocidos como antioxidantes endógenos inducidos por el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), sin embargo, la dosis o concentración empleada no fue reportada por Oberg *et al.* (2012). Los efectos que inducen estos compuestos son positivamente involucrados en la neurodegeneración y alivio de enfermedades cardíacas; tiene efectos positivos contra la diabetes tipo dos, obesidad, inflamación y cáncer (Wallner y Schmitz, 2011). En un estudio realizado por Hossain *et al.* (2018) se especificó que el consumo diario de plasmalógenos en pacientes con Alzheimer mejoró la cognición. Esto podría ser debido a que los

plasmalógenos son los principales componentes del tejido neuronal, contribuyendo entre el 50 % y 80 % del total de glicerofosforil etanolaminas de la sustancia gris y blanca del cerebro (Han *et al.*, 2001).

## 2.2. Proteínas

Las proteínas que se han estudiado en el campo de los probióticos son las enzimas y polipéptidos antimicrobianos. Las enzimas son proteínas activas que catalizan reacciones bioquímicas. Las enzimas microbianas poseen una variedad de funciones bioquímicas, fisiológicas y regulatorias (Hernández-Granados y Franco-Robles, 2020). Contesini *et al.* (2018) mencionan que el género *Bacillus* es probablemente la fuente bacteriana más importante de proteasas, ya que es capaz de producir altas cantidades de enzimas proteolíticas neutras y alcalinas con propiedades destacables como alta estabilidad en temperaturas extremas, pH, solventes orgánicos, detergentes y compuestos oxidantes. En un estudio realizado por Mitrofanova *et al.* (2017) se demostró que las proteasas (subtilisina y glutamil endopeptidasa) de *B. pumilus* causaron la degradación de componentes extracelulares poliméricos y significativamente erradicaron la biopelícula generada por *Serratia marcescens*, conocido como un patógeno oportunista responsable de varias infecciones contraídas en hospitales. Los beneficios en la salud de las proteasas son la protección de las células al estrés oxidativo y efectos contra enfermedades cardíacas y cancerígenas (Hernández-Granados y Franco-Robles, 2020).

Con respecto a los polipéptidos y proteínas, estos probióticos son muy estudiados en la inocuidad alimentaria, ya que algunos presentan propiedades antimicrobianas, por ejemplo, las bacteriocinas. Las bacteriocinas forman poros en las membranas de bacterias e inhiben la síntesis de la pared celular (Hernández-Granados y Franco-Robles, 2020). Existen cinco clases de bacteriocinas, clase I: pequeños péptidos proteolíticos y resistentes al calor sustancialmente modificados por enzimas específicas a nivel transcripcional. Algunos ejemplos son lantibióticos (nisina), sactipéptido y péptidos de bucle (Hols *et al.*,

2019). Clase II: divididas en cuatro subtipos, que son (1) similar a la pediocina, (2) dos péptidos, (3) circulares y (4) lineales no similares a la pediocina. Comprenden péptidos pequeños resistentes a la temperatura y al pH (Hols *et al.*, 2019). Clase III: grandes péptidos (>30 kDa) termolábiles con actividad y estructura compleja. En este grupo se incluyen a la helveticina, acidofilicina y lactacinas (A y B) (Preciado *et al.*, 2013). Clase IV: consiste en complejas proteínas conjugadas con lípidos o carbohidratos. Algunos ejemplos son la lactocina S (glicoproteína) y la mesenterocina (lipoproteína) (Hols *et al.*, 2019; Preciado *et al.*, 2013). Clase V: péptidos con estructuras circulares sin modificaciones postraduccionales, en el cual se incluyen la enterocina AS-48 y gasericina A (Heredia-Castro *et al.*, 2017).

Una de las bacteriocinas más estudiadas y usadas en la ciencia e industria alimentaria es la nisina. Esta bacteriocina es producida por *Lb. lactis* subsp. *lactis* y ha sido aprobada por la FDA como un aditivo generalmente reconocido como seguro (por sus siglas en inglés GRAS) (Nataraj *et al.*, 2020). La nisina ha demostrado propiedades antimicrobianas contra *Staphylococcus aureus*, cepas de *Enterococcus*, *Mycobacterium* y *Streptococcus*, y otros patógenos como *Cutibacterium acnes*, *Mycobacterium smegmatis*, y especies de *Bacillus* y *Clostridium* (Hernández-Granados y Franco-Robles, 2020). Además, se ha demostrado que las bacteriocinas de *Enterococcus faecalis* y *Lb. casei* son efectivas contra patógenos urogenitales, intestinales y resistentes a los antibióticos (Abanoz y Kunduhoglu, 2018; Hasan *et al.*, 2019).

### 2.3. Carbohidratos

Entre los posbióticos de tipo carbohidrato se encuentran los ácidos teicoicos y exopolisacáridos (EPS). Los ácidos teicoicos son estructuralmente glicopolímeros aniónicos (ribitol) y son constituyentes primarios de la pared celular de las bacterias grampositivas (Van der Es *et al.*, 2017). Estos compuestos juegan papeles muy importantes en la bacterias, como determinar la forma de la célula, regulación de la división celular, y otros aspectos metabólicos fundamentales en la fisiología celular (Nataraj *et al.*, 2020). Existen dos tipos de ácidos teicoicos: los ácidos lipotei-

coicos (LTA por sus siglas en inglés) (anclados en la membrana a través de un glicolípido) y ácidos teicoicos de la pared (WTA por sus siglas en inglés) (covalentemente unidos al peptidoglicano) (Brown *et al.*, 2013). Los LTA han sido más estudiados debido a sus propiedades funcionales inmunes, antitumorales y antioxidantes (Lebeer *et al.*, 2012). Como se muestra en la tabla I, los probióticos que se han estudiado con respecto a los ácidos teicoicos son principalmente del género *Lactobacillus*. En el estudio de Kim *et al.* (2017), observaron que los LTA provenientes de *Lb. delbrueckii*, *Lb. sakei* y *Lb. rhamnosus* GG demostraron tener potenciales efectos antiinflamatorios, probando dosis de 3-30 µg/ml. En adición, los ácidos lipoteicoicos de *Lb. paracasei* D3-5, empleando una dosis de 200 mg/kg\*día, presentaron interesantes efectos que beneficiaron las funciones físicas y cognitivas en ratones (Wang *et al.*, 2020).

En cuanto a los EPS, estos son biopolímeros producidos por microorganismos durante su crecimiento y van variando de acuerdo a su grado de ramificación, desde moléculas lineales hasta altamente ramificadas, y en la composición de monosacáridos (Welman y Maddox, 2003). Los EPS se pueden dividir en homopolisacáridos (teniendo monosacáridos idénticos) como celulosa y dextrano, y en heteropolisacáridos (con diferentes monosacáridos) como el xantano (Zhou *et al.*, 2019). En la tabla I se muestran algunos probióticos que se han estudiado para la producción de EPS, además, se presentan los efectos en la salud de estos compuestos, y se exhiben varios atributos funcionales como antioxidantes, efectos de reducción de colesterol, inmunidad, antienvjecimiento, modulación de la microbiota intestinal y antitumorales (Di *et al.*, 2017; Guo *et al.*, 2013; Lebeer *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2020; Xu *et al.*, 2019). Se han evaluado diversas concentraciones con el propósito de obtener la dosis para manifestar los beneficios anteriormente mencionados. Se ha observado que dosis de 1-4 mg/ml de EPS derivados de *Lb. fermentum* S1 exhiben potentes actividades antioxidantes y evitan la formación de biopelículas (Wang *et al.*, 2020). Otro ejemplo es el estudio de Di *et al.* (2017), en el cual evaluaron dosis de 10 a 600 µg/ml de EPS provenientes

de *Lb. casei* SB27, se demostró que a mayor concentración de EPS los efectos antitumorales *in vitro* fueron incrementándose; en sus conclusiones resaltaron que estos componentes pueden ser usados como ingredientes potenciales para los alimentos funcionales.

#### 2.4. Vitaminas

Las vitaminas son moléculas orgánicas esenciales en la dieta en pequeñas cantidades para facilitar varios procesos biológicos del cuerpo. La mayoría de las vitaminas B son directamente involucradas como coenzimas en las reacciones energéticas del metabolismo (Nataraj *et al.*, 2020). Nuestro organismo es incapaz de sintetizar la mayoría de las vitaminas, por lo tanto, es necesario consumirlas de forma externa. Los microorganismos probióticos (tabla I) pueden sintetizar una vasta cantidad de vitaminas como la vitamina B<sub>1</sub> (tiamina), vitamina B<sub>2</sub> (riboflavina), vitamina B<sub>9</sub> (ácido fólico), vitamina B<sub>12</sub> (cobalamina) y vitamina K (menaquinona) (Hernández-Granados y Franco-Robles, 2020). El uso de los microorganismos en la producción de vitaminas es más viable económicamente que la fortificación con pseudovitaminas químicamente sintetizadas. Deptula *et al.* (2017) mencionaron que es preferible producir la vitamina B<sub>12</sub> mediante fermentación microbiana industrial que mediante síntesis química. En adición, ellos realizaron un estudio, en el cual produjeron vitamina B<sub>12</sub> de *Propionibacterium freudenreichii* 2067, utilizando un caldo de cultivo a base de suero de leche industrial. En sus resultados, ellos observaron que la fermentación de 168 horas produjo más cantidad de cobalamina (124.8 ng/ml) con el caldo propuesto que en el medio propiónico similar al queso (120.0 ng/ml).

#### 2.5. Moléculas complejas

Los biosurfactantes (BS) son moléculas complejas, ya que representan a una extensa diversidad de polímeros sintetizados durante la fase logarítmica tardía o estacionaria temprana del ciclo de crecimiento de un microorganismo. Se secretan extracelularmente o se unen a la pared celular (Satpute *et al.*, 2016). Entre los BS se encuentran los glucolípidos, lipopéptidos, fosfo-

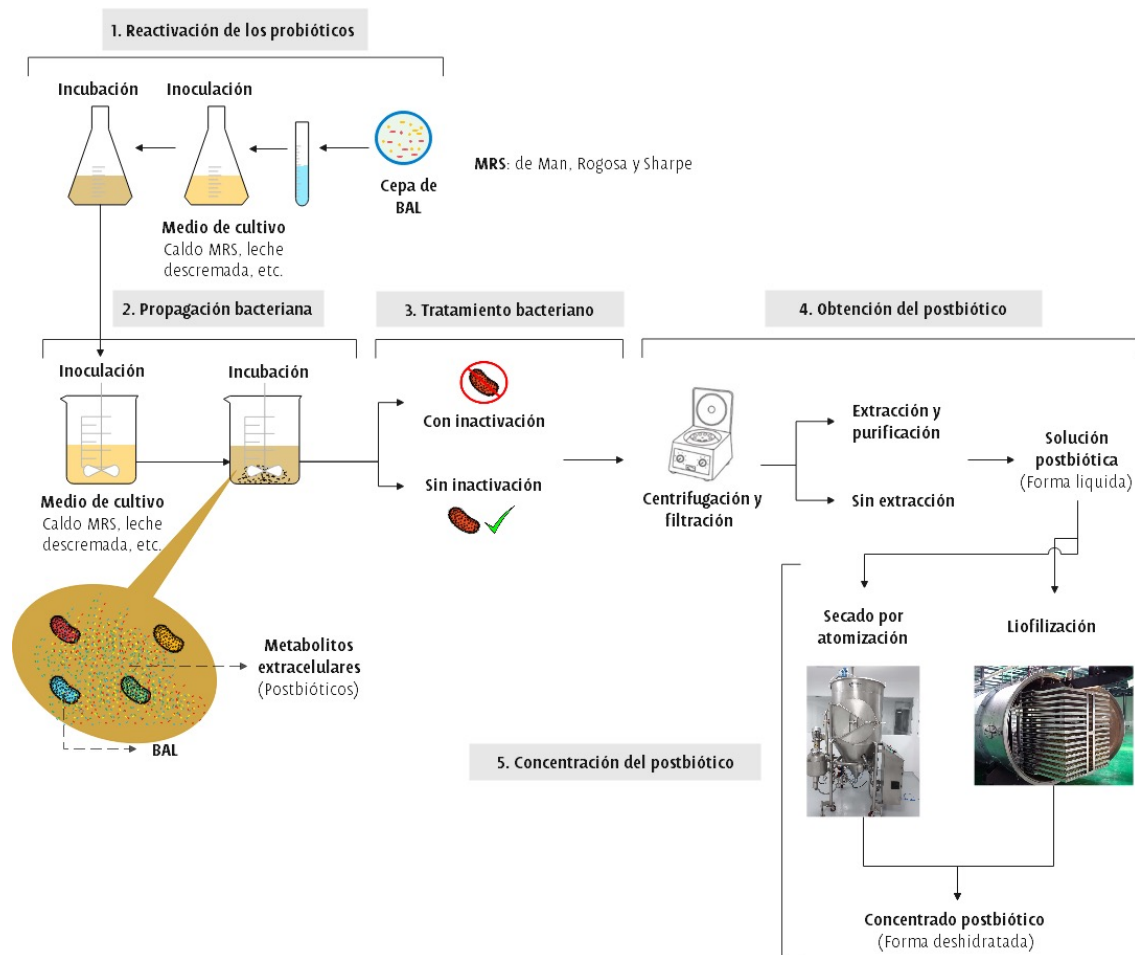
lípidos, lípidos neutrales, complejos de proteína-polisacáridos y ácidos grasos libres (Nataraj *et al.*, 2020). Como se observa en la tabla I, los probióticos estudiados en relación con los BS han sido del género *Lactobacillus*. Morais *et al.* (2017) investigaron los BS de *Lb. jensenii* P6A y *Lb. gasseri* P6, y observaron que estos compuestos tienen propiedades antimicrobianas contra diversos patógenos (*Escherichia coli*, *Candida albicans*, *Staphylococcus saprophyticus*, *Enterobacter aerogenes* y *Klebsiella pneumonia*), para esto emplearon dosis de 0.338 y 1.18 mg de *Lb. jensenii* P6A y *Lb. gasseri* P65, respectivamente. Fracchia *et al.* (2015) mencionan que los BS exhiben una gran variedad de propiedades como estabilización de emulsiones, capacidad de antiadherencia, anti-biopelícula, anticancerígena, antiviral, inmunológica y antimicrobiana.

### 3. Proceso de obtención de los posbióticos

Para la obtención de los posbióticos, la mayoría de los investigadores preparan una solución posbiótica, ya sea con o sin lisis celular. Esta solución contiene los metabolitos que fueron sintetizados por la acción de los probióticos sobre el cultivo o ingredientes alimentarios (Moradi *et al.*, 2021). Żółkiewicz *et al.* (2020) argumentan que la calidad y la clase de productos están principalmente relacionados con el tipo de cepa bacteriana, el medio de cultivo, el tratamiento bacteriano después de la propagación, entre otros factores. Actualmente, la producción de los posbióticos se ha realizado a nivel laboratorio, con el fin de obtener las mejores condiciones de producción para una escala industrial. Existen varios puntos importantes, como el medio de fermentación, las condiciones de la propagación bacteriana, el tratamiento de inactivación (si se requiere), y métodos de concentración, preservación y aplicación (Moradi *et al.*, 2021). En la figura 2 se ilustra la preparación y el proceso de obtención de los posbióticos, el cual está dividido en 1) reactivación de los probióticos, 2) propagación bacteriana, 3) tratamiento bacteriano, 4) cosecha posbiótica (con o sin extracción) y 5) concentración posbiótica. Además, en la tabla II se presentan las condiciones de preparación de posbióticos a partir de los reportes de diversos estudios con probióticos.

**Tabla II.** Métodos de preparación y productos obtenidos de posbióticos a partir de diversos probióticos

Probióticos	Medio de cultivo	Condiciones de crecimiento y extracción	Tratamiento de inactivación	Referencias
<i>Bif. longum</i> SP 07/3 <i>Bif. bifidum</i> MF 20/5 <i>Lb. gasseri</i> PA 16/8 <i>Lb. rhamnosus</i> GG	Caldo MRS	A 37 °C durante 24 h, en condiciones anaerobias para las bifidobacterias. Centrifugación (5,000 g por 10 min a 4 °C) y liofilización.	Ninguno	LeBlanc <i>et al.</i> , 2017
<i>Lb. curvatus</i> BCS35 y <i>Enterococcus faecium</i> BNM58	Caldo MRS	A 30 °C durante 16 h con moderada agitación (160 rpm). Centrifugación (12,000 rpm por 10 min a 4 °C) y liofilización.	Ninguno	Gómez-Sala <i>et al.</i> , 2016
<i>Lb. gasseri</i> CP2305	Leche descremada, extracto de levadura y azúcar	A 37 °C durante 18 h. No se empleó un proceso de extracción ni concentración.	Esterilización a 95 °C por 30 s	Nishida <i>et al.</i> , 2017
<i>Lb. reuteri</i> ATCC 23272	Caldo MRS	A 37 °C durante 48 h en condiciones anaerobias. Centrifugación (2,000 rpm por 15 min a 25 °C).	Irradiación gamma por Cobalto 60 durante 20 h a 8.05 Gy/min	Kamiya <i>et al.</i> , 2006
<i>Lb. fermentum</i> BGHV110	Caldo MRS	A 37 °C en condiciones anaerobias. Centrifugación (5,000 rpm por 10 min).	Altas presiones usando prensa francesa con un número de pasos de tres	Dinić <i>et al.</i> , 2017
<i>Bif. longum</i> BR-108	Caldo MRS con cisteína (0.05 % p/v)	A 35 °C en condiciones anaerobias. No se empleó un proceso de extracción ni concentración.	Esterilización a 105 °C a 20 min	Ben Othman y Sakamoto, 2020
<i>Lb. casei</i> ATCC 393	Caldo MRS	A 37 °C durante 24 h sin agitación. Centrifugación (1,700 g por 15 min a 4°C) y filtración (filtro de 0.22 µm).	Tratamiento térmico a 100 °C por 40 min y ultrasonido a 70 %, amplitud por 10 min	Tiptiri-Kourpeti <i>et al.</i> , 2016
<i>Lb. rhamnosus</i> GG	Caldo MRS	A 37 °C durante 72 h en condiciones anaerobias. No se empleó un proceso de extracción ni concentración.	Rayos UV durante 5 min	Lopez <i>et al.</i> , 2008
<i>Lb. brevis</i> , <i>Lb. buchneri</i> <i>Lb. casei</i> , <i>Lb. paracasei</i> <i>Lb. plantarum</i>	Leche y permeado de leche	A 37 °C durante 48 h. Centrifugación (8,000 g por 15 min) y liofilización.	Ninguno	Garnier <i>et al.</i> , 2019
<i>Bif. longum</i> SPM1207	Caldo MAG	A 37 °C durante 48 h en condiciones anaerobias. Centrifugación (13,000 rpm por 10 min).	Ultrasonido durante 5 min (intensidad no especificada)	Shin <i>et al.</i> , 2010



**Figura 2.**

Preparación y proceso de producción de posbióticos. Adaptada de Moradi *et al.* (2021).

### 3.1. Medios de cultivo y sustratos para su producción

El medio de cultivo es importante para llevar a cabo una correcta y satisfactoria reactivación y propagación de los probióticos (figura 2), dado que en la propagación es cuando ocurre la producción o síntesis de los posbióticos. Acorde con lo observado en la tabla II, el medio de cultivo más usado en la obtención de posbióticos es el caldo MRS desarrollado por De Man, Rogosa y Sharpe en 1960 (De Man *et al.*, 1960; Moradi *et al.*, 2021). El rango de temperaturas que generalmente se usa para la obtención de posbióticos es de 30-37 °C con un tiempo de fermentación que va desde

las 16 a las 72 horas (tabla II). Los posbióticos preparados con este medio producen un fermentado ácido con un color que va de un café a un amarillo marrón. A pesar de que este medio es ideal para algunos probióticos, presenta una desventaja con respecto a la aplicación de los posbióticos en los alimentos, pues el caldo MRS influye negativamente en sus propiedades organolépticas, especialmente en los productos lácteos (Moradi *et al.*, 2020).

Debido a esto, algunos investigadores han experimentado con medios alternativos para la producción de posbióticos en una escala industrial (tabla II). Garnier *et al.* (2019) experimentaron

con diferentes ingredientes lácteos como la leche a baja temperatura y permeado de leche, optimizando el tiempo y la temperatura de incubación para preparar soluciones posbióticas antifúngicas provenientes de *Lb. brevis*, *Lb. buchneri*, *Lb. casei*, *Lb. paracasei* y *Lb. plantarum* para aplicaciones alimentarias. Otros investigadores han utilizado un medio a base de leche descremada, extracto de levadura y azúcar, con el propósito de preparar una bebida funcional para mejorar el sueño y el estrés (Nishida *et al.*, 2017). En adición, se ha sugerido la suplementación de aditivos en el medio de cultivo convencional con el propósito de promover la producción de un posbiótico deseado. Valga como ejemplo el estudio de Díaz-Vela *et al.* (2012), quienes adicionaron en el medio de cultivo tripticasa de soya, peptona y extracto de levadura (TPY) diferentes concentraciones de albedo de naranja, inulina de agave, inulina de achicoria y glucosa, con el propósito de identificar la fuente de carbono que promueve la producción de AGCC provenientes de *Pediococcus pentosaceus* y *Aerococcus viridans*. En sus resultados, el albedo de naranja al 1.0 % (p/v) fue el mejor sustrato para las dos bacterias evaluadas, ya que tuvo el menor tiempo de duplicación y la mayor producción de ácido láctico, acético y butírico.

### 3.2. Inactivación microbiana

Después del cultivo del probiótico pueden inactivarse las células, pero este paso es opcional. En la mayoría de los casos se opta por inactivar a las células del cultivo, para así detener los cambios metabólicos realizados por las bacterias (Moradi *et al.*, 2021). La inactivación de las células se lleva a cabo mediante tratamientos físicos o químicos capaces de modificar los componentes celulares (membranas, proteínas, ADN, etc.) y funciones fisiológicas (actividad enzimática y de recuperación) sin destruir completamente la estructura celular (Siciliano *et al.*, 2021). Como se observa en la tabla II, existen tecnologías convencionales y emergentes para dicha inactivación microbiana. Dentro de las convencionales se encuentran los procesos térmicos, los cuales son los más comunes para inactivar microorganismos, que consisten en la aplicación de calor por un cierto periodo de tiempo. Los procesos térmicos dañan la membrana celular, provocando así la fuga de nutrientes e iones, agregación de ribosomas, desnaturación de proteínas y rotura del ADN (De Almada *et al.*, 2016). Por

ejemplo, la pasteurización y la esterilización se han usado para la obtención de paraprobióticos de *Lb. gasseri* CP2305 y *Bif. longum* BR-10 (Ben Othman y Sakamoto, 2020; Nishida *et al.*, 2017).

Con respecto a las tecnologías emergentes, estas se han usado con el propósito de inactivar las células sin dañar a los componentes termolábiles (por ejemplo, vitaminas). Existe una gran variedad de procesos que se han usado en la obtención de posbióticos, en los cuales se incluyen la irradiación, rayos UV, altas presiones y ultrasonido (Dinić *et al.*, 2017; Kamiya *et al.*, 2006; Lopez *et al.*, 2008; Shin *et al.*, 2010; Tiptiri-Kourpeti *et al.*, 2016). La irradiación es la aplicación de radiación ionizante (rayos gamma o rayos-X) que daña los ácidos nucleicos del microorganismo causado por los radicales oxidativos (Kamiya *et al.*, 2006). La exposición de los rayos UV hacia las células induce la formación de fotoproductos del ADN que interrumpen su transcripción y translación (Lopez *et al.*, 2008). Los procesos a altas presiones (>300 MPa) inactivan a los microorganismos debido a que dañan la membrana (lisis celular), desnaturalizan proteínas (inactivación de enzimas y coagulación de proteínas) y reducen el pH intracelular (De Almada *et al.*, 2016). Por último, la sonicación o ultrasonido es una técnica que utiliza ondas sonoras con frecuencias mayores al límite de la audición humana (>16 kHz). El ultrasonido en medios líquidos crea un fenómeno llamado cavitación, que es el aumento de la temperatura y la presión que llevan a la formación de burbujas y cuando estas estallan se provoca la ruptura de la pared celular y perturbaciones en membranas, además de un daño al ADN, debido a la producción de radicales libres (De Almada *et al.*, 2016).

### 3.3. Extracción y métodos de concentración

Para la etapa de extracción de los posbióticos, la solución posbiótica pasa por un proceso de centrifugación y en algunos casos se llega a filtrar esta solución, con el propósito de separar cualquier remanente o compuesto no deseado (tabla II) (Moradi *et al.*, 2021). Dependiendo de los objetivos de la investigación se puede optar por un proceso de extracción y purificación. Dicho proceso comúnmente se utiliza para la obtención de biosurfactantes (BS), exopolisacáridos (EPS) y bacteriocinas (Nataraj *et al.*, 2020).

La metodología de extracción de los BS involucra un principio de extracción por solventes, el uso de soluciones de me-

tanol y cloroformo, ayuda a recuperar las moléculas polares y no polares, respectivamente. Posteriormente, estas soluciones son evaporadas a baja temperatura para obtener los BS de la membrana y pared celular (Luong *et al.*, 2018). En el caso de los EPS, el sobrenadante se acidifica usando ácido tricloroacético y se precipita con etanol para obtener un suero desprotenizado, luego este suero es purificado mediante técnicas de cromatografía (Fracchia *et al.*, 2015).

En la extracción de bacteriocinas, el sobrenadante debe ser esterilizado por filtración de membrana (0.22  $\mu\text{m}$ ) y para evitar la actividad antimicrobiana de los ácidos orgánicos, el pH de la solución es neutralizado en un rango de 6.5-7. Existen tres métodos para purificar las bacteriocinas de los probióticos. El primer método es el convencional, que está conformado por diferentes pasos que son la precipitación de sulfato de amonio, intercambio iónico, interacción hidrofóbica, filtración en gel y cromatografía líquida de alta presión en fase inversa (De Vuyst y Leroy, 2007). El segundo método está comprendido por tres simples pasos: (1) precipitación con sulfato de amonio, (2) extracción/precipitación con cloroformo/metanol y (3) cromatografía líquida de alta presión en fase inversa (De Vuyst y Leroy, 2007). Finalmente, el tercer método implica una adsorción de lecho expandido, utilizando un gel de interacción hidrofóbica, para lo cual es necesario que se ajuste el pH con respecto al medio fermentado (De Vuyst y Leroy, 2007).

Moradi *et al.* (2021) mencionan que los posbióticos pueden ser preparados en forma líquida o seca. Como se ilustra en la figura 2, el último proceso es la concentración del posbiótico. Para esto es necesario emplear tecnologías que sean capaces de deshidratar a las soluciones posbióticas. Dentro de la investigación se han utilizado las tecnologías de liofilización y secado por atomización, ya que esto facilita que los posbióticos tengan una vida útil más prolongada (Dunand *et al.*, 2019).

#### 3.4. Métodos analíticos para su identificación

Los métodos analíticos son esenciales para identificar y cuantificar a los componentes moleculares presentes en los posbióticos, lo que representa un beneficio para la aplicación alimentaria, ya que al conocer qué moléculas están presentes en los posbióticos, se puede definir los efectos o beneficios a la salud que puede aportar el alimento al que fue adicionado (Wegh *et al.*, 2019).

Debido a la complejidad de los posbióticos, se requiere un equipo sofisticado y una preparación de muestra excelsa. Los métodos analíticos que se han utilizado en la investigación son principalmente técnicas de cromatografía de gases, líquida de alta resolución (HPLC por sus siglas en inglés) y de capa fina, además de análisis basados en espectrofotometría, espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN) y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) (Moradi *et al.*, 2021).

#### 4. Aplicaciones en alimentos funcionales y los desafíos actuales

Los alimentos funcionales se pueden definir como «cualquier alimento que tiene un impacto positivo en la salud, el rendimiento físico o el estado de ánimo de un individuo, además de su valor nutricional» (Aguiar *et al.*, 2019). La innovación en estos alimentos ha generado una amplia gama de compuestos bioactivos que promueven la salud. Entre estos podemos mencionar a los probióticos, prebióticos, fitoquímicos o hierbas, antioxidantes naturales, péptidos bioactivos, entre otros (Fernandes *et al.*, 2019). El interés de consumir alimentos funcionales ha impulsado económicamente el sector global con más de \$180,000 millones de dólares y se prevé que la demanda mundial aumente en un 8 % anualmente (Ali y Rahut, 2019). Dunand *et al.* (2019) mencionan que los posbióticos tienen ventajas tecnológicas con respecto a los probióticos aplicados en los alimentos, como una vida útil más larga, almacenamiento, manipulación y transportación más factible. Otra ventaja sugerida es que tienen una mejor absorción por el metabolismo y una alta capacidad de señalización a varios órganos y tejidos, además, desencadenan varias respuestas biológicas que benefician al consumidor (Homayouni-Rad *et al.*, 2021).

Actualmente, los posbióticos han sido aplicados en los alimentos con el propósito de mejorar la inocuidad alimentaria. Concretamente, Moradi *et al.* (2020) realizaron una revisión de literatura de las aplicaciones potenciales que tienen los posbióticos de probióticos en la inocuidad, los cuales fueron la biopreservación de alimentos lácteos, cárnicos, vegetales y de panificación; además de su uso en el desarrollo de empaques bioactivos y comestibles; prevención y el control de biopelículas en la maquinaria alimentaria; reducción y degradación de contaminantes como aminos biógenas, pesticidas y micotoxinas. Con respecto

a los alimentos funcionales, se han estudiado alimentos lácteos con bacterias inactivadas (paraprobióticos), por ejemplo, Zeng *et al.* (2016) reportaron un yogurt con los cultivos iniciadores inactivados (*Lb. bulgaricus*, *Strept. thermophilus* y *Lb. acidophilus*), el cual impidió la disfunción de la barrera epitelial. Otro ejemplo es una bebida de leche fermentada con *Lb. gasseri* CP2305 inactivo realizado por Nishida *et al.* (2017), esta bebida mejoró los síntomas relacionados con el estrés y la calidad del sueño. Siciliano *et al.* (2021) mencionaron que los posbióticos y paraprobióticos pueden ser añadidos en alimentos no lácteos. Con base en esto, Sawada *et al.* (2019) formularon una bebida deportiva con *Lb. gasseri* CP2305 inactivada térmicamente, y se reportó que su consumo prolongado (doce semanas) contribuyó a la recuperación de fatiga, alivio de ansiedad y estados de ánimo depresivos en jóvenes atletas. Barros *et al.* (2021) propusieron una bebida de jugo de uva y suero de leche con *Lb. casei* 01 inactivo, que fue efectiva en reducir la glucemia posprandial en personas saludables.

Los principales desafíos en la aplicación de posbióticos en alimentos es que no se han evaluado las interacciones que pudieran existir entre la mezcla de posbióticos y la matriz alimentaria, ya que las interacciones podrían reducir beneficios de los posbióticos, inclusive generar compuestos antagonistas. Por ejemplo, algunos metabolitos como los EPS podrían proteger a los patógenos del estrés ambiental (pH y temperatura) y mejorar su proliferación en el alimento (Moradi *et al.*, 2020). Por lo tanto, es fundamental evaluar la toxicología y la seguridad alimentaria de los posbióticos, a pesar de que estos provengan de probióticos. Hasta el momento, no existen estudios que reporten la sinergia y la actividad antagonista de los posbióticos con los componentes alimentarios (grasas, proteínas, carbohidratos, enzimas y microbiota) (Moradi *et al.*, 2020). Por otro lado, es importante estudiar las propiedades organolépticas de los alimentos con posbióticos adicionados, ya que Moradi *et al.* (2020) mencionaron que los posbióticos cultivados con caldo MRS pueden afectar negativamente al color y sabor cuando se añaden en alimentos lácteos. Otro desafío es que falta más investigación para entender los mecanismos de los beneficios a la salud que pudieran aportar los alimentos con posbióticos, ya que la mayoría de los estudios se han realizado *in vitro* y en modelos animales, pero son escasos en modelos humanos. Además, esta

evidencia podría respaldar los *health claims* en los alimentos con estos metabolitos (Cuevas-González *et al.*, 2020). También se debe de tomar en cuenta la realización y aprobación de regulaciones del uso de posbióticos en alimentos.

## CONCLUSIONES Y COMENTARIOS FINALES

En conclusión, los posbióticos son metabolitos generados por probióticos durante su ciclo de vida y liberados en la lisis celular, cuyo consumo pueden conferir un beneficio a la salud del huésped. Como se describió en esta revisión bibliográfica, se ha identificado una gran variedad de posbióticos de probióticos, los cuales según el tipo de compuesto exhiben diversas propiedades funcionales como antimicrobianas, antioxidantes, inmunes, anticancerígenas, antidiabéticas, antienvjecimiento y acciones contra la formación de biopelículas. Asimismo, la investigación en el proceso de obtención de los posbióticos es importante para una escala industrial, ya que la producción de estos compuestos implica la consideración de varios factores que van desde la elección de los probióticos, los medios y las condiciones de cultivo, los tratamientos de inactivación, los métodos de extracción y concentración, así como su análisis químico para su respectiva identificación. La aplicación de posbióticos en los alimentos representa un área de oportunidad muy prometedora para la investigación, ya que estos compuestos presentan ventajas tecnológicas con respecto a los probióticos. Además, hasta el momento son pocos los estudios que incorporan estos metabolitos en alimentos y evalúan los beneficios que realmente pueden aportar.

## AGRADECIMIENTOS

Victor Enrique Vera Santander agradece a la Universidad de las Américas Puebla y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) —hoy Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)— por el apoyo recibido para el financiamiento de sus estudios de doctorado.

## REFERENCIAS

- Abanoz, H. S. y Kunduhoglu, B. (2018). Antimicrobial Activity of a Bacteriocin Produced by *Enterococcus faecalis* KT11 against Some Pathogens and Antibiotic-Resistant Bacteria. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 38(5), 1064-1079. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2018.e40>
- Aguilar, L. M., Geraldi, M. V., Betim Cazarin, C. B. y Maróstica Junior, M. R. (2019). Functional Food Consumption and Its Physiological Effects. In *Bioactive Compounds* (pp. 205-225). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00011-6>
- Aguilar-Toalá, J. E., García-Varela, R., García, H. S., Mata-Haro, V., González-Córdova, A. F., Vallejo-Cordoba, B. y Hernández-Mendoza, A. (2018). Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.009>
- Aguilar-Toalá, J. E., Hall, F. G., Urbizo-Reyes, U. C., García, H. S., Vallejo-Cordoba, B., González-Córdova, A. F., Hernández-Mendoza, A. y Liceaga, A. M. (2020). In Silico Prediction and *In Vitro* Assessment of Multifunctional Properties of Postbiotics Obtained From Two Probiotic Bacteria. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 12(2), 608-622. <https://doi.org/10.1007/s12602-019-09568-7>
- Ali, A. y Rahut, D. B. (2019). Healthy Foods as Proxy for Functional Foods: Consumers' Awareness, Perception, and Demand for Natural Functional Foods in Pakistan. *International Journal of Food Science*, 2019, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2019/6390650>
- Barros, C. P., Grom, L. C., Guimarães, J. T., Balthazar, C. F., Rocha, R. S., Silva, R., Almada, C. N., Pimentel, T. C., Venâncio, E. L., Collopy Junior, I., Maciel, P. M. C., Freitas, M. Q., Esmerino, E. A., Silva, M. C., Duarte, M. C. K. H., Sant'Ana, A. S. y Cruz, A. G. (2021). Paraprobiotic obtained by ohmic heating added in whey-grape juice drink is effective to control postprandial glycemia in healthy adults. *Food Research International*, 140, 109905. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109905>
- Ben Othman, M. y Sakamoto, K. (2020). Effect of inactivated *Bifidobacterium longum* intake on obese diabetes model mice (TSOD). *Food Research International*, 129, 108792. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108792>
- Breyner, N. M., Michon, C., de Sousa, C. S., Vilas Boas, P. B., Chain, F., Azevedo, V. A., Langella, P. y Chatel, J. M. (2017). Microbial Anti-Inflammatory Molecule (MAM) from *Faecalibacterium prausnitzii* Shows a Protective Effect on DNBS and DSS-Induced Colitis Model in Mice through Inhibition of NF- $\kappa$ B Pathway. *Frontiers in Microbiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00114>
- Brodmann, T., Endo, A., Gueimonde, M., Vinderola, G., Kneifel, W., De Vos, W. M., Salminen, S. y Gómez-Gallego, C. (2017). Safety of Novel Microbes for Human Consumption: Practical Examples of Assessment in the European Union. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1725. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01725>
- Cani, P. D. y De Vos, W. M. (2017). Next-Generation Beneficial Microbes: The Case of Akkermansia muciniphila. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1765. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01765>
- Collado, M. C., Vinderola, G. y Salminen, S. (2019). Postbiotics: Facts and open questions. A position paper on the need for a consensus definition. *Beneficial Microbes*, 10(7), 711-719. <https://doi.org/10.3920/BM2019.0015>
- Contesini, F. J., De Melo, R. R. y Sato, H. H. (2018). An overview of *Bacillus* proteases: From production to application. *Critical Reviews in Biotechnology*, 38(3), 321-334. <https://doi.org/10.1080/07388551.2017.1354354>
- Cordoba, A. y Hotel, P. (2001). *Health and Nutritional Properties of Probiotics in Food including Powder Milk with Live Lactic Acid Bacteria*. 34.
- Cuevas-González, P. F., Liceaga, A. M. y Aguilar-Toalá, J. E. (2020). Postbiotics and paraprobiotics: From concepts to applications. *Food Research International*, 136, 109502. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109502>
- De Almada, C. N., Almada, C. N., Martínez, R. C. R. y Sant'Ana, A. S. (2016). Paraprobiotics: Evidences on their ability to modify biological responses, inactivation methods and perspectives on their application in foods. *Trends in Food Science & Technology*, 58, 96-114. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.011>
- De Man, J. C., Rogosa, M. y Sharpe, M. E. (1960). A medium for the cultivation of lactobacilli. *Journal of Applied Bacteriology*, 23(1), 130-135. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1960.tb00188.x>
- De Vuyst, L. y Leroy, F. (2007). Bacteriocins from Lactic Acid Bacteria: Production, Purification, and Food Applications. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*, 13(4), 194-199. <https://doi.org/10.1159/000104752>
- Deptula, P., Chamlagain, B., Edelmann, M., Sangsuwan, P., Nyman, T. A., Savijoki, K., Piironen, V. y Varmanen, P. (2017). Food-Like Growth Conditions Support Production of Active Vitamin B12 by *Propionibacterium freudenreichii* 2067 without DMBI, the Lower Ligand Base, or Cobalt Supplementation. *Frontiers in Microbiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00368>
- Dì, W., Zhang, L., Wang, S., Yi, H., Han, X., Fan, R. y Zhang, Y. (2017). Physicochemical characterization and antitumor activity of exopolysaccharides produced by *Lactobacillus casei* SB27 from yak milk. *Carbohydrate Polymers*, 171, 307-315. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.018>
- Díaz-Vela, J., Mayorga-Reyes, L., Totosaus S., A. y Pérez-Chabela, M. de L. (2012). Parámetros cinéticos y perfil de ácidos grasos de cadena corta de bacterias ácido lácticas termotolerantes con diferentes fuentes de carbono. *Vita*, 19(3), 253-260.
- Dinić, M., Lukić, J., Djokić, J., Milenković, M., Strahinić, I., Golić, N. y Begović, J. (2017). *Lactobacillus fermentum* Postbiotic-induced Autophagy as Potential

- Approach for Treatment of Acetaminophen Hepatotoxicity. *Frontiers in Microbiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00594>
- Dunand, E., Burns, P., Binetti, A., Bergamini, C., Peralta, G. H., Forzani, L., Reinheimer, J. y Vinderola, G. (2019). Postbiotics produced at laboratory and industrial level as potential functional food ingredients with the capacity to protect mice against *Salmonella* infection. *Journal of Applied Microbiology*, 127(1), 219-229. <https://doi.org/10.1111/jam.14276>
- Fernandes, S. S., Coelho, M. S. y Salas-Mellado, M. de las M. (2019). Bioactive Compounds as Ingredients of Functional Foods. In *Bioactive Compounds* (pp. 129-142). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00007-4>
- Fracchia, L., J. Banat, J., Cavallo, M., Ceresa, C. y M. Banat, I. (2015). Potential therapeutic applications of microbial surface-active compounds. *AIMS Bioengineering*, 2(3), 144-162. <https://doi.org/10.3934/bioeng.2015.3.144>
- Garnier, L., Mounier, J., Lê, S., Pawtowski, A., Pinon, N., Camier, B., Chatel, M., Garric, G., Thierry, A., Coton, E. y Valence, F. (2019). Development of antifungal ingredients for dairy products: From *in vitro* screening to pilot scale application. *Food Microbiology*, 81, 97-107. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.11.003>
- Gill, P. A., Bogatyrev, A., Zelm, M. C., Gibson, P. R. y Muir, J. G. (2021). Delivery of Acetate to the Peripheral Blood after Consumption of Foods High in Short-Chain Fatty Acids. *Molecular Nutrition & Food Research*, 65(4), 2000953. <https://doi.org/10.1002/mnfr.202000953>
- Gill, P. A., Van Zelm, M. C., Muir, J. G. y Gibson, P. R. (2018). Review article: Short chain fatty acids as potential therapeutic agents in human gastrointestinal and inflammatory disorders. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 48(1), 15-34. <https://doi.org/10.1111/apt.14689>
- Gómez-Sala, B., Herranz, C., Díaz-Freitas, B., Hernández, P. E., Sala, A. y Cintas, L. M. (2016). Strategies to increase the hygienic and economic value of fresh fish: Biopreservation using lactic acid bacteria of marine origin. *International Journal of Food Microbiology*, 223, 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.02.005>
- Guo, Y., Pan, D., Li, H., Sun, Y., Zeng, X. y Yan, B. (2013). Antioxidant and immunomodulatory activity of selenium exopolysaccharide produced by *Lactococcus lactis* subsp. *Lactis*. *Food Chemistry*, 138(1), 84-89. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.10.029>
- Han, X., Holtzman, D. M. y McKeel, D. W. (2001). Plasmalogen deficiency in early Alzheimer's disease subjects and in animal models: Molecular characterization using electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Neurochemistry*, 77(4), 1168-1180. <https://doi.org/10.1046/j.1471-4159.2001.00332.x>
- Hasan, F. B., Reza, M., Masud, H. A. A., Uddin, M. K. y Uddin, M. S. (2019). Preliminary characterization and inhibitory activity of bacteriocin like substances from *Lactobacillus casei* against multi-drug resistant bacteria. *Bangladesh Journal of Microbiology*, 36(1), 1-6. <https://doi.org/10.3329/bjbm.v36i1.44259>
- Heredia-Castro, P. Y., Hernández-Mendoza, A., González-Córdova, A. F. y Vallejo-Cordoba, B. (2017). Bacteriocinas de bacterias ácido lácticas: mecanismos de acción y actividad antimicrobiana contra patógenos en quesos. *Inter-ciencia*, 42(6), 340-346. <https://www.redalyc.org/journal/339/33951621002/html/>
- Hernández-Granados, M. J. y Franco-Robles, E. (2020). Postbiotics in human health: Possible new functional ingredients? *Food Research International*, 137, 109660. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109660>
- Hols, P., Ledesma-García, L., Gabant, P. y Mignolet, J. (2019). Mobilization of Microbiota Commensals and Their Bacteriocins for Therapeutics. *Trends in Microbiology*, 27(8), 690-702. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2019.03.007>
- Holzappel, W. H. y Wood, B. J. B. (2014). Introduction to the LAB. In W. H. Holzappel y B. J. B. Wood (Eds.), *Lactic Acid Bacteria* (pp. 1-12). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118655252.ch1>
- Homayouni-Rad, A., Aghebati Maleki, L., Samadi Kafil, H. y Abbasi, A. (2021). Postbiotics: A novel strategy in food allergy treatment. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(3), 492-499. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1738333>
- Hossain, Md. S., Tajima, A., Kotoura, S. y Katafuchi, T. (2018). Oral ingestion of plasmalogens can attenuate the LPS-induced memory loss and microglial activation. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 496(4), 1033-1039. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2018.01.078>
- Johnson, C. N., Kogut, M. H., Genovese, K., He, H., Kazemi, S. y Arsenault, R. J. (2019). Administration of a Postbiotic Causes Immunomodulatory Responses in Broiler Gut and Reduces Disease Pathogenesis Following Challenge. *Microorganisms*, 7(8), 268. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7080268>
- Kamiya, T., Wang, L., Forsythe, P., Goettsche, G., Mao, Y., Wang, Y., Tougas, G. y Bienenstock, J. (2006). Inhibitory effects of *Lactobacillus reuteri* on visceral pain induced by colorectal distension in Sprague-Dawley rats. *Gut*, 55(2), 191. <https://doi.org/10.1136/gut.2005.070987>
- Kim, K. W., Kang, S.-S., Woo, S. J., Park, O. J., Ahn, K. B., Song, K. D., Lee, H.-K., Yun, C.-H., y Han, S. H. (2017). Lipoteichoic Acid of Probiotic *Lactobacillus plantarum* Attenuates Poly I:C-Induced IL-8 Production in Porcine Intestinal Epithelial Cells. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1827. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01827>
- Klemashevich, C., Wu, C., Howsmon, D., Alaniz, R. C., Lee, K. y Jayaraman, A. (2014). Rational identification of diet-derived postbiotics for improving intestinal microbiota function. *Current Opinion in Biotechnology*, 26, 85-90. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.10.006>

- Lebeer, S., Claes, I. J., Verhoeven, T. L. A., Vanderleyden, J. y De Keersmaecker, S. C. J. (2011). Exopolysaccharides of *Lactobacillus rhamnosus* GG form a protective shield against innate immune factors in the intestine: EPS as adaptation factor of *L. rhamnosus* GG. *Microbial Biotechnology*, 4(3), 368-374. <https://doi.org/10.1111/j.1751-7915.2010.00199.x>
- Lebeer, S., Claes, I., Tytgat, H. L. P., Verhoeven, T. L. A., Marien, E., von Ossowski, I., Reunanen, J., Palva, A., De Vos, W. M., De Keersmaecker, S. C. J. y Vanderleyden, J. (2012). Functional Analysis of *Lactobacillus rhamnosus* GG Pili in Relation to Adhesion and Immunomodulatory Interactions with Intestinal Epithelial Cells. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(1), 185-193. <https://doi.org/10.1128/AEM.06192-11>
- LeBlanc, J. G., Chain, F., Martín, R., Bermúdez-Humarán, L. G., Courau, S. y Langella, P. (2017). Beneficial effects on host energy metabolism of short-chain fatty acids and vitamins produced by commensal and probiotic bacteria. *Microbial Cell Factories*, 16(1), 79. <https://doi.org/10.1186/s12934-017-0691-z>
- Lopez, M., Li, N., Kataria, J., Russell, M. y Neu, J. (2008). Live and Ultraviolet-Inactivated *Lactobacillus Rhamnosus* GG Decrease Flagellin-Induced Interleukin-8 Production in Caco-2 Cells. *The Journal of Nutrition*, 138(11), 2264-2268. <https://doi.org/10.3945/jn.108.093658>
- Luong, T. M., Ponamareva, O. N., Nechaeva, I. A., Petrikov, K. V., Delegan, Ya. A., Surin, A. K., Linklater, D. y Filonov, A. E. (2018). Characterization of biosurfactants produced by the oil-degrading bacterium *Rhodococcus erythropolis* S67 at low temperature. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 34(2), 20. <https://doi.org/10.1007/s11274-017-2401-8>
- Martín, R., Miquel, S., Benevides, L., Bridonneau, C., Robert, V., Hudault, S., Chain, F., Berteau, O., Azevedo, V., Chatel, J. M., Sokol, H., Bermúdez-Humarán, L. G., Thomas, M. y Langella, P. (2017). Functional Characterization of Novel *Faecalibacterium prausnitzii* Strains Isolated from Healthy Volunteers: A Step Forward in the Use of *F. prausnitzii* as a Next-Generation Probiotic. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1226. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01226>
- Meimandipour, A., Hair-Bejo, M., Shuhaimi, M., Azhar, K., Soleimani, A. F., Rasti, B. y Yazid, A. M. (2010). Gastrointestinal tract morphological alteration by unpleasant physical treatment and modulating role of *Lactobacillus* in broilers. *British Poultry Science*, 51(1), 52-59. <https://doi.org/10.1080/00071660903394455>
- Merghni, A., Dallel, I., Noumi, E., Kadmi, Y., Hentati, H., Tobji, S., Ben Amor, A. y Mastouri, M. (2017). Antioxidant and antiproliferative potential of biosurfactants isolated from *Lactobacillus casei* and their anti-biofilm effect in oral *Staphylococcus aureus* strains. *Microbial Pathogenesis*, 104, 84-89. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.01.017>
- Mitrofanova, O., Mardanova, A., Evtugyn, V., Bogomolnaya, L. y Sharipova, M. (2017). Effects of *Bacillus* Serine Proteases on the Bacterial Biofilms. *BioMed Research International*, 2017, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2017/8525912>
- Moradi, M., Kousheh, S. A., Almasi, H., Alizadeh, A., Guimarães, J. T., Yilmaz, N. y Lotfi, A. (2020). Postbiotics produced by lactic acid bacteria: The next frontier in food safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3390-3415. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12613>
- Moradi, M., Molaei, R. y Guimarães, J. T. (2021). A review on preparation and chemical analysis of postbiotics from lactic acid bacteria. *Enzyme and Microbial Technology*, 143, 109722. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2020.109722>
- Morais, I. M. C., Cordeiro, A. L., Teixeira, G. S., Domingues, V. S., Nardi, R. M. D., Monteiro, A. S., Alves, R. J., Siqueira, E. P. y Santos, V. L. (2017). Biological and physicochemical properties of biosurfactants produced by *Lactobacillus jensenii* P6A and *Lactobacillus gasseri* P65. *Microbial Cell Factories*, 16(1), 155. <https://doi.org/10.1186/s12934-017-0769-7>
- Nataraj, B. H., Ali, S. A., Behare, P. V. y Yadav, H. (2020). Postbiotics-parabiotics: The new horizons in microbial biotherapy and functional foods. *Microbial Cell Factories*, 19(1), 168. <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01426-w>
- Nishida, K., Sawada, D., Kawai, T., Kuwano, Y., Fujiwara, S. y Rokutan, K. (2017). Para-psychobiotic *Lactobacillus gasseri* CP 2305 ameliorates stress-related symptoms and sleep quality. *Journal of Applied Microbiology*, 123(6), 1561-1570. <https://doi.org/10.1111/jam.13594>
- Oberg, T. S., Ward, R. E., Steele, J. L. y Broadbent, J. R. (2012). Identification of Plasmalogens in the Cytoplasmic Membrane of *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis*. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(3), 880-884. <https://doi.org/10.1128/AEM.06968-11>
- Preciado, G. M., Escalante-Minakata, P., Castro, J. A. O., Junquera, V. I., Chávez, J. A. M., González, C. N. A. y Herrera, R. R. (2013). *Bacteriocinas: Características y aplicación en alimentos*. 8.
- Řezanka, T., Křesinová, Z., Kolouchová, I. y Sigler, K. (2012). Lipidomic analysis of bacterial plasmalogens. *Folia Microbiologica*, 57(5), 463-472. <https://doi.org/10.1007/s12223-012-0178-6>
- 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. y 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>
- Satpute, S. K., Kulkarni, G. R., Banpurkar, A. G., Banat, I. M., Mone, N. S., Patil, R. H., y Cameotra, S. S. (2016). Biosurfactant/s from *Lactobacilli* species: Properties, challenges and potential biomedical applications. *Jour-*

- Journal of Basic Microbiology*, 56(11), 1140-1158. <https://doi.org/10.1002/jobm.201600143>
- Sawada, D., Kuwano, Y., Tanaka, H., Hara, S., Uchiyama, Y., Sugawara, T., Fujiwara, S., Rokutan, K. y Nishida, K. (2019). Daily intake of *Lactobacillus gasseri* CP2305 relieves fatigue and stress-related symptoms in male university Eki-den runners: A double-blind, randomized, and placebo-controlled clinical trial. *Journal of Functional Foods*, 57, 465-476. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.04.022>
- Sawada, D., Sugawara, T., Ishida, Y., Aihara, K., Aoki, Y., Takehara, I., Takano, K. y Fujiwara, S. (2016). Effect of continuous ingestion of a beverage prepared with *Lactobacillus gasseri* CP2305 inactivated by heat treatment on the regulation of intestinal function. *Food Research International*, 79, 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.11.032>
- Shin, H. S., Park, S. Y., Lee, D. K., Kim, S. A., An, H. M., Kim, J. R., Kim, M. J., Cha, M. G., Lee, S. W., Kim, K. J., Lee, K. O. y Ha, N. J. (2010). Hypocholesterolemic effect of sonication-killed *Bifidobacterium longum* isolated from healthy adult Koreans in high cholesterol fed rats. *Archives of Pharmacal Research*, 33(9), 1425-1431. <https://doi.org/10.1007/s12272-010-0917-7>
- Siciliano, R. A., Reale, A., Mazzeo, M. F., Morandi, S., Silveti, T. y Brasca, M. (2021). Paraprobiotics: A New Perspective for Functional Foods and Nutraceuticals. *Nutrients*, 13(4), 1225. <https://doi.org/10.3390/nu13041225>
- Sivieri, K., Morales, M. L. V., Adorno, M. A. T., Sakamoto, I. K., Saad, S. M. I. y Rossi, E. A. (2013). *Lactobacillus acidophilus* CRL 1014 improved «gut health» in the SHIME® reactor. *BMC Gastroenterology*, 13(1), 100. <https://doi.org/10.1186/1471-230X-13-100>
- Thakur, K., Lule, V., Kumar, N., Mandal, S., Anand, S., Kumari, V. y Tomar, S. (2016). Riboflavin Producing Probiotic *Lactobacilli* as a Biotechnological Strategy to Obtain Riboflavin-enriched Fermented Foods. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 10, 161-166.
- Tiptiri-Kourpeti, A., Spyridopoulou, K., Santarmaki, V., Aindelis, G., Tompoulidou, E., Lamprianidou, E. E., Saxami, G., Ypsilantis, P., Lampri, E. S., Simopoulos, C., Kotsianidis, I., Galanis, A., Kourkoutas, Y., Dimitrellou, D. y Chlichlia, K. (2016). *Lactobacillus casei* Exerts Anti-Proliferative Effects Accompanied by Apoptotic Cell Death and Up-Regulation of TRAIL in Colon Carcinoma Cells. *Plos One*, 11(2), e0147960. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147960>
- Tsilingiri, K. y Rescigno, M. (2013). Postbiotics: What else? *Beneficial Microbes*, 4(1), 101-107. <https://doi.org/10.3920/BM2012.0046>
- Van der Es, D., Hogendorf, W. F. J., Overkleeft, H. S., Van der Marel, G. A. y Codée, J. D. C. (2017). Teichoic acids: Synthesis and applications. *Chemical Society Reviews*, 46(5), 1464-1482. <https://doi.org/10.1039/C6CS00270F>
- Wallner, S. y Schmitz, G. (2011). Plasmalogens the neglected regulatory and scavenging lipid species. *Chemistry and Physics of Lipids*, 164(6), 573-589. <https://doi.org/10.1016/j.chemphyslip.2011.06.008>
- Wang, K., Niu, M., Song, D., Song, X., Zhao, J., Wu, Y., Lu, B. y Niu, G. (2020). Preparation, partial characterization and biological activity of exopolysaccharides produced from *Lactobacillus fermentum* S1. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 129(2), 206-214. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2019.07.009>
- Wang, S., Ahmadi, S., Nagpal, R., Jain, S., Mishra, S. P., Kavanagh, K., Zhu, X., Wang, Z., McClain, D. A., Kritchevsky, S. B., Kitzman, D. W. y Yadav, H. (2020). Lipoteichoic acid from the cell wall of a heat killed *Lactobacillus paracasei* D3-5 ameliorates aging-related leaky gut, inflammation and improves physical and cognitive functions: From *C. elegans* to mice. *GeroScience*, 42(1), 333-352. <https://doi.org/10.1007/s11357-019-00137-4>
- Wegh, A. M., Geerlings, S. Y., Knol, J., Roeselers, G. y Belzer, C. (2019). Postbiotics and Their Potential Applications in Early Life Nutrition and Beyond. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(19), 4673. <https://doi.org/10.3390/ijms20194673>
- Welman, A. D. y Maddox, I. S. (2003). Exopolysaccharides from lactic acid bacteria: Perspectives and challenges. *Trends in Biotechnology*, 21(6), 269-274.
- Williams, N. T. (2010). Probiotics. *American Journal of Health-System Pharmacy*, 67(6), 449-458. <https://doi.org/10.2146/ajhp090168>
- Xu, R., Aruhan, Xiu, L., Sheng, S., Liang, Y., Zhang, H., Liu, Y., Tong, H., Du, R. y Wang, X. (2019). Exopolysaccharides from *Lactobacillus buchneri* TCPO16 Attenuate LPS- and d-GaIN-Induced Liver Injury by Modulating the Gut Microbiota. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(42), 11627-11637. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b04323>
- Zeng, J., Jiang, J., Zhu, W. y Chu, Y. (2016). Heat-killed yogurt-containing lactic acid bacteria prevent cytokine-induced barrier disruption in human intestinal Caco-2 cells. *Annals of Microbiology*, 66(1), 171-178. <https://doi.org/10.1007/s13213-015-1093-2>
- Zhou, Y., Cui, Y. y Qu, X. (2019). Exopolysaccharides of lactic acid bacteria: Structure, bioactivity and associations: A review. *Carbohydrate Polymers*, 207, 317-332. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.11.093>
- Żółkiewicz, J., Marzec, A., Ruszczyński, M. y Feleszko, W. (2020). Postbiotics: A Step Beyond Pre- and Probiotics. *Nutrients*, 12(8), 2189. <https://doi.org/10.3390/nu12082189>
- Zucko, J., Starcevic, A., Diminic, J., Oros, D., Mortazavian, A. M. y Putnik, P. (2020). Probiotic - friend or foe? *Current Opinion in Food Science*, 32, 45-49. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.01.007>