

ARTÍCULO DE REVISIÓN

PROBIÓTICOS Y PREBIÓTICOS. UNA REVISIÓN AL TEMA

PROBIOTICS AND PREBIOTICS. A REVIEW ON THE SUBJECT

Maria de los Angeles Padrón Collazo^{a*} (0009-0005-1460-6753)

Ileana Martínez Cabrera^b (0000-0002-0840-6895)

Rubén Adonis Cabrera Arias^c (0009-0006-9394-3770)

^a Centro de Estudios Avanzados de Cuba (CEA), La Habana, Cuba.

^b Consultante en la industria biotecnológica y ensayos clínicos. España

^c Laboratorio Farmacéutico Roberto Escudero, La Habana, Cuba.

^{a,*} marpadron906@gmail.com

Recibido: 13 de diciembre 2023;

Aceptado: 24 de abril de 2024;

RESUMEN

En los últimos años, el campo de los probióticos y prebióticos ha experimentado un gran auge, lográndose avances científicos y clínicos que han permitido el desarrollo y comercialización de diversos productos. En paralelo, ha aumentado la demanda de probióticos por parte de unos consumidores cada vez más conscientes de la estrecha relación entre nuestra microbiota y la salud, ya sea en forma de suspensión, deshidratadas o añadido a matrices alimentarias. El mantenimiento de la viabilidad y vitalidad celular es de suma importancia, estos productos requieren el desarrollo de estrategias que aseguren la integridad de los componentes y funciones celulares que permiten la recuperación completa de las células al momento del consumo. Una vez consumidas, las células probióticas deben enfrentarse a un conjunto muy potente de cambios fisicoquímicos, mecanismos dentro del cuerpo, que incluyen enzimas, moléculas antibacterianas y cambios repentinos en el pH. Comprender la acción de estos agentes y la inducción de mecanismos de tolerancia celular es fundamental para la selección de cepas cada vez más eficientes con el fin de sobrevivir desde la producción hasta la colonización del tracto intestinal y promover los beneficios de salud deseados. Sin embargo, de los miles de cepas aisladas cada año por su potencial probiótico en los laboratorios de todo el mundo, muy pocas pasan a una fase de desarrollo industrial y menos aún son las que consiguen una vida comercial. En este artículo, se revisan aspectos generales relacionados con los probióticos y prebióticos hasta su comercialización, centrando mayor atención en probióticos naturales.

Palabras clave: Aspectos tecnológicos, funcionalidad, mercado, prebióticos, probióticos.

ABSTRACT

In recent years, the field of probiotics and prebiotics has experienced a boom, achieving scientific and clinical advances that have allowed the development and marketing of various products. In parallel, the demand for probiotics has increased from consumers who are increasingly aware of the close relationship between our microbiota and health, whether in the form of a suspension, dehydrated or added to food matrices. The maintenance of cell viability and vitality is of the utmost importance, these products require the development of strategies that ensure the integrity of the cell components and functions that allow the complete recovery of the cells at the time of consumption. Once consumed, probiotic cells must contend with a very potent set of physicochemical changes, mechanisms within the body, including enzymes, antibacterial molecules, and sudden changes in pH. Understanding the action of these agents and the induction of cellular tolerance mechanisms is essential for the selection of increasingly efficient strains in order to survive from production to colonization of the intestinal tract and promote the desired health benefits. However, of the thousands of strains isolated each year for their probiotic potential in laboratories around the world, very few make it to an industrial development phase and fewer still achieve a commercial life. In this article, general aspects related to probiotics and prebiotics until their commercialization are reviewed, focusing more attention on natural probiotics.

Keywords: Functionality, market, prebiotics, probiotics, technological aspects.

INTRODUCCIÓN

El término “probiótico”, etimológicamente procedente del griego “pro bios” (por la vida), fue empleado por primera vez por Vergio, quien, en 1954, comparó los efectos adversos que los antibióticos ejercían sobre la microbiota intestinal con las acciones beneficiosas ejercidas por otros factores que no pudo determinar. A principios del siglo XX se empezó a sugerir que la humanidad había hecho uso inadvertido de una multitud de microorganismos para la elaboración y/o conservación de numerosos alimentos estableciéndose una relación simbiótica entre estos con el individuo. Desde entonces se comenzaron los estudios para tratar de comprender esta relación, cuando en 1906, Cohendy, tras administrar leche fermentada por *Lactobacillus delbrueckii* a pacientes con alteraciones en sus “fermentaciones intestinales”, observó una notable mejoría tras 8-12 días de tratamiento. Tissier en el mismo año, había demostrado los beneficios clínicos derivados de la modulación de la microflora intestinal de niños con infecciones intestinales. El premio Nóbel ruso Elie Metchnikoff publicó en 1908 un libro con un impacto significativo en la comunidad científica titulado “Prolongation of Life”, en él postulaba que el consumo de las bacterias que intervenían en la fermentación del yogur contribuía al mantenimiento de la salud mediante la supresión de las bacterias putrefactivas de la microbiota intestinal, señala esto como causa de la longevidad de los campesinos búlgaros, grandes consumidores de yogur (Delgado Fernández, R. 2013). Por esa razón el objetivo de este artículo es revisar y actualiza para hacer frente a la evolución de la tecnología alimentaria y microbiología con nuevas definiciones que se anuncian a lo largo de las décadas (Andrade, et al. 2023) (Tabla 1).

Tabla 1. *Evolución del significado de probiótico.*

Definición	Referencias
Sustancias producidas por microorganismos que promueven el crecimiento de otros microorganismos.	Lilly, D.M.; Stillwell, R.H. 1965
“Organismos y sustancias que contribuyen al equilibrio microbiano intestinal”.	Parker, R.B. 1974
“Un complemento alimenticio microbiano vivo que afecta beneficiosamente al animal huésped al mejorar su equilibrio microbiano intestinal.”	Fuller, R. 1989
“Cultivo mono o mixto de microorganismos vivos que benefician a los humanos o a los animales al mejorar la propiedades de la microflora autóctona”.	Havenaar, R.; Huis In’t Veld, J.H.J. 1992
“Microorganismos vivos, que al ser ingeridos en cierta cantidad, ejercen beneficios para la salud más allá de nutrición básica inherente”.	Guarner, F.; Schaafsma, G.J. 1998
“Microorganismos vivos que, cuando se administran en cantidades adecuadas, confieren un beneficio para la salud del huésped”.	FAO; WHO 2002
“Célula microbiana viable o inviable (vegetativa o espora; intacta o rota) que es potencialmente saludable para el huésped”.	Zendeboodi, et al. 2020

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) acepta el término probiótico, definido por Gaurner y Schaafsma en 1998 como “microorganismos vivos que, cuando se consumen en cantidades apropiadas confieren al huésped efectos saludables” (Guarner, F.; Schaafsma, G.J. 1998. Nesterenko, et al. 2013). Sin embargo, en estudio reciente Zendeboodi y colaboradores (Zendeboodi, et al. 2020) propuso un nuevo diseño para productos probióticos que se desvía de los conceptos anteriores. En esta nueva definición las células probióticas no viables o incluso alteradas pueden tener efectos beneficiosos sobre el huésped. Además, varios términos nuevos surgieron en la literatura para manejar las innovaciones en la producción, formulación, eficacia y seguridad de los probióticos (Tabla 2).

Tabla 2. Glosario de las principales terminologías asociadas a los probióticos y prebióticos en la literatura específica.

Nombre	Definición	Referencias
Paraprobiótico	Células bacterianas muertas o componentes celulares para denotar salud beneficios más allá de la viabilidad inherente de los probióticos.	Cuevas-González, et al. 2020
Postbiótico	Cualquier sustancia liberada o producida a través del metabolismo de la actividad del microorganismo, que ejerce un efecto benéfico sobre el anfitrión, directa o indirectamente.	Tsilingiri, K.; Rescigno, M. 2013
Prebióticos	Sustrato que es utilizado de manera selectiva por los microorganismos del huésped para conferir un beneficio para la salud.	Gibson, et al. 2017
Simbiótico	Mezcla de prebióticos y probióticos para la mejora de la salud humana o animal.	Markowiak, P.; 'Sli'zewska, K. 2017

Investigaciones recientes han ampliado la aplicación de los probióticos más allá de la promoción de la salud, incluida la restauración de la salud en individuos enfermos. En este escenario, la formulación médica de estos microorganismos se puede emplear con fines terapéuticos para tratar el tracto gastrointestinal y enfermedades de causa infecciosa o no infecciosa (Silva, et al. 2020, Yadav, et al. 2022, Andrade, et al. 2023) ya que no hay restricción sobre el consumo de probióticos, además, cualquier propiedad de un probiótico puede mejorarse mediante la ingeniería genética para resolver situaciones económicas o para adaptarse a nuevos propósitos (Ma, et al. 2022). En esta revisión, no es objetivo este tema solo se centrará en probióticos naturales.

En la actualidad, los probióticos constituyen una alternativa a la utilización de antibióticos promotores del crecimiento animal, pues el uso de estos últimos está limitado o prohibido en muchos países, debido a la aparición de efectos residuales en los alimentos y a los problemas de resistencia microbiana, asociada con enfermedades del hombre y animales (Blajman, et al. 2015, Gao, et al. 2017). De forma general, en la literatura científica consultada no se encuentra abundante información acerca de los procesos de producción de los probióticos ni de sus estudios económicos. (Sosa, et al. 2018).

Los efectos benéficos de los probióticos no dependen del origen de la cepa. De hecho, es muy difícil confirmar la fuente de un microorganismo (FAO/WHO. 2001, Sosa, et al. 2018). La especificidad de la acción depende de la única o varias cepas que se empleen en los productos (Endo, A.; Gueimonde, M. 2016). Además, la eficacia de los preparados probióticos se puede incrementar cuando se seleccionan cepas más eficientes, se emplean mezclas de cepas, se realizan manipulaciones genéticas o cuando se combinan probióticos y componentes sinérgicos como los prebióticos (Bomba, et al. 2002). Sin embargo, debido a que no existe una metodología única para la evaluación de probióticos, ya que se utilizan diferentes dosis y modos de aplicación de estos aditivos, se pueden obtener resultados inconsistentes pues existen cepas con acciones específicas tales como *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium bifidum* y *Streptococcus thermophilus* que ayuda a la digestión de la lactosa, previene la diarrea y mejora la inmunidad y otras son multifuncionales como *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus plantarum* y *Bifidobacterium lactis* que además de las acciones anteriores previenen las infecciones respiratorias, urinarias y ayudan en la digestión de carbohidratos y proteínas. Al tener en cuenta las características anteriores, la FAO clasificó los probióticos en cuatro grandes grupos que se relacionan y ejemplifican en la tabla 3 (FAO. 2016).

Tabla 3. Clasificación de microorganismos usados como probióticos (adaptado de FAO. 2016)

Grupos	Clasificación	Ejemplos	Referencias
1	Bacterianos	<i>Lactobacillus</i> <i>Bifidobacterium</i>	y Pedroso, et al. 2013 y Mookiah, et al. 2014
2	No Bacterianos	<i>Aspergillus oryzae</i>	Shim, et al. 2012
	Formadores de esporas	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	Ahmed, et al. 2014
	No formadores de esporas	<i>Lactobacillus</i> <i>Bifidobacterium</i>	y Pedroso, et al. 2013 y Mookiah, et al. 2014
3	De una sola especie	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Abdel, et al. 2012
	Multiespecies o multicepa	<i>Lactobacillus</i> , <i>Bacillus</i> and <i>Streptococcus</i>	Rahman, et al. 2013
4	Alóctonos	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Bai, et al. 2013
	Autóctonos	<i>Lactobacillus pentosus</i>	García, et al. 2016

Según Anadón (Anadón, et al. 2016), los microorganismos más utilizados como probióticos son cepas de los géneros *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Bacillus*, *Enterococcus* y levaduras. En la literatura científica consultada, la mayoría de los estudios solo toman en cuenta ensayos in vitro para demostrar las potencialidades probióticas de las cepas. Algunos ejemplos de estos son los probióticos desarrollados con *Lactobacillus plantarum* (Cebeci, A.; Gürakan, C. 2003), *Lactobacillus acidophilus* BS y *Lactobacillus salivarius* AWH (Orłowski, A.; Bielecka, M. 2006), *Bacillus amyloliquefaciens* B-1895 y *Bacillus subtilis* KATMIRA1933 (AlGburi, et al. 2016). Todos estos microorganismos crecieron a bajos pH y a altas concentraciones de sales biliares, fueron capaces de producir compuestos antimicrobianos e inhibir el crecimiento de especies patógenas, lo que les confiere potencialidades como probióticos (Sosa, et al. 2018).

Aspectos tecnológicos

El hecho de que una cepa bacteriana crezca bien en condiciones de laboratorio (pequeños volúmenes, condiciones de crecimiento y la preparación del medio de cultivo) no implica que vaya a suceder lo mismo en condiciones industriales. En este sentido, las empresas que comercializan o desean comercializar probióticos se enfrentan a dos retos tecnológicos importantes (WHO. 2001): la necesidad de obtener una biomasa bacteriana muy elevada que sea rentable desde el punto de vista económico (FAO. 2002) y la necesidad de que la concentración de bacterias viables necesaria para ejercer el efecto beneficioso se mantenga hasta el final de la vida útil del producto. Ambos aspectos están relacionados con las características fisiológicas de cada cepa, por lo que las condiciones deben establecerse caso a caso.

La cepa elegida debe mantener su viabilidad y actividad probiótica durante los procesos de fabricación, transporte y almacenamiento (Dima, et al. 2014, Anadón, et al. 2016). Según informes de la FAO (FAO/WHO. 2002), los probióticos deben tener una concentración mínima de 10^6 - 10^7 células mL^{-1} o g^{-1} de producto para garantizar su eficacia. Asimismo, se deben considerar la dosis, frecuencia y modo de aplicación, edad y estado fisiológico del individuo que consume el probiótico.

La viabilidad también depende del formato en el que se vayan a administrar las bacterias ya que, por ejemplo, la vida útil de los productos lácteos probióticos refrigerados es un poco más corta que la de los productos liofilizados que se venden con una presentación medicamentosa (cápsula o polvo). A su vez, dentro de los productos liofilizados existen diversos parámetros (concentración de oxígeno, humedad y temperatura de almacenamiento) y formatos (nanoencapsulación, microencapsulación y recubrimientos) que juegan un papel importante en la estabilidad del producto. En cualquier caso, resulta inevitable que una proporción de bacterias mueran o resulten dañadas durante el proceso productivo o el almacenamiento del preparado probiótico y, en este sentido, las empresas suelen recurrir a la sobredosificación inicial, de tal manera que se conserve la dosis eficaz hasta el final de su vida útil (Rodríguez, J.M. 2015).

Varias formas farmacéuticas pueden basarse en células secas, como cápsulas, tabletas y sobres para administración oral (Bansal, T.; Garg, S. 2008, Granato, et al. 2010, Coman, et al. 2012). También pueden servir como cultivo iniciador para su aplicación en la industria láctea y como suplementos alimenticios (Dimitrellou, et al. 2008, Melin, et al. 2007). Para estos fines, las principales técnicas para el secado de células probióticas en la industria incluyen el secado por congelación y el secado por aspersión (Bommasamudram, et al. 2022). En la actualidad, la liofilización es el método más utilizado en la industria ya que elimina el agua sin la aplicación de altas temperaturas, conserva los microorganismos no termotolerantes y proporciona mayor viabilidad celular al final de los productos formulados (Huang, et al. 2017, da Silva Guedes, et al. 2019, Archacka, et al. 2020).

En estado seco, las actividades metabólicas de la célula y las funciones biológicas se detienen, pero se recuperan después de la rehidratación. La necesidad de precongelar la suspensión probiótica genera un alto consumo energético y limita la producción a gran escala (Archacka, et al. 2020, Akbarbaglu, et al. 2021). Por ser un proceso lento, con una duración de entre 24 a 48 h, puede favorecer la aparición de cristales de hielo que pueden causar daño a la membrana celular y desnaturalización de las proteínas. También se producen daños en los lípidos de la membrana y las proteínas celulares debido al estrés oxidativo (Andrade, et al. 2023). Más allá del estrés térmico, el estrés osmótico también es generado por el proceso de secado, debido a la disminución de la solubilidad del líquido que rodea la celda. Provoca variación en la concentración de sólidos en la suspensión, aumentando la osmolaridad y favoreciendo el paso de agua a través de la membrana celular, lo que podría conducir a la plasmólisis (Ranadheera, et al. 2012, Béal, et al. 2015, Tyutkov, et al. 2022). Por lo tanto, se han adoptado algunas estrategias para minimizar el daño causado por el proceso de secado, incluido el ajuste de los parámetros de secado, la aplicación de agentes protectores y la inducción de la adaptación celular.

Las células probióticas secas también se pueden producir aplicando el método de atomización a alta temperatura utilizando un dispositivo de secado por aspersión. Este método es más ventajoso que la liofilización porque es más rápido y directo. También consume menos energía y puede producir polvo seco ultrafino (entre 10 y 150 μm) que prolonga la vida útil de los productos (Huang, et al. 2017, Assadpour, E.; Jafari, S.M. 2019, Salama, A.H. 2020, Mendonsa, et al. 2020). Sin embargo, las temperaturas de secado, entre 150 °C y 250 °C, pueden tener efectos perjudiciales en los componentes de la célula y comprometer la calidad del producto si no se controlan y optimizan con precisión (Andrade, et al. 2023)

Las bacterias probióticas atomizadas tienen baja actividad de agua, mayor estabilidad bajo luminosidad, oxidación y alta temperatura durante las condiciones de almacenamiento, mientras que es fácil de manipular, almacenar y dispersar en soluciones acuosas (Okuyama, et al. 2006, Murugesan, R.; Orsat, V. 2012). Sin embargo, la exposición del probiótico a altas temperaturas puede causar estrés térmico, oxidativo y osmótico en las células, lo que conduce al deterioro de los ribosomas, dañando las proteínas de la membrana y desestabilizando las estructuras de la membrana (Hlaing, et al. 2017, Rodklongtan, et al. 2022)

La efectividad de cualquier proceso de secado depende de la retención de algo de agua en el citosol celular. La pérdida excesiva de agua produce una desecación intracelular que induce un estado celular denominado anhidrobiosis, en el que se paralizan las funciones vitales. Entonces, el desafío es paralizar, pero no inactivar el metabolismo celular (Alpert, P. 2005). Este mantenimiento del metabolismo mínimo permite que las células restablezcan sus actividades biológicas durante la rehidratación.

La adición de moléculas protectoras en el sustrato de cultivo en la etapa de producción de biomasa y la inducción de mecanismos moleculares de tolerancia deberían contribuir al mantenimiento exitoso de la población de células probióticas tanto durante el secado como durante la rehidratación. La protección de células en matrices en forma de microcápsulas parece ser una importante alternativa tecnológica para mantener una adecuada viabilidad celular. La microencapsulación es un proceso utilizado actualmente para mantener la viabilidad y vitalidad celular durante los procesos de secado (Burgain, et al. 2011). Además, este proceso permite una mejor protección de las bacterias probióticas durante el procesamiento, almacenamiento y paso a través del tracto gastrointestinal hasta su sitio de adsorción (Bommasamudram, et al. 2022, Rama, et al. 2020). Este proceso se puede realizar por métodos físico-químicos o mecánicos, atrapando las células en estructuras de hasta 1 mm de diámetro circunscritas por una membrana permeable, semipermeable o no permeable compuesta por el agente protector utilizado. Esto se realiza durante el secado de las células por liofilización o atomización (Andrade, et al. 2023).

Además de la acción protectora, los materiales utilizados para encapsular los probióticos deben ser seguros para el consumo y presentar potencial emulsionante, baja viscosidad y características biodegradables (Abdel-salam, M.H.; El-Shibiny, S. 2012). Los principales encapsulantes utilizados son: carbohidratos (almidón y derivados, maltodextrinas, jarabes de maíz, sacarosa, dextrana, ciclodextrinas, carboximetilcelulosa, metilcelulosa, etilcelulosa, nitrocelulosa, acetilcelulosa); gomas (arábica, mezquite, guar, alginato de sodio, carragenina); lípidos (ceras, parafinas, grasas, ácido esteárico, tristearina, mono y diglicéridos) y proteínas (gelatina, proteína de soya, caseinatos, suero de leche, zeína, gluten, caseína). Estos encapsulantes deben tener la capacidad de proporcionar una emulsión estable durante el proceso de secado por aspersión y tener muy buenas propiedades de formación de película para proveer una capa que proteja al ingrediente activo de la oxidación. (Yáñez, et al. 2002, Goud K, Jin Park H. 2005, López Hernández, O.D. 2010). Por lo tanto, el tipo de material utilizado como encapsulante, la densidad celular inicial, el estado metabólico y el tamaño de las partículas pueden interferir en la viabilidad final de las bacterias probióticas (Chen, M.-J.; Chen, K.-N. 2007).

Cuando se usan polisacáridos como agentes encapsulantes, como en el secado por aspersión, también deben revisarse detalladamente sus propiedades funcionales. Por ejemplo, las maltodextrinas se usan en combinación con goma arábica para contribuir en la continuidad estructural durante la formación de la película encapsulante, al combinar 2 compuestos de muy diferente masa molecular (aproximadamente 1,8 y 1 700 kDa respectivamente) mejorando con ello la eficiencia de encapsulación de aceites, aún de bajo peso molecular. Sin embargo, el grado de hidrólisis de las maltodextrinas también es un factor a considerar, ya que equivalentes de dextrosa muy bajos no tienen el efecto positivo mencionado. Recientemente se ha demostrado, que por la interacción existente entre la goma arábica y los lípidos se previene su oxidación. El mecanismo propuesto está relacionado con las propiedades de la goma arábica de adsorberse en la interfase aceite/agua formando una película viscoelástica, donde los lípidos contribuyen con la coherencia de la estructura a través de la formación de empalmes o uniones por medio de gotitas de aceite en los anclajes de las cadenas de la goma arábica. Se ha reconocido el efecto benéfico de protección de los ácidos grasos poliinsaturados contra la oxidación usando polisacáridos. (Pedroza, et al. 2002, López Hernández, O.D. 2010).

Para evaluar la sustitución de la goma arábica por otros agentes encapsulantes, McNamee y colaboradores prepararon emulsiones con concentraciones entre 14,3 y 44,7 %. Secaron a temperaturas de entrada y salida de 180 °C y 100-120 °C respectivamente. Se concluyó que el uso de almidón de maíz como reemplazante total de la goma arábica produce un polvo con una eficiencia de encapsulación pobre (30 %). Sin embargo, cuando se

combinan los materiales de la pared (50 % de glucosa y 50 % de goma arábica) se alcanza una eficiencia de encapsulación elevada (92 %). Además, se demostró que la goma arábica puede ser reemplazada parcialmente por maltodextrina o almidones (DE 5,5-38) para encapsular materiales lipídicos, y que la elevación de la concentración de sólidos en la emulsión incrementa significativamente la eficiencia de encapsulación (McNamee, et al. 2001).

Estudios realizados por Alfaro-Galarza y colaboradores evaluaron dos prebióticos (almidón de arroz y malanga) como material pared en la viabilidad del microorganismo *Lactobacillus casei subs. Paracasei* encapsulado mediante secado por aspersión. Los almidones de arroz y malanga aislados, obtuvieron 82.60 y 86.68% de almidón total respectivamente, en el contenido de amilosa el arroz presentó 17.34% y malanga 9.44%, la fase exponencial del microorganismo se presentó a las 14 h, morfológicamente presentaron forma poliédrica y superficie lisa, se lograron formar agregados con forma de palomita de maíz y finalmente la eficiencia de encapsulación quedó en el orden de 10^8 . Tanto el almidón de arroz y malanga ofrecen una excelente opción para el probiótico *Lactobacillus casei subs. Paracasei*, debido a que su fuente de carbono es la glucosa, sin embargo la viabilidad del microorganismo se ve menos afectada en el almidón de malanga ya que los microorganismos se encuentran dentro de la cápsula y con menos porosidad entre el aglomerado, al contrario de lo que ocurre con el almidón de arroz, que al tener los aglomerados con pequeños huecos puede suceder que los microorganismos emigren al exterior de la micrcápsula lo que los dejaría más expuestos al ambiente y por lo tanto afectando su viabilidad (Alfaro-Galarza, et al. 2019).

En la literatura se pueden encontrar muchos otros estudios sobre el aumento de la viabilidad de los probióticos después del proceso de microencapsulación, y los materiales encapsulantes con su acción protectora.

Características funcionales que es conveniente que presente el probiótico

Las propiedades funcionales por las que se seleccione un probiótico pueden ser muy amplio y diverso como nos permita la tecnología y el presupuesto disponible (Rodríguez, J. M., 2015). En principio, es necesario saber el uso que se dará al probiótico y sobre qué población se pretende aplicar; de esta manera, se seleccionarán las cepas pertinentes mediante las pruebas más adecuadas para poner de manifiesto las propiedades relevantes que permitan alcanzar el objetivo final.

Los microorganismos empleados como probióticos deben sobrevivir a las condiciones del ambiente gastrointestinal, mostrar adherencia a las superficies epiteliales y persistencia en el tracto gastrointestinal, inmunoestimulación, pero sin efecto proinflamatorio. Además es importante su actividad antagonista contra patógenos y tener propiedades antimutagénicas y anti carcinogénicas (Usca-Méndez, et al. 2020).

Los mecanismos de acción de los probióticos incluyen inducción a pH inferior a 4, producción de ácido láctico, disminución de la permeabilidad intestinal, aumento de la actividad de la lactasa y efecto competitivo en otras bacterias patógenas. La utilidad clínica de los probióticos es diferente en cada caso y depende de la cepa y de la dosis administrada (Rondon, et al. 2015).

El uso actual de los organismos probióticos pretende, en más del 90% de los casos, prevenir o erradicar las infecciones en las cavidades accesibles desde el exterior, principalmente las del tracto digestivo y la vagina. Dentro de las primeras, se utilizan en el control de la diarrea, sea esta de origen infeccioso o iatrogénico, el estreñimiento, la intolerancia a la lactosa, la pouchitis, la enterocolitis necrotizante, el cólico del lactante, el síndrome del intestino irritable, etc. A nivel ginecológico se usan en vaginosis y vulvovaginitis de cualquier etiología, en la prevención de recidivas de dichos cuadros, en la prevención de la infección urinaria, en la corrección de los trastornos asociados a la menopausia y en las mastitis.

El efecto protector de los probióticos viene también determinado por la generación de compuestos antimicrobianos. El más universal es el ácido (láctico, acético, propiónico y/o butírico) que resulta del metabolismo fermentativo de los azúcares, dado que la mayoría de los organismos probióticos son anaerobios aerotolerantes o estrictos. También juega un papel la producción de bacteriocinas, que son péptidos que producen poros en la membrana de las bacterias susceptibles o inducen su lisis, siendo por tanto bactericidas. Por último,

la generación de agua oxigenada es un carácter muy demandado en los candidatos a probióticos vaginales, porque juega un papel capital en la protección de dicha cavidad.

Mercado

La creciente demanda del mercado de métodos naturales capaces de realizar funciones positivas en la salud humana ha intensificado la búsqueda de productos probióticos y, en consecuencia, su producción a escala industrial (Bustamante, et al. 2020). En 2018 el mercado mundial fue de 43,8 billones de dólares, segmentándose en un 71% para yogures, 16% para leche acidificada y 13% para complementos alimenticios (Morán, J. 2019) (Figura 1).

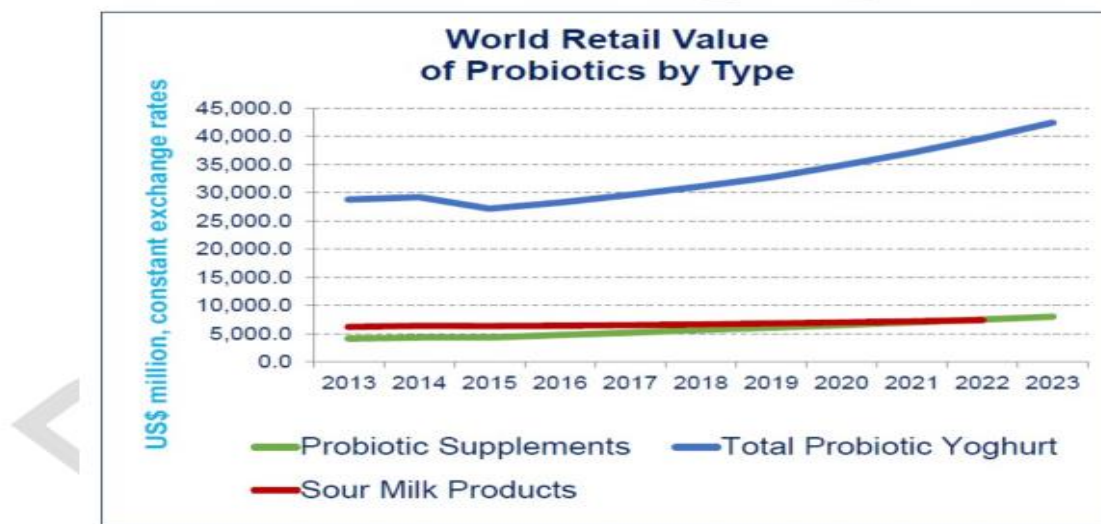


Fig. 1. Comportamiento de mercado mundial de probióticos por tipo. Tomado de: Informe sobre las posibilidades del uso del término “probiótico” en la unión europea (2019).

En 2021, el mercado probiótico se valoró en 58 170 millones de dólares y se espera que se expanda a una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 7,5 % entre 2021 y 2030 (Figura 2).

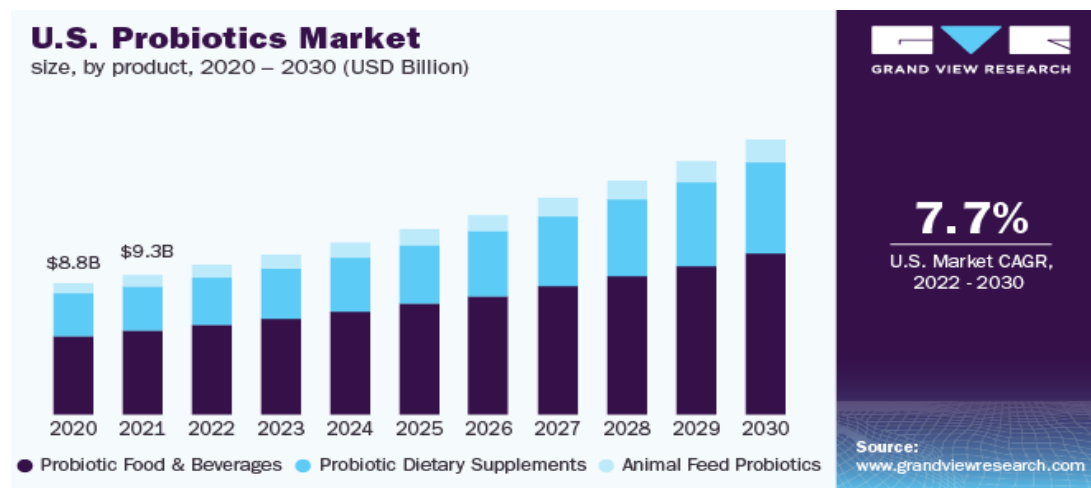


Fig. 2. Tendencias, participación y tamaño del mercado de probióticos por producto (alimentos y bebidas, suplementos dietéticos, alimentación animal), 2020 – 2030. (Tomado de: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/probiotics-market>)

Para 2027, se espera que el valor alcance los 74 mil millones de dólares, con una tasa CAGR del 7,4% entre 2020 y 2027. La región de Asia Pacífico es el mercado más grande de probióticos, seguida de Europa y América del Norte. En América Latina, el mercado de probióticos también ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años. Se espera que el mercado alcance los 9,9 mil millones de dólares para 2025, con una tasa CAGR del 8,2% entre 2020 y 2025. Los principales países de la región en el mercado probiótico son Brasil, México, Argentina y Colombia.

En Cuba, la investigación sobre probióticos se ha centrado principalmente en la caracterización de cepas de bacterias probióticas y en la evaluación de sus efectos en la salud humana y animal. Se han llevado a cabo varios estudios clínicos y preclínicos para evaluar los efectos de los probióticos en la prevención y el tratamiento de enfermedades gastrointestinales, inmunológicas y respiratorias. Además, se han desarrollado productos probióticos nacionales, como el yogur probiótico y el suplemento probiótico, que se comercializan en el mercado local. Se espera que el mercado probiótico experimente un crecimiento en los próximos años.

CONCLUSIONES

El desarrollo de probióticos para la producción animal y humana se hace indispensable, debido a los beneficios que ofrecen estos aditivos en la salud y el bienestar. Por esta razón, es fundamental definir el proceso tecnológico, la cepa o combinación que se empleen de estas y la protección de las células en matrices en forma de microcápsulas. La microencapsulación es recomendada para aplicaciones en la industria alimenticia; se ha observado en los últimos años un incremento significativo en esta industria. Esta técnica desempeñará un papel importante en un futuro muy cercano; es por lo anterior que algunas compañías e institutos investigadores están buscando nuevos ingredientes con posibles beneficios saludables. La encapsulación es una técnica que permite el empaquetamiento de alimentos, o materiales como aceites, bacterias probióticas, enzimas, lactosuero, pigmentos vegetales, minerales, vitaminas y aditivos alimenticios. Los principales agentes utilizados para encapsular son polivinil alcohol, alginatos, lípidos, carbohidratos, gomas y proteínas; esta encapsulación se lleva a cabo a través de diferentes procesos, ya sea, físicos o mecánicos; la técnica de secado por aspersión, es la más importante y utilizada en la industria alimentaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel Raheem, S.M., A.R., Abd-Allah, S.M. & Hassanein, K.M. (2012). The effects of prebiotic, probiotic and synbiotic supplementation on intestinal microbial ecology and histomorphology of broiler chickens. *International Journal for Agro Veterinary and Medical Sciences*, 6(4), 277-289.
- Abdel-salam, M.H.; El-Shibiny, S. (2012). Formation and Potential Uses of Milk Proteins as NanoDelivery Vehicles for Nutraceuticals: A Review. *Int. J. Dairy Technol.*, 65, 13–21. [CrossRef]
- Ahmed, S.T., Islam, M.M., Mun, H.S., Sim, H.J., Kim, Y.J. & Yang, C.J. (2014). Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* as a probiotic strain on growth performance, cecal microflora, and fecal noxious gas emissions of broiler chickens. *Poultry Science*, 93(8), 1963-1971.
- Akbarbaglu, Z., Peighambaroust, S.H., Sarabandi, K., Jafari, S.M. (2021). Spray Drying Encapsulation of Bioactive Compounds within Protein-Based Carriers; Different Options and Applications. *Food Chem.*, 359, 129965. [CrossRef]
- Alfaro-Galarza, O., Chavarría-Hernández, N., Vargas-Torres, A., Zaragoza-Bastida, A., Palma-Rodríguez, H.M. (2019). Microencapsulación de Probióticos mediante Secado por Aspersión. Alfaro-Galarza, et al. (Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos) /Vol.4.
- AlGhuri, A., Volski, A., Cugini, C., Walsh, E.M., Chistyakov, V.A., Mazanko, M.S., Bren, A.B., Dicks, L.M.T. & Chikindas, M.L. (2016). Safety properties and probiotic potential of *Bacillus subtilis* KATMIRA1933 and *Bacillus amyloliquefaciens* B-1895. *Advances in Microbiology*, 6, 432-452.
- Alpert, P. (2005). The Limits and Frontiers of Desiccation-Tolerant Life. *Integr. Comp. Biol.*, 45, 685–695. [CrossRef]

- Anadón, A., Martínez-Larrañaga, M.R., Arés, I. & Aránzazu Martínez, M. (2016). Prebiotics and probiotics: An assessment of their safety and health benefits. In: Probiotics, prebiotics, and synbiotics: Bioactive foods in health promotion. Vol 1.
- Andrade, A., Pinto-Neto, W. P., & Alves, G. (2023). Journey of the Probiotic Bacteria: Survival of the Fittest. *Microorganisms*, 11(1), 95. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11010095>
- Archacka, M., Celin'ska, E., Białas, W. (2020). Techno-Economic Analysis for Probiotics Preparation Production Using Optimized Corn Flour Medium and Spray-Drying Protective Blends. *Food Bioprod. Process.*, 123, 354–366. [CrossRef]
- Assadpour, E., Jafari, S.M. (2019). Advances in Spray-Drying Encapsulation of Food Bioactive Ingredients: From Microcapsules to Nanocapsules. *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, 10, 103–131. [CrossRef] [PubMed]
- Bai, S.P., Wu, A.M., Ding, X.M., Lei, Y., Bai, J., Zhang, K.Y. & Chio, J.S. (2013). Effects of probiotic-supplemented diets on growth performance and intestinal immune characteristics of broiler chickens. *Poultry Science*, 92, 663-670.
- Bamforth, C.W. (2005). Food, fermentation and microorganisms. Blackwell Science Ltd a Blackwell Publishing company, United State of America. ISBN: 978-0632-05978-4.
- Banic', M., Uroic', K., Leboš Pavunc, A., Novak, J.; Zoric', K., Durgo, K., Petkovic', H., Jamnik, P., Kazazic', S., Kazazic', S., et al. (2018). Characterization of S-Layer Proteins of Potential Probiotic Starter Culture *Lactobacillus Brevis* SF9B Isolated from Sauerkraut. *LWT*, 93, 257–267. [CrossRef]
- Bansal, T., Garg, S. (2008). Probiotics: From Functional Foods to Pharmaceutical Products. *Curr. Pharm. Biotechnol*, 9, 267–287. [CrossRef]
- Béal, C., Fonseca, F. (2015). Freezing of Probiotic Bacteria. In *Advances in Probiotic Technology*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, pp. 179–212.
- Beumer, R.R., teGiffel, M.C., Cox, L.J., Rombouts, F.M., Abee, T. (1994). Effect of Exogenous Proline, Betaine, and Carnitine on Growth of *Listeria Monocytogenes* in a Minimal Medium. *Appl. Environ. Microbiol.*, 60, 1359–1363. [CrossRef] [PubMed]
- Bellikci-Koyu, E., Sarer-Yurekli, B.P., Karagozlu, C., Aydin-Kose, F., Ozgen, A.G., Buyuktuncer, Z. (2022). Probiotic Kefir Consumption Improves Serum Apolipoprotein A1 Levels in Metabolic Syndrome Patients: A Randomized Controlled Clinical Trial. *Nutr. Res.*, 102, 59–70. [CrossRef]
- Bjelošević', M., Seljak, K.B., Trstenjak, U., Logar, M.; Brus, B.; Ahlin Grabnar, P. (2018). Aggressive Conditions during Primary Drying as a Contemporary Approach to Optimise Freeze-Drying Cycles of Biopharmaceuticals. *Eur. J. Pharm. Sci.*, 122, 292–302. [CrossRef]
- Blajman, J., Gaziano, C., Zbrun, M.V., Soto, L., Astesana, D., Berisvil, A., Romero, A., Signorini, M. & Frizzo L. (2015). In vitro and in vivo screening of native lactic acid bacteria toward their selection as a probiotic in broiler chickens. *Research in Veterinary Science*, 101, 50-56.
- Bomba, A., Nemcová, R., Mudroňová, D. & Guba, P. (2002). The possibilities of potentiating the efficacy of probiotics. *TRENDS Food Science and Technology*, 13, 121-126.
- Bommasamudram, J., Muthu, A., Devappa, S. (2022). Effect of Sub-Lethal Heat Stress on Viability of *Lactobacillus Casei* N in Spray-Dried Powders. *LWT*, 155, 112904. [CrossRef]
- Brazil Probiotics Market–Forecasts from 2020 to 2025. <https://www.researchandmarkets.com/r/r1axqw> (accessed on 9 November 2022).
- Burgain, J., Gaiani, C., Linder, M., Scher, J. (2011). Encapsulation of Probiotic Living Cells: From Laboratory Scale to Industrial Applications. *J. Food Eng.*, 104, 467–483. [CrossRef]

- Bustamante, M., Oomah, B.D., Oliveira, W.P., Burgos-Díaz, C., Rubilar, M., Shene, C. (2020). Probiotics and Prebiotics Potential for the Care of Skin, Female Urogenital Tract, and Respiratory Tract. *Folia Microbiol.*, 65, 245–264. [CrossRef] [PubMed]
- Cayley, S., Lewis, B.A., Guttman, H.J., Record, M.T. (1991). Characterization of the Cytoplasm of *Escherichia Coli* K-12 as a Function of External Osmolarity. *J. Mol. Biol.*, 222, 281–300. [CrossRef]
- Cebeci, A. & Gürakan, C. (2003). Properties of potential probiotic *Lactobacillus plantarum* strains. *Food Microbiology*, 20, 511-518.
- Chen, M.-J., Chen, K.-N. (2007). Applications of Probiotic Encapsulation in Dairy Products. In *Encapsulation and Controlled Release Technologies in Food Systems*; Blackwell Publishing: Ames, IA, USA, pp. 83–112.
- Costa, K., Silva, L.S., Kobori, C.N., Silva, A.M., Nicoli, J.R. (2022). Microencapsulation of *Bifidobacterium Longum* 5 1A Cells by Spray Drying and Its Incorporation in Acerola (*Malpighiaemarginata*) Pulp Powder. *Int. J. FoodSci. Technol.*, 57, 323–329. [CrossRef]
- Coman, M.M., Cecchini, C., Verdenelli, M.C., Silvi, S., Orpianesi, C., Cresci, A. (2012). Functional Foods as Carriers for SYN BIO®, a Probiotic Bacteria Combination. *Int. J. Food Microbiol.*, 157, 346–352. [CrossRef]
- Cuevas-González, P.F., Liceaga, A.M., Aguilar-Toalá, J.E. (2020). Postbiotics and Paraprobiotics: From Concepts to Applications. *Food Res. Int.*, 136, 109502. [CrossRef]
- Endo, A. & Gueimonde, M. (2016). Isolation, Identification and characterization of potential new probiotics. In: *Advances in Probiotic Technology*. Foerst, P. & Santivarangkna, C. Taylor & Francis Group, LLC, p. 45. ISBN: 978-1-4987-3458-5.
- Da Silva Guedes, J., Pimentel, T.C., Diniz-Silva, H.T., Tayse da Cruz Almeida, E., Tavares, J.F., Leite de Souza, E., Garcia, E.F., Magnani, M. (2019). Protective Effects of β -Glucan Extracted from Spent Brewer Yeast during Freeze-Drying, Storage and Exposure to Simulated Gastrointestinal Conditions of Probiotic *Lactobacilli*. *LWT*, 116, 108496. [CrossRef]
- Delgado Fernández, R. (2013). Probióticos y salud humana [Probiotics and human health]. *Mediciego*, 19, (Supl. 2). ISSN 1029-3035 RNPS 1821.
- Depaz, R.A., Pansare, S., Patel, S.M. (2016). Freeze-Drying Above the Glass Transition Temperature in Amorphous Protein Formulations While Maintaining Product Quality and Improving Process Efficiency. *J. Pharm. Sci.*, 105, 40–49. [CrossRef]
- Dima, S., Bahrim, G.E. & Iordăchescu, G. (2014). Sources, production and microencapsulation of probiotics. In: *Probiotics and prebiotics in food, nutrition and health*. Ötles, S. Taylor & Francis Group, LLC, Turkey, p. 25. ISBN: 978-1-46658624-6 (eBook - PDF).
- Dimitrellou, D., Tsaousi, K., Kourkoutas, Y., Panas, P.; Kanellaki, M., Koutinas, A.A. (2008). Fermentation Efficiency of Thermally Dried Immobilized Kefir on Casein as Starter Culture. *Process Biochem.*, 43, 1323–1329. [CrossRef]
- Food and Agricultural Organization of the United Nations and World Health Organization (2001). Health and nutritional properties of probiotics in food including powder milk with live lactic acid bacteria. WHO 2001.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations and World Health Organization. (2002). Joint FAO/WHO working group report on drafting guidelines for the evaluation of probiotics in food. FAO 2002.
- FAO; WHO. (2002). Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food; FAO: London, ON, Canada, 2002.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2016). Probiotics in animal Nutrition-Production, impact and regulation by Yadav S. Bajagai, Athol V. Klieve, Peter J. Dart and Wayne L. Bryden. Editor Harinder P.S. Makkar. FAO Animal Production and Health Paper No. 179. Rome.
- Foligné, B., Daniel, C., Pot, B. (2013). Probiotics from Research to Market: The Possibilities, Risks and Challenges. *Curr. Opin. Microbiol.*, 16, 284–292. [CrossRef] [PubMed]
- Fu, N., Chen, X.D. (2011). Towards a Maximal Cell Survival in Convective Thermal Drying Processes. *Food Res. Int.*, 44, 1127–1149. [CrossRef]
- Fuller, R. (1989). Probiotics in Man and Animals. *J. Appl. Bacteriol.*, 66, 365–378. [CrossRef]
- Galinski, E.A. (1995). Osmoadaptation in Bacteria. *Adv. Microb. Physiol.*, 37, 272–328. [PubMed]
- García, Y., Pérez, T., Boucourt, R., Balcázar, J.L., Nicoli, J.R., Moreira, J., Rodríguez Z., Fuertes H., Nuñez O., Albelo N. & Halaihel N. (2016). Isolation, characterization and evaluation of probiotic lactic acid bacteria for potential use in animal production. *Research in Veterinary Science.*, 108, 125-132.
- Gao, P., Ma, C., Sun, Z., Wang, L., Huang, S., Su, X., Xu, J. & Zhang, H. (2017). Feed-additive probiotics accelerate yet antibiotics delay intestinal microbiota maturation in broiler chicken. *Microbiome*, 5, 91-104.
- Guarner, F. and Schaafsma, G.J. (1998) Probiotics. *International Journal of Food Microbiology*, 39, 237-238.[http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1605\(97\)00136-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1605(97)00136-0)
- Grefte, V.R.G., Michiels, J. (2020). Desiccation-Induced Cell Damage in Bacteria and the Relevance for Inoculant Production. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 104, 3757–3770. [CrossRef]
- 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.; et al. (2017). Expert Consensus Document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) Consensus Statement on the Definition and Scope of Prebiotics. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.*, 14, 491–502. [CrossRef]
- Gismondo, M.R., Drago, L., Lombardi, A. (1999). Review of Probiotics Available to Modify Gastrointestinal Flora. *Int. J. Antimicrob. Agents*, 12, 287–292. [CrossRef] [PubMed]
- Granato, D., Branco, G.F., Nazzaro, F., Cruz, A.G., Faria, J.A.F. (2010). Functional Foods and Nondairy Probiotic Food Development: Trends, Concepts, and Products. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 9, 292–302. [CrossRef] [PubMed]
- Goud K, Jin Park H. (2005). Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients. *Dry Technol.*, 23, 1361-94
- Havenaar, R., Huis In't Veld, J.H.J. (1992). Probiotics: A General View. In *The Lactic Acid Bacteria Volume 1*; Springer US: Boston, MA, USA, pp. 151–170.
- Hecker, M., Völker, U. (2001). General Stress Response of *Bacillus Subtilis* and Other Bacteria. *Adv. Microb. Physiol.*, 44, 35–91. [PubMed]
- Hlaing, M.M., Wood, B.R., McNaughton, D., Ying, D., Dumsday, G., Augustin, M.A. (2017). Effect of Drying Methods on Protein and DNA Conformation Changes in *Lactobacillus Rhamnosus* GG Cells by Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.*, 65, 1724–1731. [CrossRef] [PubMed]
- Huang, S., Vignolles, M.L., Chen, X.D., leLoir, Y., Jan, G., Schuck, P., Jeantet, R. (2017). Spray Drying of Probiotics and Other Food-Grade Bacteria: A Review. *Trends Food Sci. Technol.*, 63, 1–17. [CrossRef]
- Kim, S.X., Çamdere, G., Hu, X., Koshland, D., Tapia, H. (2018). Synergy between the Small Intrinsically Disordered Protein Hsp12 and Trehalose Sustain Viability after Severe Desiccation. *Elife*, 7, e38337. [CrossRef]

- Kowalska, E., Ziarno, M., Ekielski, A., 'Zelazin'ski, T. (2022). Materials Used for the Microencapsulation of Probiotic Bacteria in the Food Industry. *Molecules*, 27, 3321. [CrossRef]
- Laskowska, E., Kuczyn'ska-Wis'nik, D. (2020). New Insight into the Mechanisms Protecting Bacteria during Desiccation. *Curr. Genet.*, 66, 313–318. [CrossRef]
- Leylak, C., Özdemir, K.S., Gurakan, G.C., Ogel, Z.B. (2021). Optimisation of Spray Drying Parameters for *Lactobacillus Acidophilus* Encapsulation in Whey and Gum Arabic: It's Application in Yoghurt. *Int. Dairy J.*, 112, 104865. [CrossRef]
- Lilly, D.M., Stillwell, R.H. (1965). Probiotics: Growth-Promoting Factors Produced by Microorganisms. *Science*, 147, 747–748. [CrossRef]
- Liu, H., Gong, J., Chabot, D., Miller, S.S., Cui, S.W.; Zhong, F.; Wang, Q. (2018). Improved Survival of *Lactobacillus Zeae* LB1 in a Spray Dried Alginate-Protein Matrix. *Food Hydrocoll.*, 78, 100–108. [CrossRef]
- López Hernández, O.D. (2010). Microencapsulation of oily substances by aspersion drying *Revista Cubana de Farmacia.*, 44(3), 381-389
- Ma, J., Lyu, Y., Liu, X., Jia, X., Cui, F., Wu, X., Deng, S., Yue, C. (2022). Engineered Probiotics. *Microb. Cell Fact.*, 21, 72. [CrossRef]
- Madhu, A.N., Awasthi, S.P., Bhasker, K., Reddy, P.K., Gurudutt Prapulla, S. (2011). Impact of Freeze and Spray Drying on the Retention of Probiotic Properties of *Lactobacillus Fermentum*: An in Vitro Evaluation Model. *Int. J. Microbiol. Res.*, 2, 243–251.
- Markets and Markets Probiotics Market by Product Type (Functional Food & Beverages, Dietary Supplements, and Feed), Ingredient (Bacteria and Yeast), End User (Human and Animal), Distribution Channel, and Region–Global Forecast to 2027. <https://www.marketresearch.com/MarketsandMarkets-v3719/Probiotics-Product-Type-Functional-Food32586440/> (accessed on 9 November 2022).
- Markowiak, P., 'Sli'zewska, K. (2017). Effects of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics on Human Health. *Nutrients*, 9, 1021. [CrossRef]
- Massounga Bora, A.F., Li, X., Zhu, Y., Du, L. (2019). Improved Viability of Microencapsulated Probiotics in a Freeze-Dried Banana Powder During Storage and Under Simulated Gastrointestinal Tract. *ProbioticsAntimicrob. Proteins*, 11, 1330–1339. [CrossRef] [PubMed]
- McNamee B, Dolores E, O'Sullivan M. (2001). Effect of partial replacement of gum arabic with carbohydrates on its microencapsulation properties. *J Agric Food Chem.*, 49, 3385-8.
- Melin, P., Sundh, I.; Håkansson, S., Schnürer, J. (2007). Biological Preservation of Plant Derived Animal Feed with Antifungal Microorganisms: Safety and Formulation Aspects. *Biotechnol. Lett.*, 29, 1147–1154. [CrossRef] [PubMed]
- Mendonsa, N., Almutairy, B., Kallakunta, V.R., Sarabu, S., Thipsay, P., Bandari, S., Repka, M.A. (2020). Manufacturing Strategies to Develop Amorphous Solid Dispersions: An Overview. *J. Drug Deliv. Sci. Technol.*, 55, 101459. [CrossRef] [PubMed]
- Minami, M., Tsuji, S., Akagawa, S., Akagawa, Y., Yoshimoto, Y., Kawakami, H., Kohno, M., Kaneko, K. (2022). Effect of a Bifidobacterium Containing Acid-Resistant Microcapsule Formulation on Gut Microbiota: A Pilot Study. *Nutrients*, 14, 4829. [CrossRef]
- Mookiah, S., Sieo, C.C., Ramasamy, K., Abdullah, N. & Ho, Y. W. (2014). Effects of dietary prebiotics, probiotic and synbiotics on performance, caecal bacterial populations and caecal fermentation concentrations of broiler chickens. *Journal of the Science of Food and Agriculture.*, 94(2), 341-348.
- Mordor Intelligence Probiotics Market–Growth, Trends, and Forecasts (2022–2027). <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/probiotics-market> (accessed on 7 March 2023).

- Morán J, (2019). Informe sobre las posibilidades del uso del termino “probiotico” en la union europea. <https://foodconsulting.es/wp-content/uploads/uso-probiotico.pdf>
- Murugesan, R., Orsat, V. (2012). Spray Drying for the Production of Nutraceutical Ingredients—A Review. *Food Bioproc. Technol.*, 5, 3–14. [CrossRef]
- Nesterenco, A., Alric, I., Silvestre, F., Durrieu, V., (2013). Vegetable proteins in microencapsulación: A review of recent interventions and their effectiveness. *Industrial Crops and Products.*, 42, 469-79
- NIH Probiotics: What You Need to Know. <https://www.nccih.nih.gov/health/probiotics-what-you-need-to-know> (accessed on 8 November 2022).
- Nualkaekul, S., Cook, M.T., Khutoryanskiy, V.v., Charalampopoulos, D. (2013). Influence of Encapsulation and Coating Materials on the Survival of *Lactobacillus Plantarum* and *Bifidobacterium Longum* in Fruit Juices. *Food Res. Int.*, 53, 304–311. [CrossRef]
- Nunes, G.L., Etchepare, M.d.A., Cichoski, A.J., Zepka, L.Q., Jacob Lopes, E., Barin, J.S., Flores, É.M.d.M., da Silva, C.d.B., de Menezes, C.R. (2018). Inulin, Hi-Maize, and Trehalose as Thermal Protectants for Increasing Viability of *Lactobacillus Acidophilus* Encapsulated by Spray Drying. *LWT*, 89, 128–133. [CrossRef]
- Okuyama, K., Abdullah, M., Wuled Lenggoro, I., Iskandar, F. (2006). Preparation of Functional Nanostructured Particles by Spray Drying. *Adv. Powder Technol.*, 17, 587–611. [CrossRef]
- Orłowski, A. & Bielecka, M. (2006). Preliminary characteristics of *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* strains as probiotic candidates. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences.*, 15/56 (3), 269-275.
- Parker, R.B. (1974). Probiotics, the Other Half of the Antibiotic Story. *Anim. Nutr. Health*, 29, 48.
- Pedroza, R., Cruz, L., Ricque, D., Tapia, M., Gaxiola, M., Simoes, N. (2002). Alimentos microencapsulados: particularidades de los procesos para la microencapsulación de alimentos para larvas de especies acuícolas. *Avances en Nutrición Acuícola. VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 3 al 6 de septiembre de 2002. Cancún, Quintana Roo, México. p. 438-47.*
- Pedroso, A.A., Hurley-Bacon, A.L., Zedek, A.S., Kwan, T.W., Jordan, A.P.O., Avellaneda, G., Hofacre, C.L., Oakley, B.B., Collett, S.R., Maurer, J.J. & Lee, M.D. (2013). Can probiotics improve the environmental microbiome and resistome of commercial poultry production? *International Journal of Environmental Research and Public Health.*, 10(10), 4534-4559.
- Potts, M. (2001). Desiccation Tolerance: A Simple Process? *Trends Microbiol.*, 9, 553–559. [CrossRef]
- Probiotics Market Size, Share & Trends Analysis Report by Product (Probiotic Food & Beverages, Probiotic Dietary Supplements), By Ingredient (Bacteria, Yeast), By End Use, By Distribution Channel, And Segment Forecasts, 2021–2030. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/probiotics-market/toc> (accessed on 7 March 2023).
- Quirós-Sauceda, A.E., Ayala-Zavala, J.F., Olivas, G.I., González-Aguilar, G.A. (2014). Edible Coatings as Encapsulating Matrices for Bioactive Compounds: A Review. *J. Food Sci. Technol.*, 51, 1674–1685. [CrossRef]
- Rajam, R., Subramanian, P. (2022). Encapsulation of Probiotics: Past, Present and Future. *Beni Suef. Univ. J. Basic Appl. Sci.*, 11, 46. [CrossRef]
- Rama, G.R., Führ, A.J., da Silva, J.A.B.S., Gennari, A., Girolidi, M., Goetttert, M.I., Volken de Souza, C.F. (2020). Encapsulation of *Lactobacillus* Spp. Using Bovine and Buffalo Cheese Whey and Their Application in Orange Juice. *3 Biotech*, 10, 263. [CrossRef] [PubMed]
- Ranadheera, R.D.C.S., Baines, S.K., Adams, M.C. (2010). Importance of Food in Probiotic Efficacy. *Food Res. Int.*, 43, 1–7. [CrossRef]

- Ranadheera, C.S., Evans, C.A., Adams, M.C., Baines, S.K. (2012). In Vitro Analysis of Gastrointestinal Tolerance and Intestinal Cell Adhesion of Probiotics in Goat's Milk Ice Cream and Yogurt. *Food Res. Int.*, 49, 619–625. [CrossRef]
- Reque, P.M., Brandelli, A. (2021). Encapsulation of Probiotics and Nutraceuticals: Applications in Functional Food Industry. *Trends Food Sci. Technol.*, 114, 1–10. [CrossRef]
- Rodríguez, J.M. (2015). Probiotics: from the lab to the consumer. *Nutr Hosp.*, 31(Supl. 1), 33-47 ISSN 0212-1611 • CODEN NUHOEQ S.V.R. 318
- Rodklongtan, A., Nitisinprasert, S., Chitprasert, P. (2022). Antioxidant Activity and the Survival-Enhancing Effect of Ascorbic Acid on *Limosilactobacillus Reuteri* KUB-AC5 Microencapsulated with Lactose by Spray Drying. *LWT*, 164, 113645. [CrossRef]
- Rondon, L., Añez Zavala, R. M., Salvatierra Hidalgo, A., Meneses Barrios, R. T., Heredia Rodríguez, M.T. (2015). Probióticos: generalidades. *Arch Venez Puer Ped* vol.78 no.4 Caracas dic. 2015. ISSN 0004-0649
- Rosolen, M.D., Bordini, F.W., deOliveira, P.D., Conceição, F.R., Pohndorf, R.S., Fiorentini, Â.M., daSilva, W.P., Pieniz, S. (2019). Symbiotic Microencapsulation of *Lactococcus Lactis* Subsp. *Lactis* R7 Using Whey and Inulin by Spray Drying. *LWT*, 115, 108411. [CrossRef]
- Salama, A.H. (2020). Spray Drying as an Advantageous Strategy for Enhancing Pharmaceuticals Bioavailability. *Drug Deliv. Transl. Res.*, 10, 1–12. [CrossRef] [PubMed]
- Salar Behzadi, S., Wu, S., Toegel, S., Hofrichter, M., Altenburger, I., Unger, F.M., Wirth, M., Viernstein, H. (2013). Impact of Heat Treatment and Spray Drying on Cellular Properties and Culturability of *Bifidobacterium Bifidum* BB-12. *Food Res. Int.*, 54, 93–101. [CrossRef]
- Shim, Y., Ingale, S., Kim, J., Kim, K., Seo, D., Lee, S., Chae, B. & Kwon, I. (2012). A multimicrobe probiotic formulation processed at low and high drying temperatures: effects on growth performance, nutrient retention and caecal microbiology of broilers. *British Poultry Science.*, 53(4), 482-490.
- Schimel, J., Balser, T.C., Wallenstein, M. (2007). Microbial stress-response physiology and its implications for ecosystem function. *Ecology*, 88, 1386–1394. [CrossRef] [PubMed]
- Silva, D.R., Sardi, J.D.C.O., Pitangui, N.D.S., Roque, S.M., da Silva, A.C.B., Rosalen, P.L. (2020). Probiotics as an Alternative Antimicrobial Therapy: Current Reality and Future Directions. *J. Funct. Foods*, 73, 104080. [CrossRef]
- Sosa, D., García, Y., Dustet, J.C. (2018). Development of probiotics for animal production. Experiences in Cuba. *Cuban Journal of Agricultural Science*, Volume 52, Number 4, 357
- Sperry, M.F., Silva, H.L.A., Balthazar, C.F., Esmerino, E.A., Verruck, S., Prudencio, E.S., Neto, R.P.C., Tavares, M.I.B., Peixoto, J.C., Nazzaro, F. (2018). Probiotic Minas Frescal Cheese Added with *L. Casei* 01: Physicochemical and Bioactivity Characterization and Effects on Hematological/Biochemical Parameters of Hypertensive Overweighted Women—A Randomized Double-Blind Pilot Trial. *J. Funct. Foods*, 45, 435–443. [CrossRef]
- Tao, T., Ding, Z., Hou, D., Prakash, S., Zhao, Y., Fan, Z., Zhang, D., Wang, Z., Liu, M., Han, J. (2019). Influence of Polysaccharide as Co-Encapsulant on Powder Characteristics, Survival and Viability of Microencapsulated *Lactobacillus Paracasei* Lpc-37 by Spray Drying. *J. Food Eng.*, 252, 10–17. [CrossRef]
- Télessy, I.G. (2019). Nutraceuticals. In *The Role of Functional Food Security in Global Health*; Singh, R.B., Watson, R.R., Takahashi, T., Eds.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, pp. 409–421.
- Tsilingiri, K., Rescigno, M. (2013). Postbiotics: What Else? *Benef. Microbes*, 4, 101–107. [CrossRef] [PubMed]
- Tyutkov, N., Zhernyakova, A., Birchenko, A., Eminova, E., Nadtochii, L., Baranenko, D. (2022). Probiotics Viability in Frozen Food Products. *Food Biosci.*, 50, 101996. [CrossRef]

- Usca- Méndez, J.E, Peñafiel-Acosta, S.E, Brito-Zúñiga, G. G, Arévalo –Azaña, G F. (2020). Probiotic Characteristics of Lactobacillus: A Review. Pol. Con. (Edición núm. 48) Vol. 5, No 08 agosto, pp. 413-425. ISSN: 2550 - 682X DOI: 10.23857/pc. v5i8.1596
- Wang, G.-Q., Pu, J., Yu, X.-Q., Xia, Y.-J., Ai, L.-Z. (2020). Influence of Freezing Temperature before Freeze-Drying on the Viability of Various Lactobacillus Plantarum Strains. J. Dairy Sci., 103, 3066–3075. [CrossRef]
- Winther, K.S., Roghanian, M, Gerdes, K. (2018). Activation of the Stringent Response by Loading of RelA-TRNA Complexes at the Ribosomal A-Site. Mol. Cell, 70, 95–105. [CrossRef] [PubMed]
- Yadav, M.K., Kumari, I., Singh, B., Sharma, K.K., Tiwari, S.K. (2022). Probiotics, Prebiotics and Synbiotics: Safe Options for nextGenerationTherapeutics. Appl. Microbiol. Biotechnol., 106, 505–521. [CrossRef] [PubMed]
- Yáñez, J., Salazar, J., Montoya, L., Chaires, J., Jiménez, M., Márquez, E., (2002). Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. Avance y Perspectiva., 21, 313-9
- Yoha, K.S., Moses, J.A., Anandharamakrishnan, C. (2020). Effect of Encapsulation Methods on the Physicochemical Properties and the Stability of Lactobacillus Plantarum (NCIM 2083) in Synbiotic Powders and in-Vitro Digestion Conditions. J. Food Eng., 283, 110033. [CrossRef]
- Zendeboodi, F., Khorshidian, N., Mortazavian, A.M., da Cruz, A.G. (2020). Probiotic: Conceptualization from a New Approach. Curr.Opin. Food Sci., 32, 103–123. [CrossRef]

Los autores declaran que no existen conflicto de intereses