



Prebióticos: su importancia en la salud humana y propiedades funcionales en tecnología de alimentos

D. Morales - Koelliker* y J.F Vélez - Ruíz

*Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla.
Ex hacienda Sta. Catarina Mártir S/N, San Andrés Cholula, Puebla. C.P.72810, México.*

Resumen

Los prebióticos son ingredientes alimentarios no digeribles que benefician al huésped mediante la estimulación selectiva del crecimiento y/o la actividad de un número limitado de bacterias en el colon. En el presente artículo, se revisan ingredientes que cumplen criterios para ser considerados prebióticos, sus beneficios para la salud, las propiedades funcionales y físicas conferidas a los productos adicionados y sus aplicaciones en la industria alimentaria. Al revisar su efecto en las propiedades físicas de los alimentos a los que se les añade, se detalla su utilidad como sustitutos de grasa y optimizadores de la textura. Se concluye que para obtener productos con bajo contenido de grasa con la reología y la consistencia similares a las de los productos enteros, son necesarias mayores concentraciones de prebióticos. Por último, la utilización de prebióticos como ingredientes alimentarios permite a los fabricantes satisfacer y superar las expectativas de los consumidores que viven preocupados por su salud.

Palabras clave: prebióticos, tracto gastrointestinal, propiedades físicas, nutrición.

Abstract

Prebiotics are non-digestible food ingredients which benefit the host by selectively stimulating the growth and/or activity of a limited number of bacteria in the colon. In this article, the ingredients that meet the criteria to be considered as prebiotics, their health benefits, physical and functional properties conferred to added products and their applications in the food industry are reviewed. Moreover, the effect of prebiotics on the physical properties of foodstuff to which these are added are analyzed, its effects as fat substitute and texture optimizer are described. It is concluded that a higher concentration of prebiotics are needed to obtain products with low fat content and with rheological properties and thickness similar to whole fat products. Finally, the use of prebiotics as food ingredients allows manufacturers to meet and go beyond the expectations of today's consumers who are health concerned.

Keywords: prebiotics, gastrointestinal tract, physical properties, nutrition.

Introducción

El concepto de prebióticos fue definido por primera vez por Gibson y Roberfroid (1995)

como 'ingredientes no digeribles que benefician al huésped estimulando selectivamente el crecimiento y/o la actividad de una o de un limitado número de bacterias residentes del colon (bifidobacterias y lactobacilos, principalmente)'. Posteriormente,

*Programa de Maestría en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica: diana.moraleskr@udlap.mx

la definición fue actualizada por los autores para describirlos como ‘ingredientes selectivamente fermentados que permiten cambios específicos en la composición de la microbiota gastrointestinal y que confieren beneficios en el bienestar y la salud del huésped’ (Gibson *et al.*, 2004). Dada la naturaleza de la fermentación por lactobacilos o bifidobacterias, es poco probable que existan prebióticos de origen proteico o lipídico. Por ello, Cummings y Macfarlane (2002) propusieron una definición alterna delimitando a los prebióticos como un grupo de carbohidratos de cadena corta no digeribles por enzimas humanas ni animales y con un grado de polimerización que va de dos a sesenta. En ambas definiciones, existen criterios de selección que permiten la clasificación de un ingrediente como prebiótico tales como la resistencia al proceso digestivo esto es, la resistencia a la acidez gástrica, a la hidrólisis por enzimas y a la absorción intestinal (Gibson *et al.*, 2004; Wang, 2009).

Partiendo de la premisa de que los prebióticos tienen el poder de controlar la composición de la microbiota del colon y así, conferir beneficios al bienestar y salud del huésped, en la actualidad se ha incrementado su inclusión en una amplia gama de alimentos. Este aumento en su utilización también responde, debido a las propiedades funcionales y físicas inherentes a los prebióticos, a las exigencias del consumidor por obtener productos con un sabor agradable, de bajo valor calórico y que contengan poca cantidad de grasa. Tomando en cuenta todo lo anterior, el objetivo de este artículo de revisión es reconocer a los ingredientes que cumplen los criterios para ser considerados prebióticos así como revisar su potencial benéfico para la salud, sus propiedades funcionales y físicas y, por último, revisar sus aplicaciones en la industria alimentaria.

Revisión bibliográfica

1. Composición química y clasificación de los prebióticos

Con la excepción de la inulina -una mezcla de fructooligosacáridos y polisacáridos- los prebióticos que hasta ahora se consideran para su uso en la industria alimentaria son mezclas de oligosacáridos no digeribles que constan de 3 a 10 monómeros de ciertos carbohidratos (Saad *et al.*, 2013). Los oligosacáridos candidatos a prebióticos pueden clasificarse de acuerdo a sus componentes químicos y a su grado de polimerización, se incluyen entonces a fructooligosacáridos (FOS), galactooligosacáridos (GOS), oligosacáridos de soya, isomaltooligosacáridos, xylooligosacáridos, pirodextrinas y lactulosa (Mcfarlane *et al.*, 2008) (Tabla I). Considerando que la inulina, FOS, GOS y trans-galactooligosacáridos (TOS) son los únicos candidatos que cumplen todos los criterios para clasificarse como prebióticos (Roberfroid, 2007), a continuación se presenta una breve descripción de la composición química de ellos.

La inulina ha sido definida como un carbohidrato polidisperso que consiste de manera casi exclusiva de enlaces fructosil-fructosa β -(1 \leftarrow 2), por eso el término inulina se utiliza genéricamente para todas las moléculas lineales con esta conformación. Además de la inulina nativa, también se produce la inulina comercial, que puede estar compuesta principalmente por inulina de cadena corta (2 a 7 unidades) o de cadena larga (22 a 25 unidades). Su hidrólisis enzimática parcial se denomina oligofructosa, y junto al término FOS se consideran sinónimos de inulina y sus mezclas con un grado de polimerización menor a 10 (Roberfroid, 2007; Tárrega *et al.*, 2011; Meyer *et al.*, 2011).

Tabla I. Clasificación de carbohidratos como ingredientes prebióticos

Nombre	Composición	Prebiótico	GP
Inulina	Fructanos β -(1 \leftarrow 2)	Sí	11-65
Fructooligosacáridos	Fructanos β -(1 \leftarrow 2)	Sí	2-10
Galactooligosacáridos	Oligogalactosa 85%, glucosa y lactosa	Sí	2-5
Lactulosa	Disacárido sintético (gal-fruct) β (1 \rightarrow 4)	IP	2-4
Oligosacáridos de soya	Mezcla de rafinosa y estaquiosa	ND	3-4
Pirodextrinas	Oligosacáridos y glucosa	ND	Variable
Xylooligosacáridos	Xylosa β (1 \rightarrow 4)	IP	2-4
Isomaltoligosacáridos	Glucosa β (1 \rightarrow 4), glucosa ramificada β (1 \rightarrow 6)	IP	2-8

Adaptado de Macfarlane *et al.* (2006) y Roberfroid (2007). GP, grado de polimerización; IP, Información preliminar, hace falta mayor investigación; ND, información no disponible.

La β -galactosidasa es la responsable de la obtención de varios productos de GOS, 24 al 55% corresponden a oligosacáridos. Los GOS son producto de la hidrólisis de lactosa, generando mezclas de diversos grados de polimerización y que contienen de 2 a 9 moléculas de galactosa unidas a una de glucosa terminal mediante un enlace β (1 \rightarrow 4), aunque también se presentan enlaces β (1 \rightarrow 2) y β (1 \rightarrow 3). La variabilidad en sus enlaces glicosídicos podría ser una de las razones por las cuales los GOS son resistentes a la digestión (Macfarlane *et al.*, 2008). Por su parte, los TOS son una mezcla de oligosacáridos resultante de la transglucosilación de la lactosa. En general, son trisacáridos a pentasacáridos con uniones β (1 \rightarrow 6), β (1 \rightarrow 3) y β (1 \rightarrow 4) (Roberfroid, 2007).

2. Importancia de los prebióticos en la salud

El tracto gastrointestinal (TGI) representa un ecosistema complejo y la interacción de su flora bacteriana es un tópico de gran interés actual, aunque el conocimiento es limitado a pesar de los avances en investigación en años recientes. Un epitelio intestinal sano, en asociación a una flora intestinal óptima, proporciona una barrera vital contra la penetración de microorganismos patógenos,

antígenos y compuestos dañinos provenientes de la luz intestinal. Las funciones fisiológicas principales de la microflora intestinal son: barrera funcional y restauración de la misma, estimulación del sistema inmune, mantenimiento de la mucosa, producción de nutrimentos y estimulación de la motilidad intestinal (Honzapfel y Schillinger, 2002).

El TGI de un adulto humano promedio está colonizado por aproximadamente 1×10^{14} células microbianas (Eckburg *et al.*, 2005) y es este enorme potencial metabólico lo que sugiere un extraordinario efecto regulatorio en las funciones corporales, especialmente en el colon donde se encuentran en mayor concentración, superior a 5×10^{11} bacterias por gramo. La diversidad de la flora intestinal está determinada, entre otros factores, por la dieta, aspectos genéticos, el segmento específico del TGI y el estado fisiológico del huésped.

Algunos grupos de bacterias residentes en el colon como las bifidobacterias, los lactobacilos y las eubacterias pueden ser estimuladas selectivamente por los carbohidratos indigeribles de la dieta o prebióticos. Es importante que los prebióticos alcancen la región del intestino llamada 'ciego' para ser fermentados y utilizados por bifidobacterias y lactobacilos o bien, inhiban

varias cepas bacterianas patogénicas para el hombre (*Clostridium difficile*, *Escherichia coli*, *Campylobacter jejuni*, *Enterobacterium*, *Salmonella* Enteritidis o *S. Typhimurium*, por mencionar algunas) (Saad *et al.*, 2013).

Tomando en cuenta que la intolerancia a los prebióticos se alcanza al ingerir altas dosis de los mismos, debido al potencial osmótico y/o una fermentación excesiva, en ocasiones se presentan algunos efectos indeseables como: mayor cantidad de flatulencias, inflamación y dolor abdominal e incluso diarrea (Honzapfel y Schillinger, 2002). Sin embargo, a dosis sugeridas, el beneficio fundamental de los prebióticos es indirecto pues, como se ha mencionado, alimentan selectivamente a uno o más microorganismos que modifican la microflora intestinal. Son estas modificaciones en la microflora intestinal –y no los prebióticos por sí mismos- las que producen efectos reconocidos como tratamiento de desórdenes intestinales, influencia favorable en la digestión y absorción de azúcar, prevención de cáncer y disminución de colesterol sérico, entre otros (Honzapfel y Schillinger, 2002).

2.1 Efecto de los prebióticos en la salud intestinal

La mayoría de los beneficios conferidos al consumo de prebióticos se encuentran asociados a la optimización de la función y metabolismo del colon, tales como el incremento en el peso de la materia fecal, la reducción en el pH del intestino, el decremento en productos nitrogenados finales y la modulación del sistema inmune (Saad *et al.*, 2013). Desde hace años se ha recomendado el consumo de prebióticos como parte del tratamiento de síndrome de intestino irritable. De igual forma, se sugiere que las modificaciones de la flora intestinal por la ingestión de prebióticos interactúan con la respuesta inmunológica del intestino y, por su asociación con el tejido linfoide, proveen

efectos protectores sistémicos (principalmente respiratorios y en piel) más allá de sólo proteger el sistema gastrointestinal (Wang, 2009). Aunque no existe información suficiente sobre cómo los microorganismos del hospedero reconocen a los prebióticos ingeridos en el proceso de la expresión moduladora del sistema inmune, se supone que las respuestas inmunes innatas son activadas mediante su interacción con fracciones de los oligosacáridos (Saad *et al.*, 2013).

Acerca del estudio de enfermedades del colon, la ingesta de inulina mostró efectos anti-inflamatorios para la colitis distal inducida en ratas, así como mejoras en las lesiones del intestino (Videla *et al.* 2001). Komiyama *et al.* (2011), por su parte, presentaron resultados de un estudio sobre el uso de prebióticos, entre ellos un alimento de cebada germinada, y su efecto en la microflora intestinal. Concluyeron que los prebióticos podrían ser un complemento útil en el tratamiento de colitis ulcerativa tan bueno como el tratamiento con antibióticos.

2.2 Metabolismo de lípidos

Entre los incontables intentos de reducir los triglicéridos séricos por medio de la modificación de hábitos alimentarios, se encuentra la ingestión terapéutica de prebióticos. Los efectos hipotrigliceridémicos de fructooligosacáridos, almidones resistentes e inulina han sido descritos recientemente por Delzenne *et al.* (2002) en animales, y posteriormente en humanos (Delzenne *et al.*, 2005). El hígado juega un papel primordial en la homeostasis de las lipoproteínas ricas en triacilglicéridos, ya que es el encargado de la síntesis y secreción de lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL por sus siglas en inglés). En modelos animales se ha comprobado que tras la ingesta de prebióticos existe una disminución en la capacidad del hígado para la síntesis de lípidos (principalmente VLDL),

ocasionada por una reducción en la actividad en todas las enzimas lipogénicas (acetil-CoA sintetasa, enzima málica, ATP citratoliasa y glucosa-6-fosfato deshidrogenasa), hasta en 50% (Delzenne *et al.*, 2002). La baja tasa lipogénica del hígado, posterior al consumo de prebióticos, especialmente de oligofructosa, sugiere que su administración podría disminuir la expresión genética de las enzimas lipogénicas (Delzenne y Kok, 2001). Los resultados en humanos son menos contundentes, en estudios clínicos realizados se propone a la inulina como el prebiótico con más efecto en comparación a la oligofructosa (Saad *et al.*, 2013).

2.3 Efecto sobre absorción de carbohidratos y peso corporal

Los efectos de la administración de prebióticos en la síntesis de lípidos y la concentración de insulina y glucosa plasmática postprandial, en animales, ha sido descrita ampliamente desde los años noventa. Por ejemplo, la administración de almidones resistentes a la digestión demostró una disminución significativa en la concentración de triacilglicéridos en sangre, decremento de la actividad enzimática asociada a lípidos y disminución en la insulina sérica después de la ingesta de alimentos (Takase *et al.*, 1994). Respecto a la investigación en humanos, los efectos aún no están del todo elucidados. Sin embargo, se considera que la suplementación de prebióticos genera los siguientes efectos: 1) retardo en el vaciamiento gástrico al comparar los índices glucémicos después de diferentes dietas, 2) reducción de la hidrólisis del almidón en el duodeno y, 3) incremento en las concentraciones plasmáticas del péptido intestinal (péptido similar al glucagón 1 y péptido YY). Todos ellos podrían contribuir, en parte, a los cambios en la sensación de apetito y en las respuestas de la glucosa posterior a la ingesta de alimentos (Cani *et al.*, 2009). La posible relación entre el incremento en la concentración de péptidos intestinales y

la pérdida de peso corporal ha sido poco estudiada en humanos, limitándose a evaluar los efectos en la saciedad. Por otro lado, se ha estudiado el efecto de los prebióticos como moduladores del metabolismo y del peso corporal tras la reducción de un proceso inflamatorio inducido por la dieta. Las dietas altas en grasa producen un estado llamado endotoxemia, el cual se promueve cuando disminuyen las proporciones de bifidobacterias a causa de un aumento de lipopolisacáridos en el intestino y se acompaña de resistencia a la insulina y aumento de peso corporal. La suplementación con FOS ha demostrado disminuir la endotoxemia, restaurar el nivel óptimo de bifidobacterias y, consecuentemente, mejorar la tolerancia a la glucosa, incrementar la saciedad, reducir la producción de glucosa y disminuir el peso corporal en humanos (Kootte *et al.*, 2012).

2.4 Prevención de cáncer

Existe un número importante de investigaciones en relación a prebióticos y cáncer, pero muchas de estas investigaciones se han hecho en animales, donde el papel de los prebióticos parece ser benéfico, mientras que los estudios en humanos se han centrado en la identificación temprana de biomarcadores y en su posible efecto contra el cáncer, al lograr reducir la inflamación mediante su unión con las sustancias carcinogénicas, coadyuvando a disminuir la síntesis de enzimas que metabolizan pro-carcinógenos en carcinógenos y favoreciendo la actividad antitumorigénica (Macfarlane *et al.*, 2008). Probablemente los datos más notables respecto al papel de los prebióticos en la prevención del cáncer son los correspondientes a cáncer de colon y recto, donde se ha observado que en células humanas los derivados de productos de la fermentación de prebióticos inhiben el crecimiento celular, la diferenciación y modulan las actividades de reducción de la reproducción y proliferación de células cancerígenas (Pool-Zobel, 2005;

Clark *et al.*, 2012). En la Tabla II se presentan algunas investigaciones recientes con respecto a cáncer de colon y recto, relacionadas con el consumo de prebióticos.

2.5 Absorción de minerales

Los carbohidratos no digeribles (prebióticos) han sido erróneamente identificados como secuestradores de minerales, es decir, que

Tabla II. Estudios sobre el efecto de prebióticos en cáncer de colon y recto

Sujetos estudio	Prebiótico	Tratamiento	Características	Resultados	Referencias
Ratas	GOS	5% o 20%	Cáncer inducido químicamente. A los 28 días cambio de grupo.	Menor aumento en células cancerígenas en el cambio del grupo 5% al 20%	Wijnands <i>et al.</i> (2001)
Ratones	FOS, inulina	100 g/kg	Cáncer y patógeno intestinal (<i>Candida albicans</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> o <i>Salmonella Typhimurium</i>) inoculados.	Menor aumento en células cancerígenas y 50% menos con <i>C. albicans</i> que los controles. Murieron menos que controles de <i>L.monocytogenes</i> o <i>S. Typhimurium</i>	Buddington <i>et al.</i> (2002)
Humanos	Synergy 1® <i>L.rhamnosus</i> GG, <i>B.lactis</i> Bb12®	12 g de prebiótico. Probiótico sin conteo	12 semanas, estudio doble ciego controlado. Sujetos con cáncer de colon	Cambios significativos en microflora y decremento de proliferación de células cancerígenas	Rafter <i>et al.</i> (2007)
Humanos	FOS, inulina	15 g/día, 2 semanas	Adultos sin antecedentes de enfermedad gastrointestinal	Sin efectos en la proliferación de células	Langlands <i>et al.</i> (2004)
Humanos	Inulina con OF	12 g/día, 6 meses	Adultos mayores de 40 años con historial de resección por CC	Sin efectos en la proliferación o muerte de células	Limburg <i>et al.</i> (2011)

Adaptado de Macfarlane *et al.* (2008). GOS, galactooligosacáridos; FOS, fructooligosacáridos; OF, oligofructosa; CC, cáncer colorrectal.

impiden su absorción. Sin embargo, esto sólo ocurre en el intestino delgado, ya que al alcanzar el colon, la alta concentración de ácidos carboxílicos de cadena corta, producto de la fermentación de prebióticos, favorece la absorción de minerales. En el colon, los minerales son liberados de la matriz de carbohidratos y se facilita su absorción, en especial de Ca^{2+} y Mg^{2+} mediante difusión pasiva, acción beneficiada por el medio ácido en el que sucede (Roberfroid, 2000). Abrams *et al.* (2005) observaron que el consumo diario de una combinación de prebióticos de cadena larga y corta de inulina incrementa significativamente la absorción de calcio y mejora la mineralización ósea en el crecimiento durante la pubertad. Sugiere además, que los efectos de la ingesta de prebióticos en la absorción de calcio podrían estar modulados por factores genéticos, entre ellos los polimorfismos específicos del receptor genético de vitamina D.

3. Propiedades funcionales de los prebióticos en tecnología de alimentos

Desde hace algunas décadas, la industria de alimentos ha incrementado el uso de carbohidratos prebióticos para modificar la viscosidad, la capacidad emulgente, la formación de gel, el punto de congelación y el color de los alimentos. Debido a su alta capacidad para retener la humedad, los oligosacáridos también pueden emplearse en alimentos procesados para disminuir la temperatura de congelación, controlar el oscurecimiento no enzimático y evitar un secado excesivo del producto al que se le añaden (Mussatto y Mancilha, 2007; Saad *et al.*, 2013). Por otro lado, los prebióticos podrían disminuir la densidad energética de los productos al poseer un valor calórico bajo, entre 1.5 a 2.0 kcal/g (Roberfroid, 2007), lo que equivale al 40-50% de la energía que aportan los carbohidratos digeribles como la sacarosa. De acuerdo a Roberfroid y Slavin (2000), el poder edulcorante de los prebióticos

es inversamente proporcional a la longitud de su cadena estructural.

En términos generales, los prebióticos oligosacáridos poseen un nivel bajo de dulzura, característica útil en la producción de alimentos cuando se requiere de un agente espesante poco dulce (Mussatto y Mancilha, 2007). En comparación con los mono- y disacáridos, el alto peso molecular de los oligosacáridos incrementa la viscosidad de los sistemas en los que son incorporados, haciéndolos útiles para alimentos que requieren mejorar su textura y palatabilidad (Macfarlane *et al.*, 2008). La estabilidad de los oligosacáridos es variable y depende de la presencia de azúcares reductores, la forma del anillo, la configuración anomérica y los tipos de enlace. Los enlaces β de su estructura aseguran la estabilidad, aun así, los medios ácidos ($\text{pH} < 4$), las temperaturas elevadas y un tiempo prolongado de almacenamiento a temperatura ambiente provoca hidrólisis de los oligosacáridos con la pérdida nutricional y de las propiedades fisicoquímicas correspondiente (Mussatto y Mancilha, 2007).

3.1 Inulina

La inulina de cadena corta es soluble y relativamente dulce por lo que puede ser usada como sustituto de sacarosa. En contraste, la inulina de cadena larga es menos soluble y concede mayor efecto sobre la viscosidad, por lo que suele ser utilizada para dar estructura a productos bajos en grasa (Tárregas *et al.*, 2011). Cuando la inulina es añadida en bajas concentraciones, las propiedades reológicas del producto no se modifican y la calidad sensorial no sufre grandes cambios debido a su poca dulzura y su limitado efecto en la viscosidad. El añadir 5% de inulina de cadena larga a leche fermentada baja en grasa no tiene un efecto específico en la pseudo-plasticidad del producto, pero incrementa significativamente la velocidad de flujo y la viscosidad aparente. Se considera que esta

velocidad de corte es percibida en el paladar como corte en la boca (Meyer *et al.*, 2011). La habilidad de la inulina para influir en las propiedades de flujo de los productos a los que se les añade, parece responder a tres factores: a) la capacidad de la inulina para retener agua, b) en presencia de agua, la formación de microcristales que interactúan unos con otros, formando pequeños agregados que pueden ocluir una gran cantidad de agua y crear un gel particulado y c) un mayor contenido de sólidos totales (González-Tomás y Costell, 2006). Las características del gel dependerán de factores tales como la concentración de inulina y de las condiciones del proceso que afectan a la nucleación, la cristalización y la disposición de los cristales de inulina (Arcia *et al.*, 2011; Tárregas *et al.*, 2011). Villegas y Costell (2007) mostraron que se puede alcanzar la viscosidad de una bebida de vainilla a base de leche entera, si a una bebida de leche descremada se le añade de 4 a 10% de inulina de cadena corta o 4-6% de inulina de cadena larga. Estos datos demuestran que la inulina de cadena larga incrementa eficazmente la viscosidad en sistemas de esta naturaleza. Asociado al poder de la inulina de producir una sustancia cremosa, existe información de que las interacciones de inulina con hidrocoloides pueden resultar en sistemas con viscosidad sinérgica en combinación con una velocidad de flujo de la que pueden carecer los sistemas hidrocoloidales de agua pura. Respecto al efecto en la textura, Meyer *et al.* (2011) evaluaron el efecto de la adición de inulina de cadena media a larga (1.3 o 5%) en el coeficiente de fricción y en el perfil sensorial de leche descremada, reportando efectos significativos en el primero (principalmente en el uso de inulina de cadena larga) y efectos mínimos en las sensaciones de la boca (sólo los atributos relacionados con la fricción oral fueron menores conforme disminuyó la longitud de la cadena de inulina). Tales propiedades respaldan la aplicación de la inulina para aumentar la viscosidad, dando cuerpo y optimizando la textura de las bebidas

bajas en calorías, así como para incrementar la capacidad de difusión a los productos líquidos, semisólidos y sólidos, bajos o sin grasa, como yogures, aderezos para ensaladas, cremas, entre otros (Leite-Toneli *et al.*, 2007). Como ejemplos de productos semisólidos se toman a yogures y natillas, en los que se ha comprobado que la adición de inulina incrementa la viscosidad aparente y tiene efectos en los atributos de textura, haciendo los productos más espesos, pegajosos, cremosos y airados y, reduciendo la sinéresis e histéresis (los efectos son significativamente mayores a medida que aumenta la longitud de cadena de la inulina) (Kip *et al.*, 2006; González-Tomás *et al.*, 2009; Lobato *et al.*, 2009). Además, en la investigación de González-Tomás *et al.* (2009) se demostró que los postres lácteos con leche descremada y 7.5% de inulina de cadena larga, presentaron propiedades de flujo y consistencia similares a los postres de leche entera, a no ser por una ligera aspereza reportada en el producto final. Este último efecto podría ser debido a la presencia de pequeños cristales o agregados de cristales de inulina de cadena larga en el producto, concordante a lo confirmado por Torres *et al.* (2010) en su estudio de las propiedades reológicas y de distribución de tamaño de partícula durante el almacenamiento en postres lácteos que contienen inulina de cadena larga. Dichos autores manifestaron que las muestras control sin inulina resultaron ser estables durante el almacenamiento y que las propiedades reológicas de postres que contienen inulina presentaron cambios con el tiempo conduciendo a un sistema más tixotrópico, consistente, pseudo-plástico y elástico. Los cambios en las muestras que contenían inulina se produjeron gradualmente durante 6 días, presentaban asentamiento en el día siete, poseían partículas menores a 10 μm y de un intervalo de tamaño similar a los glóbulos de grasa. Por su parte, Hennelly *et al.* (2006) compararon un gel de inulina incorporado por batido y una solución de inulina calentada,

ambas incorporadas a una imitación de queso con el fin de remplazar el 63% de la grasa. Los autores observaron que a niveles equivalentes de humedad, los quesos con inulina presentaron una dureza significativamente mayor que las muestras control, independientemente de cómo fue incorporada la inulina; sin embargo no hubo diferencia en el nivel de dureza cuando se agregaron diferentes cantidades de inulina (5 o 13.5%).

3.2. Otros prebióticos

Sobre el efecto de la adición de prebióticos en la estimulación de la viabilidad de las bifidobacterias en leches fermentadas durante el tiempo de almacenamiento de los productos, se ha observado que los FOS son los prebióticos más eficaces y que la concentración en que se adicionan incrementa su efecto estimulador. Además, el recuento de células es significativamente influenciado por el grado de polimerización de los FOS (Mohammadi y Mortazavian, 2011). La utilización de FOS por las bifidobacterias resulta mejor cuando el grado de polimerización está por debajo de 6 unidades de acuerdo con Kaplan y Hutkins (2000) y por debajo de 10 de acuerdo con Roberfroid y Slavin (2000).

Por su parte, dado que los GOS comercialmente disponibles son mezclas, sus propiedades fisicoquímicas dependerán, en cierta medida, de la composición de las mismas. Entre sus propiedades fisicoquímicas se encuentran las siguientes: solubilidad en agua aproximadamente del 80%, apariencia traslúcida y sin color, viscosidad similar a la del jarabe de maíz de alta fructosa, estabilidad a 160 °C durante 10 minutos a pH 7, a 100 °C durante 10 minutos a pH 2 y a 37 °C a pH 2 durante varios meses; poseen una dulzura típica de 0.3 a 0.6 veces la de sacarosa, disminuyen el punto de congelación de los alimentos a los que se les añaden y previenen el secado excesivo al tener una capacidad alta

de retención de humedad (Macfarlane *et al.*, 2008). El aumento en el tamaño molecular ocasiona decremento en su dulzura, solubilidad, osmolalidad, capacidad de formar cristales y reactividad (para las reacciones de Maillard), a diferencia de la viscosidad, la cual sufre un incremento (Playne y Crittenden, 2009). De manera similar a otros oligosacáridos no digeribles, los GOS otorgan un sabor agradable y pueden mejorar la textura y palatabilidad de los alimentos que se encuentran adicionados con ellos, además de proporcionar propiedades de volumen similares a la sacarosa. Por último, los GOS son resistentes a la degradación salival, haciéndolos inaccesibles para la microbiota oral y útiles como sustitutos de azúcar de bajo riesgo cariogénico (Torres *et al.*, 2010).

5. Aplicaciones en la tecnología de alimentos

Como ya se mencionó, los prebióticos presentan una doble utilidad para la industria alimentaria. Desde un punto de vista mejoran la composición nutrimental haciéndola más balanceada, además de conferirle propiedades bifidogénicas al producto; y por el aspecto tecnológico, incrementan su calidad organoléptica mejorando tanto el sabor como la palatabilidad (Honzapfel y Schillinger, 2002; Wang, 2009).

A partir de hace dos décadas, una cantidad significativa de oligosacáridos ha sido introducida para su uso como ingredientes funcionales en la industria de alimentos. La elección del oligosacárido más apropiado para una aplicación en la industria de alimentos en específico varía de acuerdo al tipo de propiedades fisicoquímicas y fisiológicas deseadas en la mezcla preparada (Crittenden y Playne, 1996). Su utilización se ha enfocado principalmente en bebidas (café, chocolate, té, refrescos, bebidas alcohólicas y bebidas saludables), productos lácteos (leche fermentada, polvos instantáneos, leche enriquecida y helado) y productos simbióticos

(una mezcla de prebióticos y microorganismos potencialmente benéficos para el consumidor). Sin embargo, los oligosacáridos están incluidos en una extensa gama de productos como: postres (pudines, gelatinas y helados); productos de confitería como dulces, galletas, bísquits, cereales para desayunar, chocolates; pan y productos de bollería; mermeladas y jaleas; y en productos cárnicos como pasta de pescado y tofu (Mussatto y Mancilha, 2007).

Los usos tecnológicos de la inulina se basan en sus propiedades como sustituto de azúcar, sustituto de grasa y regulador de la textura. Como sustituto de grasa en productos lácteos, contribuye a mejorar la sensación en la boca, y la adición de inulina de cadena larga, incrementa la cremosidad del producto por ejemplo, de helado de yogur, queso bajo en grasa y mousse de chocolate (Meyer *et al.*, 2011). Considerando el incremento en obesidad a nivel mundial, la inulina tiene gran demanda en la industria de alimentos al

desarrollar una textura deseable en los productos bajos en grasa, tal como se ha mencionado previamente.

La inclusión de los GOS, como ingredientes prebióticos en los alimentos para bebés, ha atraído un interés comercial considerable dado que el establecimiento de una flora intestinal en lactantes se ha atribuido a la presencia de oligosacáridos que contienen galactosa. Varias compañías están implicadas en su producción a partir de lactosa, entre ellas: Yakult Honsha, Nissin Sugar Manufacturing Company y Snow Brand Milk Products (Crittenden y Playne, 1996). Otro ejemplo en la utilización de GOS es el pan, durante la fermentación con levaduras y la cocción, estos no se degradan y se obtiene un pan de excelente sabor y textura (Mussatto y Mancilha, 2007). Un resumen de las aplicaciones de los prebióticos en la industria alimentaria se presenta en la Tabla III.

Tabla III. Aplicaciones comunes de prebióticos en la tecnología de alimentos

Producto	Aplicaciones
Bebidas	Sustituto de azúcar, modificación en textura, sensación en la boca, estabilización de espumas
Productos lácteos y postres	Sustituto de azúcar, miméticos de grasa, modificación en textura y sensación en la boca, fibra, efecto prebiótico
Productos de panificación	Sustituto de azúcar y/o de grasa, modificación en textura, retención de humedad, efecto prebiótico
Productos cárnicos	Miméticos de grasa, modificación en textura, estabilidad, fibra
Productos dietéticos	Sustituto de azúcar y/o de grasa, fibra, efecto prebiótico
Sopas y salsas	Sustituto de azúcar y efecto prebiótico
Alimentos para bebé	Modificación en textura y sensación en la boca, fibra, estabilidad y efecto prebiótico

Adaptado de Wang (2009).

Conclusión

Debido a la evidencia reconocida de la capacidad de los prebióticos para generar cambios en la composición de la flora intestinal del huésped, a través de su administración o su consumo, y proporcionar beneficios para la salud así como constituir un buen medio de prevención y remedio contra una gama de infecciones y trastornos intestinales, su consumo ha despertado el interés mundial. El efecto de los prebióticos en la modulación del metabolismo de los triglicéridos, la modulación de la insulinemia, la mejora de la biodisponibilidad de calcio de la dieta y la modulación negativa de la carcinogénesis de colon son las áreas más prometedoras para futuras investigaciones.

Además, en este artículo se revisan las propiedades funcionales de los prebióticos en la tecnología de alimentos. De hecho, su aplicación en la industria de alimentos está en crecimiento en el mercado global y son bien reconocidos como ingredientes alimentarios que brindan un valor agregado al producto al que se les añade al mantener y mejorar nuestra salud sin sacrificar la calidad sensorial del producto.

Agradecimientos

La autora, Morales-Koelliker D., agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP) por el financiamiento de los estudios de posgrado.

Referencias

- Abrams, S.A., Griffin, I.J., Hawthorne, K.M., Liang, L., Gunn, S.K., Darlington, G., Ellis, K.J. 2005. A combination of prebiotic short- and long-chain inulin-type fructans enhances calcium absorption and bone mineralization in young adolescents. *American Journal of Clinical Nutrition*. 82: 471-476.
- Arcia, P.L., Navarro, S., Costell, E., Tárrega, A. 2011. Effect of inulin seeding on rheology and microstructure of prebiotic dairy desserts. *Food Biophysics*. 6:440-449.
- Buddington, K.K., Donahoo, J.B., Buddington, R.K. 2002. Dietary oligofructose and inulin protect mice from enteric and systemic pathogens and tumour inducers. *Journal of Nutrition*. 132: 472-477.
- Cani, P.D., Lecourt, E., Dewulf, E.M., Sohet, F.M., Pachikian, B.D., Naslain, D., De Backer, F., Neyrinck, A.M., Delzenne, N.M. 2009. Gut microbiota fermentation of prebiotics increases satietogenic and incretin gut peptide production with consequences for appetite sensation and glucose response after a meal. *American Journal of Clinical Nutrition*. 90:1236-1243.
- Clark, M.C., Robien, K., Slavin, J.L. 2012. Effect of prebiotics on biomarkers of colorectal cancer in humans: a systematic review. *Nutrition Reviews*. 70(8): 436-443.
- Crittenden, R.G., Playne, M.J. 1996. Production, properties and applications of food-grade oligosaccharides. *Trends in Food Science and Technology*. 7:353-361.
- Cummings, J.H., Macfarlane, G.T. 2002. Gastrointestinal effects of prebiotics. *British Journal of Nutrition*. 87(2): S145-S151.
- Delzenne, N.M., Kok, N. 2001. Effects of fructan-type prebiotics on lipid metabolism of inulin and oligofructose modulate lipid metabolism. *American Journal of Clinical Nutrition*. 73:456-458.
- Delzenne, N.M., Daubioul, C., Neyrinck, A., Lasa, M., Taper, H.S. 2002. Inulin and oligofructose modulate lipid metabolism in animals, review of biological events and future prospects. *British Journal of Nutrition*. 87(1): 255-259.
- Delzenne, N.M., Cani, P.D., Daubioul, C., Neyrinck, A. 2005. Impact of inulin and oligofructose on gastrointestinal peptides. *British Journal of Nutrition*. 93(1): S157-S166.
- Eckburg, P.B., Bik, E.M., Bernstein, C.N. 2005. Diversity of the human intestinal microbial flora. *Science*. 308: 1635-1638.
- Gibson, G.R., Roberfroid, M.B. 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota: Introducing the concept of prebiotics. *Journal of Nutrition*. 125: 1401-1412.

- Gibson, G.R., Probert, H.M., Van Loo, J., Rasrall, R.A., Roberfroid, M.B. 2004. Dietary modulation of the human colonie microbiota: Updating the concept of prebiotics. *Nutrition Research Reviews*. 17: 259-275.
- González- Tomás, L., Costell, E. 2006. Sensory evaluation of vanilla dairy desserts by free choice profile. *Journal of Sensory Studies*. 21: 20-33.
- González-Tomás, L., Barry, S., Costell, E. 2009. Inulin-enriched dairy desserts: Physicochemical and sensory aspects. *Journal of Dairy Science*. 92(9): 4188-4199.
- Hennelly, P.J., Dunne, P.G., Sullivan, M.O., Riordan, E.D.O. 2006. Textural, rheological and microstructural properties of imitation cheese containing inulin. *Journal of Food Engineering*. 75: 388-395.
- Honzapfel, W.H., Schillinger, U. 2002. Introduction to pre- and probiotics. *Food Research International*. 35: 109-116.
- Kaplan, H., Hutkins, R.W. 2000. Fermentation of fructooligosaccharides by lactic acid bacteria and bifidobacteria. *Applied and Environmental Microbiology*. 66: 2682-2684.
- Kip, P., Meyer, D., Jellema, R.H. 2006. Inulins improve sensoric and textural properties of low-fat yoghurts. *International Dairy Journal*. 16: 1098-1103
- Kootte, R.S., Vrieze, A., Holleman, F., Dallinga-Thiel, G.M., Zoetendal, E.G., de Vos, W.M., Groen, A.K., Hoekstra, B.L. Stroes, E.S., Nieuwdorp, M. 2012. The therapeutic potential of manipulating gut microbiota in obesity and type 2 diabetes mellitus. *Diabetes, Obesity and Metabolism*. 14:112-120.
- Komiyama, Y., Mitsuyama, K., Masuda, J., Yamasaki, H., Takedatsu, H., Andoh, A., Tsuruta, O., Fukuda, M., Kanauchi, O. 2011. Prebiotic treatment in experimental colitis reduces the risk of colitic cancer. *Journal of Gastroenterology & Hepatology*. 26(8): 1298-1308.
- Langlands, S.J., Hopkins, M.J., Coleman, N. 2004. Prebiotic carbohydrates modify the mucosa associated microflora of the human large bowel. *Gut*. 53: 1610-1616.
- Leite-Toneli, J.T.C., Mürr, F.E.X., Martinelli, P., Dal Fabbro, I.M., Park, K.J. 2007. Optimization of a physical concentration process for inulin. *Journal of Food Engineering*. 80: 832-838.
- Limburg, P.J., Mahoney, M.R., Ziegler, K.L.A. 2011. Randomized phase II trial of sulindac, atorvastatin, and prebiotic dietary fiber for colorectal cancer chemoprevention. *Cancer Prevention Research*. 4: 259-269.
- Lobato, L.P., Grossmann, M.V.E., Benassi, M.T. 2009. Inulin addition in starch-based dairy desserts: Instrumental texture and sensory aspects. *Food Science and Technology International*. 15: 317-323.
- Macfarlane, S., Macfarlane, G.T., Cummings, J.H. 2006. Review article: Prebiotics in the gastrointestinal tract. *Alimentary, Pharmacology and Therapeutics*. 24: 701-714.
- Macfarlane, G.,T., Steed, H., Macfarlane, S. 2008. Bacterial metabolism and health-related effects of galacto-oligosaccharides and other prebiotics. *Journal of Applied Microbiology*. 104: 305-344.
- Meyer, D., Bayarri, S., Tárrega, A., Costell, E. 2011. Inulin as texture modifier in dairy products. *Food Hydrocolloids*. 25: 1881-1890.
- Mohammadi, R., Mortazavian, A.M. 2011. Review Article: Technological Aspects of Prebiotics in Probiotic Fermented Milks. *Food Reviews International*. 27: 192-212.
- Mussatto, S.I., Mancilha, I.M. 2007. Non-digestible oligosaccharides: A review. *Carbohydrate Polymers*. 68: 587-597.
- Palframan, R., Gibson, G.R., Rastall, R.A. 2003. Development of a quantitative tool for the comparison of the prebiotic effect of dietary oligosaccharides. *Letters in Applied Microbiology*. 37: 281-284.
- Playne, M.J., Crittenden, R.G. 2009. Galacto-oligosaccharides and other products derived from lactose. En: McSweeney PLH, Fox PF, editores. Lactose, water, salts and minor constituents. 3ra edición. New York: Springer. p 121-201.
- Pool-Zobel, B.L. 2005. Inulin-type fructans and reduction in colon cancer risk: review of experimental and human data. *British Journal of Nutrition*. 93(1): S73-S90.
- Rafter, J., Bennett, M., Caderni, G., Clune, Y., Hughes, R., Karlsson, P.C., Klinder, A., O' Riordan, M. 2007. Dietary synbiotics reduce cancer risk factors in polypectomized and colon cancer patients. *American Journal of Clinical Nutrition*. 85: 488-496.
- Roberfroid, M.B. 2000. Prebiotics and probiotics: are they functional foods? *American Journal of Clinical Nutrition*. 71: 1682S-1687S.

- Roberfroid, M. B., Slavin, J. 2000. Nondigestible oligosaccharides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 40: 461-48
- Roberfroid, M.B. 2007. Prebiotics: The concept revisited. *Journal of Nutrition*. 137: 830S-837S.
- Saad, N., Delattre, C., Urdaci, M., Schmitter, JM., Bressollier, P. 2013. An overview on the last advances in probiotic and prebiotic field. *Food Science and Technology*. 50: 1-16.
- Takase, S., Goda, T., Watanabe M. 199). Monostearylglycerol-starch complex: its digestibility and effects on glycemic and lipogenic responses. *Journal of Nutritional Science*. 40:23-36.
- Tárrega, A., Torres, J.D., Costell, E. 2011. Influence of the chain-length distribution of inulin on the rheology and microstructure of prebiotic dairy desserts. *Journal of Food Engineering*. 104:356-363.
- Torres, D.P.M., Gonçalves, M.P.F., Teixeira, J.A., Rodrigues, L.R. 2010. Galacto-oligosaccharides: Production, properties, applications, and significance as prebiotics. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 9: 438-454.
- Torres, J. D., Tárrega, A., Costell, E. 2010. Storage stability of starch-based dairy desserts containing long-chain inulin: rheology and particle size distribution. *International Dairy Journal*. 20: 46-52.
- Videla, S., Vilaseca, J., Antolin, M., García-Lafuente, A., Guarner, F., Crespo, E. 2001. Dietary inulin improves distal colitis induced by detran sodium sulfate in the rat. *American Journal of Gastroenterology*. 96: 1486-1493.
- Villegas, B., Costell, E. 2007. Flow behaviour of inulin–milk beverages. Influence of inulin average chain length and of milk fat content. *International Dairy Journal*. 17: 776–781.
- Wang, Y. 2009. Prebiotics: Present and future in food science and technology. *Food Research International*. 42: 8-12.
- Wijnands, M.V.W., Schoterman, H.C., Bruijntjes, J.P., Hollanders, V.M.H., Woutersen, R. A. 2001. Effect of dietary galacto-oligosaccharides on azoxymethane-induced aberrant crypt foci and colorectal cancer in Fischer 344 rats. *Carcinogenesis*. 22: 127–132.