

Avances en la producción de inulina

Advances on the inulin production

*Ing. Marco Lara-Fiallos^Imarco.lara@reduc.edu.cu, Dra. María Caridad Julián-Ricardo^{II},
Dr. Amaury Pérez-Martínez^{II}, Dr. Isnel Benítez-Cortés^{II}, MSc. Pascual Lara-Gordillo^I*

^I*Departamento de Ingeniería Química. Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador;*

^{II}*Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Camagüey “Ignacio Agramonte Loynaz”,
Camagüey, Cuba*

Resumen

El vertiginoso avance de la ciencia y las necesidades sociales presentes en la actualidad en correspondencia con el crecimiento poblacional, junto al apareamiento de nuevas enfermedades, ha estimulado la necesidad de buscar nuevos productos que satisfagan las citadas condiciones, por lo que se vuelve indispensable contar con fuentes energéticas que favorezcan el entorno social, que sean renovables y compatibles con el medio ambiente, en este sentido, es importante citar a la inulina por convertirse en un elemento con diversas aplicaciones en la industria. La inulina es un polisacárido tipo fructano presente en numerosas especies vegetales, considerada como agente prebiótico ha sido objeto de numerosos estudios a escala de laboratorio, partiendo de un minucioso análisis de las fuentes naturales y aprovechables de dicho elemento hasta su transformación en subproductos generados. El objetivo de este trabajo es realizar una revisión de la literatura científica, identificando a la inulina como un compuesto importante dentro del campo productivo mundial. Mediante esta revisión se puso de manifiesto las posibilidades de su producción y la variedad de sus aplicaciones, así como la necesidad de desarrollar tecnologías de producción eficientes.

Palabras clave: *inulina, fuente energética, prebiótico, polisacárido.*

Abstract

The rapid advance of science and social needs at the present time along with rising growth of the population, the emergence of new diseases has stimulated the need to find new products that meet the above conditions, so it becomes essential to find energy sources conducive to social environment, which are renewable without affecting the environment, given this, it is important to mention that the inulin be converted to become an element due to its various applications, it's a polysaccharide fructan type present in numerous plant species that has been extensively studied at the laboratory scale, considerate prebiotic agent based on a thorough analysis of its natural sources and usable properties such as its processing in products generated, hence making it industrially viable. The aim of this paper is to review scientific literature, identifying inulin as an important element in the global productive field, the possibilities of production and the potential applications that have not been considered at present.

Keywords: *inulin, energy source, prebiotic, polysaccharide.*

Introducción

La necesidad de nuevas fuentes energéticas en el mundo se convierte, en la actualidad, en una prioridad para el desarrollo social e industrial, más aún cuando estas provengan de residuos agrícolas o industriales biodegradables que favorezcan el entorno medioambiental de las futuras generaciones.

Al mencionar la energía natural, es importante considerar aquella proveniente de las plantas en cuyo caso es necesario citar a la inulina, que es un carbohidrato de almacenamiento presente en la mayor parte de las especies vegetales, frutas y cereales [1]; por tanto forma parte de la dieta diaria [2] y se usa como ingrediente en los alimentos, ofreciendo ventajas tecnológicas e importantes beneficios a la salud [3]. Hoy en día, la presencia de ciertas cantidades de inulina o sus derivados en la formulación de un producto alimenticio es condición suficiente para que dicho producto pueda ser considerado como “alimento prebiótico” [4].

La inulina posee importantes beneficios, principalmente en las industrias alimenticia y farmacéutica, en formulaciones de alimentos mejora las propiedades organolépticas, además de ser un buen sustituto de grasas sin modificar las texturas, mencionando algunos como lácteos fermentados, confites, chocolates, bebidas, postres congelados, cereales, barras energéticas, cárnicos, productos de baja cantidad en grasas o azúcares debido a la baja cantidad de calorías que proporciona, preparaciones de frutas y jarabe de fructosa [5]. El objetivo de este trabajo es realizar una revisión de la literatura científica, identificando a la inulina como un compuesto importante dentro del campo productivo mundial.

Origen y características

Rose, científico alemán (1 804), al realizar investigaciones en plantas aísla por primera vez una "sustancia peculiar de origen vegetal" a partir de *Inula helenium* que es más tarde llamada inulina por Thomson (1 818). El fisiólogo alemán de plantas Julius Sachs (1 864), fue el pionero en la investigación de fructanos y mediante el uso de solo un microscopio fue capaz de detectar los cristales esféricos de inulina de los tubérculos de Dahlia, *Heliantus tuberosus* e *Inula* después de la precipitación con etanol [6,7].

La inulina es el nombre con el que se designa a una familia de glúcidos complejos (polisacáridos), compuestos de cadenas moleculares de fructosa, de fórmula general $C_{6n}H_{10n+2}O_{5n+1}$. Es, por lo tanto, un fructosano o polímero formado por moléculas de glucosa, que es sintetizado a partir de la sacarosa [8], es decir, un compuesto formado por una mezcla de oligómeros y polímeros de unidades de fructosa, presenta la particularidad de ser muy heterogénea en su grado de polimerización [9], consiste de una cadena lineal de enlaces β (2-1) fructosil-fructosa; al final de la cadena está presente una unidad de glucosa a través de un enlace tipo sacarosa, una unidad de glucosa inicial puede estar presente, pero no es exclusivamente necesario, fructano es un nombre más general que se utiliza para cualquier compuesto en el que uno o más enlaces fructosil-fructosa constituyen en su estructura (cubre tanto inulina como levano), cuando se hace referencia a la definición de inulina, la primera unidad de la cadena (extremo no reductor) puede ser un grupo β -D-glucopiranosil o bien β -D-fructopiranosil.

El grado de polimerización (GP) de la inulina, así como la presencia de ramificaciones, son propiedades importantes ya que influyen en la funcionalidad de la mayoría de las inulinas. Según el GP, se hace una distinción estricta entre la inulina de origen vegetal y de origen microbiano. El GP de la inulina en una planta es bastante bajo (máximo 200), mientras que la inulina bacteriana tiene un GP muy alto, puede alcanzar los 100 000 o más unidades de fructosa, por otra parte, esta inulina se encuentra muy ramificada ($\geq 15\%$). En la inulina de origen vegetal, las unidades de fructosas enlazadas a la glucosa terminal puede variar desde algunas unidades hasta 70, lo que significa que la inulina es una mezcla de oligómeros y polímeros, definiéndose como un polifrufructano con GP mayor a 30 unidades [10, 11, 12]. Además, se define como un carbohidrato de almacenamiento presente en muchas plantas, vegetales y cereales, por lo que se halla en varios productos de la industria alimentaria, siendo así en la actualidad considerado un elemento clave en el mercado de los productos funcionales [13]. En la inulina procedente de la achicoria, n (el número de unidades de fructosa unidas a una glucosa terminal) puede variar de 2 a 70. Siendo una mezcla de oligómeros y polímeros. El GP

más alto de origen vegetal ha sido encontrado en la alcachofa globo (*Cynara scolymus*), por encima de 200 [14].

El fructano más destacado derivado de la inulina y de mayor uso es la oligofructosa, obtenido mediante hidrólisis enzimática de la inulina, y caracterizado por llegar a un GP menor a 10 unidades. Hasta hace poco, la inulina extraída de las plantas se consideraba como una molécula lineal, pero mediante el uso de análisis de permetilación optimizado fue posible mostrar que incluso la inulina de achicoria nativa (GP 12) tiene un muy pequeño grado de ramificación (1 - 2 %), y éste fue también el caso de la inulina de la dalia.

Desde un punto de vista estructural/polimérico (lineal), la inulina puede ser considerada como una cadena principal de polioxietileno a los que están unidos los restos de fructosa, como una escalera de caracol, es decir, forman una estructura helicoidal. Existen dos formas alomorfas cristalinas de inulina: semi-hidratada e hidratada. La difracción rayos X de muestras sólidas en polvo mostró que la inulina de la forma hidratada (una molécula de agua por unidad de fructosil) cristalina polimórfica es ortorrómbica y la forma semi-hidratada (media molécula de agua por unidad de fructosil) es pseudo-hexagonal polimórfica u ortorrómbica consistente en dos hélices paralelas de 6 unidades cada vuelta [15].

Fuentes de obtención

Se han identificado alrededor de 36 000 especies vegetales que poseen cierto contenido de inulina, entre las plantas más representativas que producen fructanos se identifican las del grupo Liliaceae (ajo, cebolla espárrago, ajo porro) y Compositae (achicoria, pataca o tupinambo y yacon). Las especies con mayor contenido de inulina la almacenan en la parte subterránea de la planta. Otras especies (por ejemplo, en la familia Gramineae) presentan altos contenidos de fructanos en sus partes aéreas, pero con bajo rendimiento de extracción a nivel industrial. Se ha producido inulina en menor escala por medios microbianos orientados a la conversión enzimática de hongos [16]. En la tabla 1 se presenta el contenido aproximado de inulina en algunas plantas referido a producto fresco.

En Ecuador (en la Facultad de Ingeniería Química, de la Universidad Central del Ecuador (UCE) en el marco del Proyecto Prometeo de la SENESCYT) se obtuvo por primera vez inulina cruda (natural) a partir de la tuna (*Opuntia ficus-indica*), el banano (*Musa paradisiaca*) y el ajo (*Allium sativum*). De la tuna y del ajo se obtuvieron altos contenidos, no así del banano [17]. No obstante, se requiere determinar la fuente sustentable de obtención de inulina a partir de especies autóctonas, identificar las variables fundamentales que controlan el proceso de extracción, optimizar el proceso, desarrollar la tecnología de producción y efectuar los análisis económicos correspondientes del proceso.

Tabla 1
Contenido de inulina en algunas plantas

Especie	Inulina (%)	Referencia
Camas (<i>Cimex lectularius L.</i>)	12-22	[1]
Murnong (<i>Microseris lanceolata</i>)	8-13	[1]
Salsify (<i>Tragopogon</i>)	4-11	[1]
Bardana (<i>Arctium lappa</i>)	3,5-4	[1]
Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	0,5-1,5	[1]
Centeno (<i>Secale cereale</i>)	0,5-1	[1]
Banana (<i>Musa paradisiaca</i>)	0,3-0,7	[1; 11]
Dahlia (<i>Agave spp</i>)	9-12,5	[1; 19; 27]
Name o yam (<i>Dioscorea spp</i>)	19-21	[3]
Espárrago (<i>Asparagusofficinalis</i>)	2-3	[3]
Puerro (<i>Alliumporrum</i>)	3-10	[3]
Ajo común (<i>Alliumsativum</i>)	9-16	[16; 19; 21; 27]
Cebolla (<i>Allium cepa</i>)	2-6	[17]
Alcachofa (<i>Cynarascolymus</i>)	3-10	[17]
Achicoria (<i>Cichoriumintybus</i>)	10-15	[18; 19; 26; 27]
Agave (<i>Agave spp</i>)	16-25	[20; 24]
Diente de león (<i>Taraxacum officinale</i>)	12-15	[22; 23]
Bardana o lampazo (<i>Arctiumlappa</i>)	27-45	[23; 24]
Topinambur o papa de Jerusalén (<i>Helianthus tuberosus</i>)	14-20	[25; 28]
Yacón (<i>Smallanthussonchifolius</i>)	3-19	[28]

Tecnología de producción

La producción industrial de la inulina se halla concentrada mayoritariamente en tres compañías al oeste de Europa, la materia prima principal es la raíz de la achicoria [18] por su alto contenido de este polisacárido [19] y sus derivados se orienta a la conversión industrial de sacarosa en fructooligosacáridos con el empleo de enzimas de hongos [29], lo que ha generado el estudio de la optimización en los procesos de extracción como el propuesto mediante la tecnología *Spray-Drying* a escala experimental [20], sin embargo, se han

realizado varios estudios minuciosos para determinar específicamente la potencialidad de otras especies industriales como el *Agave tequilana* [31], que se establece como originario de México [22], el diente de león [32], la *Vernonia herbácea*, en Brasil [33] y otros, esto ha permitido establecer productos comerciales que son mezclas entre inulina y oligofructosa, por ejemplo el Synergy 1® es una combinación de oligofructosa e inulina en una proporción de 30:70 en peso, para que tenga características funcionales específicas [34], en la figura 1, se muestran las principales etapas en la producción de inulina.

En la actualidad, se han propuesto métodos adicionales para la extracción de inulina, el método convencional de la extracción, secado y cristalización y un método nuevo empleando CO₂ supercrítico en una cámara de extracción a elevada temperatura y presión [35], este se destaca por ser una de las tecnologías de última generación con gran selectividad de componentes.

Es viable mencionar que en México, también se ha ido impulsando la producción de inulina a partir de las diversas especies de agave que hay en Jalisco actualmente se producen fibra, jarabes de inulina, pulque, entre otros productos, pero de manera principal el tequila [36].

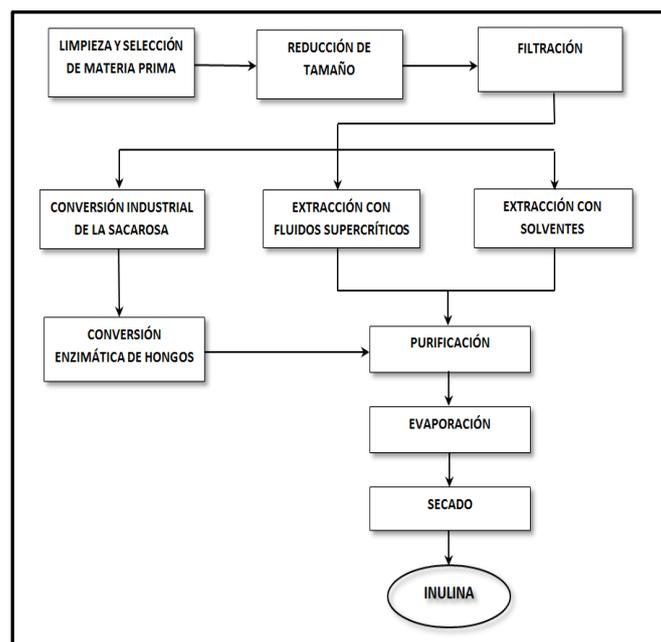


Fig. 1 Etapas principales en la tecnología de producción de inulina

Hoy en día se han realizado varios estudios acerca de la producción de inulina de diversas fuentes, se puntualiza en los de mayor contenido como la raíz de Achicoria, en los cuales se investiga, fundamentalmente, el proceso de purificación, dentro de ellos se destaca el diseñado por un modelo de una solución de inulina-sacarosa, mediante nano filtración [37], el estudio se ha desarrollado a nivel piloto por su nivel de complejidad. Uno de los métodos con mayor eficiencia es el conocido como *Fast protein liquid chromatography* (FPLC) [38], en el cual la purificación y cuantificación de la inulina tipo oligofructano se realiza a través de un proceso cromatográfico con una columna determinada para la detección de carbohidratos.

Potencialidad de la inulina

Los primeros estudios de los efectos de inulina en seres humanos sanos aparecieron durante el siglo XIX y a principios del siglo XX, mientras que la no toxicidad de la inulina se demostró dramáticamente algunos años más tarde cuando se inyectó por vía intravenosa 160 g de inulina sin mostrar ninguna anomalía. En particular, durante los últimos 10 años ha habido un aumento significativo en el número de publicaciones relacionadas con los beneficios funcionales y nutricionales de la inulina [39]. Posteriormente, como la inulina ha cambiado de un simple interés científico a un producto industrial con muchas aplicaciones, se produjo una gran estimulación de la investigación relacionada con su producción y uso [40].

Aplicaciones en la industria alimentaria

Se ha comprobado que la inulina estimula el crecimiento de la microbiota intestinal (microorganismos pobladores del intestino) [41]. Ello se debe a que atraviesa el estómago y el duodeno prácticamente sin sufrir cambios y alcanza el intestino delgado casi sin digerirse. Aquí está disponible para ser metabolizada por algunos de los microorganismos intestinales, como las bifidobacterias y los lactobacilos, promoviendo su asentamiento y desarrollo. En correspondencia con estas evidencias científicas, la inulina puede ser considerada un prebiótico.

Se ha señalado por algunos investigadores que los prebióticos de cadena corta, como los FOS, que contienen 2 - 8 enlaces por molécula de sacárido,

son fermentados más rápidamente en el lado derecho del colon, proveyendo alimento a las bacterias de esa parte. Los prebióticos de cadena larga, como la inulina, de 9 - 64 enlaces por molécula de sacárido, son fermentados más lentamente, alimentando preferentemente a las bacterias del lado izquierdo del colon. Los FOS enriquecidos con inulina alimentan las bacterias de ambos lados del colon [42].

La inulina puede formar parte de la composición intrínseca de los alimentos o añadirse a los mismos (alimentos funcionales), que se usan en la industria alimentaria como sustitutos de azúcares y grasas y suelen aportar a los alimentos textura, estabilizar la formación de espuma, mejorar las cualidades sensoriales (propiedades organolépticas) de los productos lácteos fermentados, galletas, mermeladas, el pan y la leche.

Al agregar la inulina en las harinas destinadas a la elaboración de pastas, permite un buen índice de hinchamiento y firmeza del producto, con un mejor índice nutricional y un menor índice glicémico reducido en un 15 %. Hay que considerar que la inulina a temperaturas entre 135 - 190 °C empieza a hidrolizarse disminuyendo su cantidad, por lo tanto el procesamiento térmico en esta industria debe tomarse en cuenta. La inulina también es conocida por su capacidad de estabilizar espumas y emulsiones en su estado hidratado, especialmente cuando se incorpora en un 1-5 % [1]. Además, se caracteriza por formar geles acuosos que tienden a ser cada vez menos plásticos a medida que aumenta la concentración de este polisacárido.

Se emplean como sustitutos de la grasa, debido a que los fructanos hidratados en concentraciones de 40-45 %, adoptan una textura y una palatabilidad muy similar a la de ella. La tasa de reemplazo equivale a 0,25 g de inulina por 1 g de grasa, reduciéndose el contenido energético de 37,6 kJ/g de las grasas a 2,09 kJ/g de la inulina hidratada. Se aplica para alimentos con alto contenido de humedad como helados, otros derivados lácteos e incluso embutidos. Estudios realizados en yogurt, indican que una cantidad máxima de 1 % de inulina en leche descremada es capaz de generar un producto comparable en atributos sensoriales con un yogurt fabricado con leche entera, sin efectos contrarios en la acción de los cultivos lácteos empleados inicialmente en su elaboración [43].

Cuando la inulina se usa como aditivo en helados es capaz de impedir el crecimiento de cristales de agua en el helado terminado y reduce la pérdida de fluidos, además, mejora la viscosidad y los tiempos de derretido, sin que esto produzca efectos sensoriales negativos [43].

En el caso de los edulcorantes, la libertad de sustitución es más limitada dado que el dulzor de la inulina es de apenas el 30 % del generado por la sacarosa, razón por la cual la sustitución suele ser parcial, especialmente con edulcorantes fuertes con los cuales existe por lo general una gran sinergia, en la industria de la panificación, la inulina como sustituto del azúcar permite obtener una masa más blanda [43].

Aplicaciones farmacéuticas

Hay dos problemas relacionados con la salud humana de importancia trascendental donde la inulina tiene potencialidades de empleo: en el fortalecimiento de la microbiota intestinal y la sustitución o complementación de la leche materna.

Se han aplicado con éxito los mananoligosacáridos (MOS), que son un tipo de carbohidratos derivados de la pared de la célula de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Estos oligosacáridos contienen manano, un azúcar que consumen ciertas bacterias, incluyendo muchas variedades de *Escherichia coli* y *Salmonella*. Existen varias formas de MOS, pero todas están compuestas por un azúcar manosa y enlaces glucosídicos de los siguientes tipos: alfa-1,6-glucósido, alfa-1,2-glucósido, alfa-1,3-glucósido o beta-1,3-glucósido. Los MOS actúan evitando las temidas diarreas neonatales y mejorando el sistema inmune y el tránsito intestinal [44].

La mayoría de los estudios in vivo realizados con relación al efecto de la adición de inulina a la dieta sobre la composición de la microbiota humano del colon revela que los *Bacteroides spp.* son estimulados o bloqueados mediante la adición de estos prebióticos. Sin embargo, al menos algunos *Bacteroides spp.* son capaces de degradar la inulina tipo fructano, incluyendo al *B. thetaiotaomicron*. Estas especies constituyen alrededor del 6 % de la microbiota intestinal [45]. Como una posible explicación de la degradación de la

inulina, en el caso de los Bacteroides, se presume que sea un mecanismo periplásmico o incluso extracelular.

La composición de la microbiota intestinal puede ser influenciada bien mediante la administración de bacterias vivas que superviven en el tracto intestinal, que ejercen su actividad biológica por interacción con la superficie del intestino delgado y colonizan el colon, o por el suministro de ingredientes a la dieta que no son digeribles durante el paso a través del intestino delgado, sino que alcanzan el colon y estimulan selectivamente las colonias de bacterias que promueven la salud, o por la combinación de ambos principios. La cantidad de bifidobacterias fecales, su porcentaje con respecto a la totalidad de las bacterias, y la producción de SCFA (*short chain fatty acid*) es generalmente aceptada como medida para determinar el efecto prebiótico [46].

Por múltiples razones, hay una tendencia a la disminución de la lactancia materna, a pesar de sus reconocidos beneficios en la salud del neonato. El efecto de la leche materna sobre la microbiota intestinal no puede ser atribuido a un sólo compuesto, pero existen claras evidencias de que los oligosacáridos de la leche materna juegan un papel fundamental. Debido a la existencia de un amplio consenso de que la microbiota juega un importante papel fisiológico para el hospedero, se han hecho muchos intentos para influir en la flora intestinal mediante una intervención dietética.

Dentro del papel fisiológico, se han realizado diversos estudios sobre la relación de prebióticos, microbiota intestinal y el efecto que esto tiene sobre el sistema inmune de modelos experimentales [47, 48], comprobando el efecto positivo entre la administración de prebióticos y el mejoramiento del sistema inmune. Sin embargo, los mecanismos que participan en esta modulación aun requieren de mayor elucidación.

La prevención y reducción de los patógenos se da debido también a la producción de bacteriocinas y otros agentes antimicrobianos, la competencia por sitios de adhesión en las mucosas, la competencia por nutrientes y la producción de inhibidores como el lactato y el acetato [49]. Lo anterior es especialmente importante en algunas condiciones tales como la vejez, inmunodepresión, uso de antibióticos o en enfermedades críticas (aguda o crónica, como enfermedades inflamatorias del intestino y cáncer) donde las

poblaciones de *bifidobacterium* y *lactobacillus* suelen ser más reducidas, evitando consecuentemente una enfermedad sistémica. Por las características descritas a la inulina se le atribuye múltiples beneficios al organismo [50].

El sistema inmune se fortalece, el aumento de las defensas se debe a las capacidades inmuno modulatorias de las bacterias que crecen a expensas de fructanos, es particularmente evidente en infantes lactantes o en personas de la tercera edad, mejora la absorción y acumulación de minerales como el calcio, el magnesio, el zinc, el hierro y el cobre. El aumento de la cantidad de calcio mejora el metabolismo óseo en todas las edades por lo tanto mejoran la salud ósea y permite prevenir enfermedades como la osteoporosis. Al aumentar la absorción de hierro, mejora los niveles de hemoglobina en la sangre, los niveles de sulfuro disminuyen, aquellos producidos por la fermentación de proteínas que imposibilita su absorción, previene la anemia [51].

El consumo de inulina en cantidades recomendadas y dependiendo del organismo de cada individuo permite un control y hasta una disminución del índice de masa corporal, el peso corporal y la masa grasa del cuerpo. Su aporte calórico es de 1,5 kcal/g a diferencia de los glúcidos digeribles 4 kcal/g. Estudios a partir de finales de 1 990 han demostrado que la fermentación de inulina modifican las señales de las hormonas que implican en el apetito y tienen su origen en el intestino. Esto a su vez puede modular sus niveles en la sangre, afectando el apetito y la ingesta de alimentos, permite un adecuado equilibrio en el intestino reduce la acumulación de grasas y la inflamación del intestino, regula los niveles de colesterol y de glucosa en la sangre previniendo enfermedades cardiovasculares, diabetes asociada o síndrome metabólico [52]. Se ha logrado asociar ingestas de 6 a 12 g de inulina diarios durante dos a tres meses con reducciones importantes en el colesterol sérico (hasta de 20-50 dl) lo cual va de la mano con una disminución de hasta el 25 % en el riesgo de sufrir isquemias, término que en patología morfológica denota la falta total o parcial de sangre en un órgano o parte de él [53].

Aunque el mecanismo no se comprende completamente, se supone que los oligofruetosacáridos hidrosolubles ligan el colesterol y los ácidos biliares en el lumen intestinal aumentando su excreción en las heces, tienen la capacidad de

disminuir la uremia y la anemia, ya que el nitrógeno amoniacal generado en el colón por diversos procesos, es incorporado a las proteínas de la biomasa bacteriana que crece durante la fermentación, lográndose de esta manera bloquear el paso de este nitrógeno a la sangre [54].

La inulina y derivados que pasan son considerados fibra dietética soluble pero como toda fibra una ingesta inadecuada puede provocar efectos negativos en el individuo, entre ellos efectos osmóticos, inducidos principalmente por moléculas más pequeñas que aumentan la presencia de agua favoreciendo el tránsito intestinal. Es aceptable también la producción de gases resultantes de la fermentación bacteriana en el colon. Los compuestos de cadena larga son más fáciles de tolerar que los compuestos de cadena corta, como oligofruktosas [55]. La flatulencia es un efecto secundario bien conocido y aceptado a menudo, debido al consumo de fibras dietéticas en general, ingestas excesivas de inulina que no sean toleradas por el organismo pueden causar diarreas. No se evidencia ninguna toxicidad sin importar la cantidad ingerida como parte de la dieta. En algunas personas, la rápida fermentación de los fructanos puede provocar una alta concentración de hidrógeno a nivel estomacal, lo que puede promover la peristalsis del colon, lo cual desemboca en sintomatologías similares a la intolerancia a la lactosa tales como defecaciones irregulares, flatulencia e irritabilidad abdominal [56].

La inulina es una sustancia con funcionalidad diversa que se ha utilizado en la industria y, principalmente, en la salud humana. Por ejemplo, se ha empleado en la enfermedad inflamatoria intestinal (enfermedad de Crohn y la colitis ulcerosa), contra el estreñimiento y la hipercolesterinemia, una de sus aplicaciones fundamentales ha sido como prebiótico [57].

En la industria médica, utilizan inulina y sus derivados como material excipiente en tabletas, coadyuvantes en vacunas, los principales usos son como sustitutos no carcinogénicos e hipocalóricos de azúcares edulcorantes como la sucrosa en productos de confitería, chocolatería [58] y bebidas de aceptación sensorial, en bebidas no gaseosas la adición de pectinas, jarabes de inulina [23], barras energéticas [59], cereales extruidos [23], mejorando sabor y textura, o su ingesta dosificada y oligofruktosacáridos no afectan negativamente las propiedades sensoriales aún en concentraciones tan altas como un 15 %.

Conclusiones

1. **En la presente revisión bibliográfica se evidencia el papel actual de la inulina en el campo productivo, constituyéndose como un polisacárido muy empleado en la industria farmacéutica y alimentaria. Las especies vegetativas más representativas por su contenido de inulina son: achicoria (*Cichoriumintybus*), agave (*Agave spp*), dahlia (*Agave spp*) y papa de Jerusalén (*Helianthustuberosus*), sin embargo, la literatura ha mostrado que esta por constituirse en una reserva energética debido a que se encuentra en alrededor de 36 000 especies vegetales, razón por la cual se han realizado múltiples investigaciones. Este polisacárido es producido por diferentes métodos de extracción siendo uno de los más utilizados el de extracción con solvente, secado y cristalización, el mismo presenta como desventaja la purificación debido a que encarece el precursor (inulina), por lo que es necesario realizar un estudio para la optimización del proceso productivo de tal manera que se pueda obtener la mayor rentabilidad de la materia prima y contribuir a la eficiencia de los procesos existentes. La inulina por su variedad de aplicaciones es un compuesto con un futuro promisorio.**

Bibliografía

- 1- VAN L., J. et al. "On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet". *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 1995, núm. 35, p. 525–552.
- 2- NISHIMURA, M. et al. "Effects of the extract from roasted chicory (*Cichorium intybus* L.) root containing inulin-type fructans on blood glucose, lipid metabolism, and fecal properties". *Journal of Traditional and Complementary Medicine.* 2014, núm. 1, p. 1-7.
- 3- FRANCK, A.; LEENHEER, L. *Inulin in Biopolymers online* [en línea]. [Belgium]: Published Online: 15 de enero 2005, [ref. de 10 de febrero de 2014]. Disponible en Web:<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/>

- 4- FROIDROBER, M. B. "Inulin-type fructans: functional food ingredients". *J Nutr.* 2007, vol 137, núm. 11, p. 2493-2502.
5. EUROFINS, A. *Carbohydrates testing. Dietary fibers.* 2013. [en línea]. [Fecha de Consulta: 25 Mayo 2013]. Disponible en: <<http://www.dietaryfibretesting.com/>>
- [6] BOSSCHER, D. et al. "Fructan prebiotics derived from inulin". *Prebiotics and Probiotics Science and Technology.* Springer. 2009, p. 163-200.
7. KANGO, N., et al. "Production and Prorities of Microbial Inulinases: Recent Advances". *Food Biotechnology.* 2011, núm. 25, p. 165-212.
8. LÓPEZ, G., et al, "Molecular structures of fructans from Agave tequilana, Weber azul". *J Agr Biol Envir St.* 2003, núm. 51, p. 7835-7840.
9. BARCLAY, T., et al. "Inulin - A versatile polysaccharide with multiple pharmaceutical and food chemical uses". *T.H.E. Journal,* 2010, vol 1, núm. 3, p. 27-50.
10. PEDRESCHI, R., et al. "Andean Yacón Root (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. Endl) Fructooligosaccharides as a Potential Novel Source of Prebiotics". *J Agr Food Chem.* 2003, núm. 51, p. 5278-5284.
11. RICCA, E., et al. "The State of the Art in the Production of Fructose from inulin Enzymatic Hydrolysis". *Crit Rev Biotechnol* 2007, núm. 27, p. 129-145.
12. SEMINARIO, J. et al. *El Yacón, fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio* [en línea]. [ref. de 2003]. [Fecha de consulta: 10 Julio 2013]. Disponible en: http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/07/Yacon_Fundamentos_password.pdf
13. MADRIGAL, L.; SANGRONIS, E. "La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.* 2014, vol 57, núm. 4. p. 387-396.
14. ULLOA, J., et al. *Los fructanos y su papel en la promoción de la salud.* 1994 [ref. de 2010]. [Fecha de consulta: 10 Julio 2013]. Disponible en: <<http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/02-05/7.pdf>>.
15. MORROS-CAMPS, J. "Obtención de biopolímeros tenso activos basados en medios de inulina". Director: Infante Martínez-Pardo, Ma. Rosa y Pons Pons, Ramon. Universidad de Barcelona. Barcelona, 2011.

16. MOSHFEGH A. J., *et al.* "Presence of inulin and oligofructose in the diets of Americans". *J Nutr.* 1999, vol 129 (7 Suppl), p. 1407S-1411S.
17. ÁLVAREZ-BORROTO, R. *Obtención de inulina cruda a partir de la tuna (opuntia ficus indica)*. 2014. Quito-Ecuador. [Fecha de Consulta: 20 de Marzo 2015]. Disponible en Base de Datos de Investigaciones de la FIQ.UCE.EDU.EC.
18. FRANCK, A. "Inulin". En: *Food Polysaccharides and Their Applications*. Stephen A. (ed). 2da Edición. Nueva York, USA: Marcel Dekker; 2006, 733 p.
19. WANG, Y., *et al.* "In situ NMR spectroscopy: Inulin biomass conversion in ZnCl₂ molten salt hydrate medium-SnCl₄ addition controls product distribution". *Carbohydrate Polymers*. 2014, p. 440-445.
20. TONELI, J., *et al.* *Spray-Drying Process Optimization of Chicory Root Inulin*. *Drying Technology*. 2010 [ref. de 10 Julio 2013]. Disponible en Web: <http://dx.doi.org/10.1080/07373931003645017>.
21. JOHAN W. *et al.* *Isolation and structural analysis of new fructans produced by chicory*. *J Carbohydrate Chem*. 2006. [Fecha de Consulta: 20 de Marzo 2015]. Disponible en <http://www.tandfonline.com/loi/lcar20>, p. 1-23.
22. GARCÍA, M. "Distribution of Agave (*Agavaceae*) in Mexico". *Cactus and Succulent Journal*. 2002, núm. 4, p. 177-178.
23. ARAGÓN L., *et al.* "Potentially probiotic and symbiotic chocolate mousse". *Food Sci Technol*. 2007, vol 40, p. 669-675.
24. VENERE D., *et al.* *Polyphenol and inulin content in a collection of artichoke*. IV International Congress on Artichoke. *Acta Horticulturae* 2005, 681, p. 453-460.
25. JUN L., *et al.* "Antioxidant and protective effect of inulin and catechin grafted inulin against CCl₄-induced liver injury". *International J Bio Macromolecules*. 2015, p. 1479-1483.
26. MIGUELES, H. "Aplicación de inulina de Dalia y Achicoria en el desarrollo de productos alimenticios". Directoras: Yoja Teresa Gallardo y Haideé Hernández. Tesis de Maestría en Alimentos, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México D. F., 2009.

27. BATTISTON, *et al.* “Estudio de la influencia de los parámetros del secado en la obtención de inulina a partir de *Helianthus tuberosus* L”. Publicación 06/L084 de la Secretaria de Ciencia y Técnica. Universidad Nacional de Cuyo. 2011.
28. FIGUEIRA, G., *et al.* “The effect of plant density and fertilization on the production of *Cichorium intybus* L. roots and inulin content”. II WOCMAP Congress Medicinal and Aromatic Plants, Part 3: Agricultural Production, Post Harvest Techniques, Biotechnology. *Acta Horticulturae* 1999 p: 502: 129-131.
29. BANGUELA, H., *et al.* “Fructans: from natural sources to transgenic plants”. *Biotecnología Aplicada*, 2006, vol 23, p. 202-210.
30. MONTI, A. *et al.* “Evaluation of chicory varieties in north Italy: Inulin production and photosynthesis”. Presented at 9th Seminar on Inulin, Budapest, Hungary, 2002, 18th–19th April.
31. MONTAÑEZ-SOTO, J. *et al.* “Extracción, Caracterización y Cuantificación de los fructanos contenidos en la cabeza y en las hojas del Agave tequilana Weber AZUL”, *Bioagro*, 2011, vol 23, núm. 3, p. 199-206.
32. GIMENO, M. “Diente de León *Taraxacum officinale* Weber, Medicina Naturista”, 2000, No.1, 20-23 ISSN: 1576 -3080.
33. PORTES, M. “Biosíntesis y degradación de fructanos en diferentes regiones de Rizóforo de *Vernonia herbácea* (Vell.) Rusby (ASTARECEAE)”. *Piracicaba*. Sao Paulo-Brasil. 2005, p. 40-68.
34. BLOSS. “Grupo de Ingeniería Biotecnológica. Bioproducción actual de Inulina”. 2015. [Fecha de Consulta: 15 Marzo 2015]. Disponible en www.bloss.com, Bioproductos.
35. ORTIZ-CERDA, E., *et al.* “Experimental and CFD Modeling Study of Inulin Type Fructan Purification from a Model Solution by Diafiltration on a Pilot-Scale Unit”. *Separation Science and Technology*. 2014. [Fecha de Consulta: 15 de Marzo 2015]. p. 1125-1133. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/01496395.2014.880929>.
36. LI, K. L. *et al.* “Preparation of inulin-type fructooligosaccharides using fast protein liquid chromatography coupled with refractive index detection”. *J*

- Chromatography*. A, 1308 (2013). [Fecha de Consulta: 18 de Marzo 2015]. Disponible en: [www.elsevier.com/locate/chroma], 52– 57.
37. ROBERFROID, M., *et al.* “Dietary chicory inulin increases whole-body mineral density in growing male rats”. *J Nutr*. 2002, vol 132, p. 3599-3602.
38. DOMÍNGUEZ-VERGARA, A. M., *et al.* “Revisión del papel de los oligosacáridos prebióticos en la prevención de infecciones gastrointestinales”. *ALAN*. 2009, vol. 59, 4, p. 358-368.
39. MADDALENA, R., *et al.* “Fermentation of Fructooligosaccharides and Inulin by Bifidobacteria a Comparative Study of Pure and Fecal Cultures Applied and Environmental Microbiology”, 2005, vol 71, p. 8-17.
- 40 HANSON, L., *et al.* “The role of breastfeeding in prevention of neonatal infection”. *Pediatr Clin North Am*. 2007, 13, sp.
41. GILL, S. R., *et al.* “Metagenomic analysis of the human distal gut microbiome”. 2006. *Science* 312, p. 1355-1359. [Abstract/Free Full Text].
- [42] GWEN, F., *et al.* “Coculture Fermentations of Bifidobacterium Species and Bacteroides thetaiotaomicron Reveal a Mechanistic Insight into the Prebiotic Effect of Inulin-Type Fructans”. *Applied and Environmental Microbiology*. 2009, vol 75, p. 7-13.
43. LI W. *et al.* “Extraction, degree of polymerization and prebiotic effect evaluation of inulin from Jerusalem artichoke”. *Carbohydrate Polymers*. 2015, p. 315-320.
44. GIBSON G. “Dietary modulation of the human gut microflora using the prebiotics oligofructose and inulin”. *J Nutr*. 1999, vol 129, p. 1438-1441.
45. PIETRO-FEMIA, E. T. “Antitumorigenic activity of prebiotic inulin enriched with oligofructose in combination with the prebiotics Lactobacillus rhamnosus an Bifidobacterium lactis on axocymethane-nduced colon carcinogenesis in rats Carcinogenesis”. *J Br Nutr*. 2002, vol 23, p. 1953-1960.
46. DOMÍNGUEZ-VERGARA, A. M., *et al.* “Revisión del papel de los oligosacáridos prebióticos en la prevención de infecciones gastrointestinales”. *ALAN*, 2009, vol 59, núm. 4, p. 358-368.
47. FLINT, H. “The significance of prokaryote diversity in the human gastrointestinal tract”, In N. A. Logan, H. M. Lappin-Scott, and P. C. F.

Oyston (ed.), Prokaryotic diversity: mechanisms and significance. SGM Symposium”, vol. 66. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 2006, p. 65-90.

[48] BOSSCHER, D., *et al.*, “Fructan prebiotics derived from inulin. In: *Prebiotics and Probiotics Science and Technology*”. Springer. Ney York, 2009, p. 163-200.

49. ROBERFROID, M. B. “Inulin-type fructans and the modulation of the intestinal microflora,. In M. B. Roberfroid and I. Wolinsky (ed.), *Inulin-type fructans: functional food ingredients*”. CRC Press LCC, Boca Raton, FL. 2005, p. 151-181.

50. ASWELL M. “Conceptos sobre Alimentos Funcionales”. Edición en Español. Washington, USA: International Life Science Institute Press, 2004, p. 48.

51. CASTILLO-CALDERÓN, A, R., “Producción de inulinasa por levaduras de *Kluyveromyces marxianus*”. *Scientia Agropecuaria*. Ed.1, 2010, p. 235-245.

52. RICCA, E., *et al.* “Fructose Production by Inulinase Covalently Immobilizes on Sepabeads in Batch and Fluidized Bed Bioreactor”. *Inter J Molecular Sc*. 2010, p. 1180-1189.

53. SIRISANSANEEYAKUL S. *et al.* “Production of fructose from inulin using mixed inulinases from *Aspergillus niger*, and *Candida Guilliermondii*”, *Word J. Microbiol Biotechnol* 543, 2007, vol 23, p. 543-552.

54. OTHA, K. *et al.* “Inclinases: Enzymology”. *Molecular Biology and Biotechnology*, 2004, vol 51, p. 247-254.

55. YU, X. *et al.* “Inclinase overproduction by a mutant of the marine yeast *Pichia guilliermondii* using surface response methodology and inulin hydrolysis”. *Biochem Eng J*, 2009, vol 43, p. 266-271.

56. ZHEREBTSOV, N., *et al.* “Identification of Catalytically Active Groups in Inulinase from *Bacillus polymyxa* 722”. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2003, vol 39, núm. 6, p. 544-548.

57. MOSSCATTO J. *et al.* “The optimization of the formulation for a chocolate cake containing inulin and meal”. *Int Food Sci. Technology*. 2006, vol 41, p. 181-188.

58. NAKAMURA, T., et al. "Continuous production of fructose syrups from inulin by immobilized inulinase from *Aspergillus niger* mutant 817". *J Fermentations Bioengineering*. 1995, vol 80, núm. 2, p. 164-169.

59. FRANCK, A. "Technological functionality of inulin and oligofructose". *British J Nutr*. 2002, vol 87, p. 287-291.