

# La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales

Lorena Madrigal y Elba Sangronis

Universidad Simón Bolívar, Departamento de Procesos Biológicos y Bioquímicos. Caracas, Venezuela

**RESUMEN.** La inulina es un carbohidrato no digerible que está presente en muchos vegetales, frutas y cereales. En la actualidad, a nivel industrial se extrae de la raíz de la achicoria (*Cichorium intybus*) y se utiliza ampliamente como ingrediente en alimentos funcionales. La inulina y sus derivados (oligofructosa, fructooligosacáridos) son generalmente llamados fructanos, que están constituidos básicamente por cadenas lineales de fructosa. En esta revisión se presenta una descripción de la inulina y sus compuestos derivados más comunes, su estructura química, fuentes de obtención, características físicas y químicas, funcionalidad tecnológica, producción industrial, método analítico de determinación, sus beneficios a la salud como prebiótico, aporte de fibra dietética, bajo valor calórico, hipoglicemiante, mejorador de la biodisponibilidad de calcio y magnesio. Se presentan evidencias promisorias de su actuación en la regulación de parámetros lipídicos, reducción del riesgo de cáncer, refuerzo de la respuesta inmune y protección contra desórdenes intestinales. En una amplia variedad de productos alimenticios se usa la inulina y sus derivados como: espesante, emulsificante, gelificante, sustituto de azúcares y de grasas, humectante, depresor del punto de congelación. También se emplean en la industria química-farmacéutica y de procesamiento como excipiente, aditivo, agente tecnológico o coadyudante; en la industria de la alimentación animal, y se está considerando su uso como constituyente de los empaques por su carácter de material bioactivo. Se ha propuesto catalogar a los fructanos como “fibra funcional”, en base a una nueva clasificación de la fibra dietética que considera el efecto fisiológico en el individuo. A través de esta revisión se evidenció el vasto alcance de estos compuestos en la industria alimentaria y las razones por las que resultan ser ingredientes claves en el pujante mercado de los alimentos funcionales.

**Palabras clave:** Inulina, oligofructosa, fructooligosacáridos, fructanos, fibra funcional, prebiótico.

## INTRODUCCION

La inulina es un carbohidrato de almacenamiento presente en muchas plantas, vegetales, frutas y cereales y por tanto forma parte de nuestra dieta diaria. A nivel industrial, la inulina se obtiene de la raíz de la achicoria y se usa como ingrediente en los alimentos, ofreciendo ventajas tecnológicas e importantes beneficios a la salud (1).

En la actualidad, la presencia de ciertas cantidades de inulina o sus derivados en la formulación de un producto ali-

**SUMMARY.** Inulin and derivatives as key ingredients in functional foods. Inulin is a non-digestible carbohydrate that is contained in many vegetables, fruits and cereals. It is industrially produced from the chicory's root (*Cichorium intybus*) and it is widely used as ingredient in functional foods. Inulin and its derivative compounds (oligofructose, fructooligosaccharides) are usually called fructans, as they are basically based on linear fructose chains. This review presents a description of inulin and its most common derivative compounds: chemical structure, natural sources, physico-chemical properties, technological functionality, industrial manufacturing, analytical method for determination and health benefits: prebiotic, dietary fiber, low caloric value, hypoglycemic action, enhancement of calcium and magnesium bioavailability. Potential benefits: lipid parameters regulation, reduction of colon cancer risk and others, improvement of immune response, intestinal disorders protection. From technological point of view, these compounds exhibit a variety of properties: thickener, emulsifier, gel forming, sugar and fat substitute, humectant, freezing point depression. Inulin and derivatives are been used in pharmaceutical, chemical and processing industry as technological additives and excipients. They are also been used for animal feeding. They are been considered as “bioactive” compounds to be proposed as future packaging material. Fructans are proposed to be classified as “functional fiber”, according to recent concepts based on physiological effects on individuals. This review of inulin and its derivatives was useful to show the broad boundaries of these compounds in the food industry and why they may be considered as key ingredients in the expanding functional food market.

**Key words:** Inulin, oligofructose, fructooligosaccharides, fructans, functional fiber, prebiotics.

menticio es condición suficiente para que dicho producto pueda ser considerado como “alimento funcional” (7), que por definición sería aquel que contiene un componente o nutriente con actividad selectiva beneficiosa, lo que le confiere un efecto fisiológico adicional a su valor nutricional (2). El efecto positivo a la salud se refiere a una mejoría de las funciones del organismo o a la disminución del riesgo de una enfermedad (3).

Las estadísticas de los países desarrollados registran un creciente y acelerado consumo de productos alimenticios que

ofrezcan beneficios para la salud. En Estados Unidos, en el año 2004, 158 millones de personas consumieron alimentos funcionales, y el gasto en el área de suplementos alimenticios alcanzó los 20.500 millones de dólares (4). Ello es un índice del interés que existe por mejorar la nutrición y la salud en el ámbito popular y comercial (3). Por otro lado, se observa un creciente número de estudios científicos con el fin de validar los beneficios de los alimentos funcionales en la prevención de enfermedades cardiovasculares y del cáncer (1,5,6).

La propiedad de la inulina más extensivamente estudiada es su comportamiento como prebiótico (7), definido por su capacidad selectiva de estimular el crecimiento de un grupo de bacterias en el colon (bifidobacterias y lactobacilos), con la consecuente disminución de otras especies que pueden ser perjudiciales (ejemplo: *E. coli* y bacterias de la especie *Clostridium spp.*) (8). Entre otras propiedades beneficiosas a la salud de la inulina, se mencionan: el refuerzo de las funciones inmunológicas (ante cáncer o tumores), el aumento de la biodisponibilidad de minerales, la mejora del metabolismo de las grasas y de la respuesta glicémica (1).

La contribución de la inulina y sus derivados en los beneficios atribuidos a los alimentos funcionales motivó esta revisión de la literatura científica, con el objeto dar una descripción detallada de la inulina y sus compuestos relacionados, sus procesos de obtención, su cuantificación, así como también una compilación de aplicaciones de tipo tecnológico y en base a beneficios para la salud, que son o pueden ser explotadas a nivel industrial y comercial.

### Inulina y sus orígenes

La inulina es un carbohidrato de reserva energética presente en más de 36.000 especies de plantas (9), aislada por primera vez en 1804, a partir de la especie *Inula helenium*, por un científico alemán de apellido Rose. En 1818, Thomson, un científico británico, le dio el nombre actual (1). La inulina está constituida por moléculas de fructosa unidas por enlaces  $\beta$ -(2 $\rightarrow$ 1) fructosil-fructosa, siendo el término “fructanos” usado para denominar este tipo de compuestos (10). Las cadenas de fructosa tienen la particularidad de terminar en una unidad de glucosa unida por un enlace  $\alpha$ -(1,2) (residuo -D-glucopiranosil), como en la sacarosa (11) (Figura 1.A), pero también el monómero terminal de la cadena puede corresponder a un residuo de  $\beta$ -D-fructopiranosil (12) (Figura 1.B).

Después del almidón, los fructanos son los polisacáridos no estructurales más abundantes en la naturaleza, presentes en muchas especies de plantas, en hongos del tipo *Aspergillus* sp. y en bacterias, en las cuales prevalece el fructano del tipo levano (enlace  $\beta$ -(6 $\rightarrow$ 2) fructosil-fructosa) (1). Entre las especies de plantas que producen fructanos se identifican las del grupo *Liliaceae* (ajo, cebolla, espárrago, ajoporro) y *Compositae* (achicoria, patata o tupinambo y yacon). En la Tabla 1 se presenta el contenido aproximado de inulina en

algunas plantas comestibles (13). 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. Son pocas las especies apropiadas para obtener erúctanos a nivel industrial, a comienzos de la presente década, la inulina se obtenía a partir de dos especies: la patata (*Helianthus tuberosus*) y la achicoria (*Cichorium intybus*), siendo ésta última la fuente industrial más común (11).

FIGURA 1

Estructura química de la inulina: con una molécula terminal de glucosa ( $\beta$ -D-glucopiranosil) (A) y con una molécula terminal de fructosa ( $\beta$ -D-fructopiranosil) (B) <sup>(1)</sup>

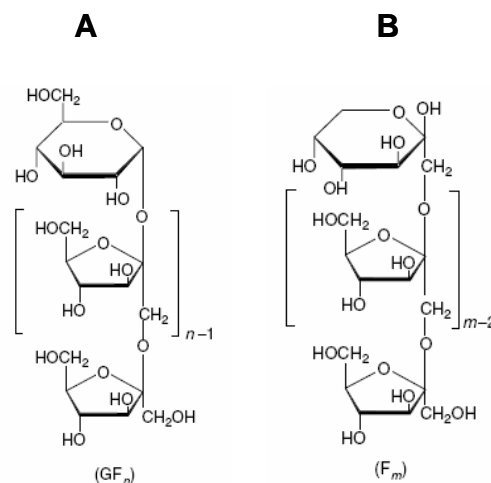


TABLA 1

Contenido promedio de inulina en diferentes especies vegetales (13)

Especie vegetal	Inulina (g/100g base seca)
Patata ( <i>Helianthus tuberosus</i> )	89
Achicoria ( <i>Cichorium intybus</i> )	79
Raíz de Dalia ( <i>Dahlia spp.</i> )	59
Cebolla ( <i>Allium cepa</i> L.)	48
Ajoporro ( <i>Allium porrum</i> L.)	37
Ajo ( <i>Allium sativum</i> )	29
Yacon ( <i>Smallanthus sonchifolius</i> )	27
Espárrago ( <i>Asparagus officinalis</i> L.)	4
Cambur ( <i>Musa cavendishii</i> )	2
Centeno ( <i>Secale cereale</i> )	1

### Botánica de la achicoria

La achicoria (*Cichorium intybus*) es una planta herbácea perenne, de la familia de las *Asteráceas*, que mide entre 80 y 90 cm de alto. Sus raíces son blancas en su interior y amari-

llo-marrón en el exterior. Las hojas son de forma oblonga y dentadas. Sus frutos son secos e indehiscentes, de 3 mm de largo y de ancho, de color negro-marrón que se aclaran al madurar. Esta planta se encuentra geográficamente distribuida en muchas regiones del mundo: Europa central y del norte, Liberia, Turquía, Afganistán, China norte y central, sur América, sur África, Etiopía, Madagascar, India, Australia y Nueva Zelanda. En general, cuando la achicoria se cultiva para aprovechar sus raíces, se requiere climas húmedos y calientes (14).

### Compuestos derivados de la inulina

Los fructanos más ampliamente estudiados y de mayor uso a nivel industrial son la inulina, la oligofructosa y los fructooligosacáridos o FOS (15), se caracterizan por sus enlaces de tipo  $\beta$ -(2→1) entre las unidades de fructosa, con un grado de polimerización que varía entre 2 y 60 unidades (15), y se les considera carbohidratos de cadena corta (16) o de bajo nivel de polimerización (17). Dependiendo de su origen (vegetal o microbiano), los fructanos pueden ser lineales, ramificados o cíclicos y suelen definirse en términos de grado

de polimerización promedio ( $GP_{prom}$ ) y grado de polimerización máxima ( $GP_{máx}$ ). En los de origen vegetal, el  $GP_{máx}$  no excede de 200, puede ser tan alta como 100.000(7) en los de origen bacteriano Tanto la inulina, como la oligofructosa y los fructooligosacáridos o FOS presentan una estructura polimérica predominantemente lineal. Las diferencias radican en el grado de polimerización, siendo la inulina el compuesto con el mayor rango y promedio. Los FOS y la oligofructosa son muy similares, pero con diferencias estructurales asociadas a sus diferentes orígenes (hidrólisis enzimática de inulina para la oligofructosa y transfructosilación de sacarosa para los FOS). Las cadenas de las moléculas de la oligofructosa son más largas que aquellas producidas por transfructosilación de la sacarosa. No todas las cadenas tienen una glucosa terminal en la oligofructosa, pero los FOS si las tienen (18). En la Tabla 2 se presenta una comparación entre los tres compuestos fructanos. Las diferencias estructurales entre ellos condicionan sus características físicas y químicas, y las propiedades que determinan su uso como ingrediente, las cuales serán revisadas más adelante en el presente artículo.

TABLA 2  
Comparación entre diferentes fructanos: inulina, oligofructosa y fructooligosacáridos (FOS)<sup>(15)</sup>

Origen	Inulina Extracción a partir de vegetal (achicoria)	Oligofructosa Hidrólisis enzimática de la inulina	FOS Transfructosilación de la sacarosa
Rango GP	2-60	2-9	2-4
GP <sub>prom</sub>	10-12 <sup>(23)</sup>	4-5	3-7
Estructura química	Lineal (1-2 % ramificación) <sup>(7)</sup>	Lineal	Lineal

### Características físicas y químicas de la inulina y derivados

Los fructanos por su configuración química no pueden ser hidrolizados por las enzimas digestivas del hombre y de animales, por lo que permanecen intactos en su recorrido por la parte superior del tracto gastrointestinal, pero son hidrolizados y fermentados en su totalidad por las bacterias de la parte inferior del tracto gastrointestinal (intestino grueso, colon). De esta manera, este tipo de compuestos se comportan como fibra dietética (11,19). Los fructanos aportan un valor calórico reducido (1,5 kcal/g) si se comparan con los carbohidratos digeribles (4 kcal/g) (20). En la Tabla 3 se presenta un resumen de las características de la inulina, la oligofructosa y una inulina purificada o llamada de “alto desempeño” o HP (*high performance*) (21).

A nivel industrial, la inulina se presenta como un polvo

blanco, sin olor, con sabor neutral y sin efecto residual, pero oligofructosa además de su presentación en polvo se consigue como jarabe viscoso (75% de materia seca), ambos incoloros (7). La inulina nativa, a diferencia de la inulina HP o de alta pureza, contiene azúcares libres (glucosa, fructosa, sacarosa), lo que le confiere cierto dulzor (10% del dulzor de la sacarosa) (21). La inulina HP presenta menor solubilidad que la inulina nativa, debido a la casi total ausencia de azúcares libres (0,5 % de materia seca).

La viscosidad de la oligofructosa a 10°C en solución acuosa al 5% p/p, es la menor de los fructanos y es una característica clave para la formación de geles y su uso como un sustituto de grasas (1). La inulina también mejora la estabilidad de emulsiones y espumas, por lo que se usa como estabilizante en diversos productos alimenticios (helados, salsas, untables, postres cremosos, etc.). Se observa una sinergia entre la inulina

y otros agentes gelantes como la gelatina, alginatos, carraginos, gomas y maltodextrinas (7). En general, la inulina HP presenta mejores niveles de desempeño que la inulina nativa, en relación a todas las propiedades mencionadas. Con respecto a la oligofructosa, tiene mayor solubilidad y dulzor, así como un efecto sinérgico con edulcorantes como el acesulfame K-aspartame, con mejoras en el efecto residual. La oligofructosa es estable a altas temperaturas, con propiedades humectantes, reduce la actividad de agua y por tanto

propicia la estabilidad microbiológica y afecta los puntos de fusión y ebullición, adicionalmente. La oligofructosa posee propiedades tecnológicas similares a la sacarosa y al jarabe de glucosa (18). A pH menores de 4, los enlaces tipo  $\beta$  de las unidades de fructosa, tanto en la inulina como la oligofructosa, se hidrolizan con la consecuente formación de fructosa. Por esta razón, estos compuestos no pueden ser usados en alimentos muy ácidos (21).

TABLA 3  
Características fisicoquímicas de la inulina, inulina de “alto desempeño” (HP) y oligofructosa <sup>(21)</sup>

Característica	Inulina	Inulina HP	Oligofructosa
Estructura química <sup>(*)</sup>	GF <sub>n</sub> (2 = n = 60)	GF <sub>n</sub> (10 = n = 60)	GF <sub>n</sub> + F <sub>n</sub> (2 = n = 7)
GP <sub>prom</sub>	12	25	4
Materia seca (g/100g)	95	95	95
Pureza(g/100g)	92	99,5	95
Azúcares (g/100g)	8	0,5	5
pH	5 – 7	5 – 7	5 – 7
Cenizas (g/100g)	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Metales pesados (g/100g secos)	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Apariencia	Polvo blanco	Polvo blanco	Polvo blanco o jarabe viscoso
Sabor	Neutral	Neutral	Moderadamente dulce
Dulzor % (vs. sacarosa=100%)	10	Ninguno	35
Solubilidad en agua a 25°C (g/L)	120	25	> 750
Viscosidad en agua (5% p/p sol. acuosa) a 10 °C (mPa.s)	1,6	2,4	< 1,0
Funcionalidad en alimentos	Sustituto de grasas	Sustituto de grasas	Sustituto de azúcar
Sinergismo	Con agentes gelificantes	Con agentes gelificantes	Con edulcorantes intensos

<sup>(\*)</sup> G: unidades de glucosa, F: unidades de fructosa

### Tecnología de producción

La producción industrial de la inulina y sus derivados se obtiene exclusivamente de la raíz de la achicoria (1). En la Figura 4 se muestra un esquema de la producción de la inulina y de algunos de sus derivados. Alternativamente, la oligofructosa se puede sintetizar a partir de la sacarosa, la cual es sometida a transfructosilación por acción de la enzima  $\beta$ -fructofuranosidasa (23). Existen productos comerciales que son mezclas entre inulina y oligofructosa, por ejemplo el Synergy 1<sup>®</sup> es una combinación de oligofructosa e inulina en una proporción de 30:70 en peso, para que tenga características funcionales específicas (7).

Entre otros productos derivados de la inulina está la carboximetilulinulina (CMI), un compuesto obtenido por carboxilación de la inulina, usado para reducir la formación y crecimiento de incrustaciones en las paredes de las tuberías, contenedores, cámaras de reacción o separación (24).

### Métodos de determinación de inulina y derivados

En 1990 el FDA y en 1992, el Codex Alimentarius definieron a la fibra dietética como el material que precipita en solución de etanol, de acuerdo con los métodos clásicos de análisis

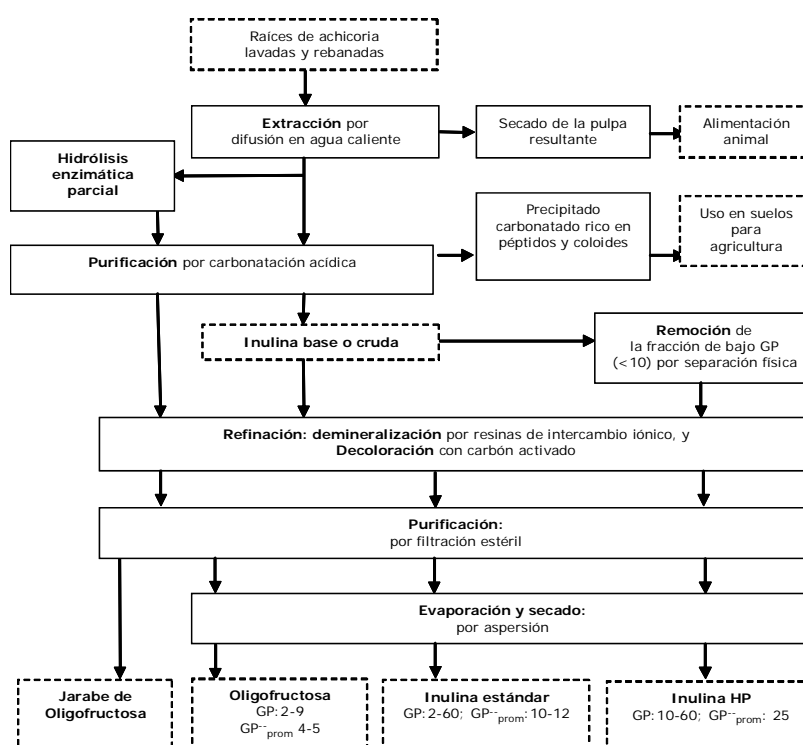
(25). Pero estos métodos no cuantifican aquellos compuestos que cumplen con las definiciones más recientes de fibra dietética, ya que éstos no precipitan en medio acuoso de etanol. La inulina y sus derivados son algunos de esos compuestos, como son moléculas relativamente pequeñas (peso molecular aproximado de 6.000), en comparación con otros compuestos convencionalmente aceptados como fibra dietética (peso molecular entre 10.000 – 50.000), no precipitan completamente en solución de etanol, pues son solubles o parcialmente solubles en dicho solvente (25). Debido a las limitaciones metodológicas, los fructanos no habían sido cuantificados apropiadamente ni incluidos en el valor de fibra dietética total (26).

Estudios realizados en la década de los años 90 evidenciaron que los fructanos tienen propiedades de fibra dietética, no solo en cuanto a los efectos fisiológicos, sino también por su naturaleza (11, 27). En 1995, el AOAC apoyó la inclusión de los oligosacáridos, entre ellos los fructanos, dentro de la definición de fibra dietética (25). Ese mismo año, el FDA expuso formalmente la necesidad del desarrollo y validación de métodos para poder determinar y cuantificar a los fructanos dentro de la cantidad total de fibra dietética de un

alimento, esto debido a que resultaba imprescindible para cumplir con la regulación del etiquetado de los alimentos (27). Entre 1996 y 1997 se publica el método AOAC 997.03, titulado “Fructanos en productos alimenticios, método de cromatografía de intercambio iónico” (25). Luego, se publica el método AOAC 999.03, titulado “Método enzimático-espectrofotométrico de medición de fructanos totales en alimentos”, con el mismo principio del método anterior, pero es una técnica enzimática-colorimétrica (26). En la Figura 6 se esquematiza el método para determinar la fibra dietética to-

tal, incluyendo la inulina y la oligofructosa, como fructanos más representativos (27). Hoy en día se recomienda determinar el contenido de fibra dietética total en un alimento por los métodos oficiales y determinar los fructanos por los métodos disponibles. El contenido de fibra total es la suma de las cantidades obtenidas por los dos métodos separados. Para cuantificar la fibra no proveniente de fructanos se debe incluir en el método una etapa donde se adicione la enzima inulinasa para evitar que cierto porcentaje de inulina sea contabilizado dos veces.

FIGURA 4  
Procesos de obtención industrial de la inulina y derivados



El método AOAC 997.08 se basa en tres etapas: extracción, hidrólisis por acción enzimática y determinación de los azúcares libres por cromatografía (Figura 5) (25, 51). Se parte una solución acuosa del producto alimenticio que contenga aproximadamente 1% (p/v) de fructanos. La extracción de los fructanos se realiza en dos pasos. En el primero se usa agua hirviendo, con agitación continua a pH 6,6 - 8,0 y se completa la extracción en un segundo paso, la solución se mantiene en agitación a 80°C por un tiempo de 10 min, se deja reposar hasta alcanzar la temperatura ambiente. Se toma una alícuota (aprox. 50 g) para ser sometida a la primera determinación cromatográfica de azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa) a partir de la cual, y mediante cálculos analíticos, se obtendrá la cantidad de fructosa libre ( $F_f$ ) y de sacarosa (S),

que inicialmente estaban presentes en la muestra. Se toma otra alícuota de la solución obtenida por extracción (aprox. 15 g) para ser sometida a la primera hidrólisis enzimática con amiloglucosidasa. Para garantizar la reacción la solución se debe mantener a 60°C por un tiempo de 30 min con suave agitación, se deja reposar la solución hasta que llegue a temperatura ambiente, se toma una alícuota de aprox. 10 g para realizar la segunda determinación cromatográfica de azúcares. De esta determinación intermedia, se obtendrán las cantidades de glucosa libre ( $G_f$ ), y de la glucosa obtenida a partir de las maltodextrinas ( $G_m$ ) y almidones. El resto de la solución obtenida de la primera hidrólisis enzimática se somete a una segunda hidrólisis con inulinasa a 60°C por 30 min. De la determinación cromatográfica de este última solución se



obtienen las cantidades de glucosa total ( $G_t$ ) y fructosa total ( $F_t$ ), ya que se asume que todas las moléculas poliméricas de los fructanos han sido hidrolizadas hasta la forma de moléculas simples de los diferentes azúcares. A partir de todos los cálculos analíticos realizados se puede obtener el contenido total de fructanos, mediante la siguiente ecuación:

$$\varphi = k \cdot (G + F) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde  $\varphi$ , es el contenido total de fructanos presentes en la muestra,  $G$  es el contenido de glucosa y  $F$  es el contenido de fructosa, ambos proveniente de los fructanos. Mientras que  $k$  es un factor de corrección (por el agua absorbida después de la hidrólisis) que depende del grado de polimerización de la inulina presente (1). El factor de corrección se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Ecuación 2}$$

En donde  $n$  representa el grado de polimerización promedio. En particular para la inulina proveniente de la achicoria se puede usar  $n = 10$  ( $k=0,91$ ) y para la oligofructosa  $n = 4$  ( $k = 0,925$ ) (25). Por otro lado, para el cálculo de  $G$  y  $F$  (glucosa y fructosa provenientes de las moléculas de fructanos), y tomando en cuenta el procedimiento de la Figura 5, se tienen las siguientes ecuaciones:

$$G = G_t - G_s - G_f - G_m \quad \text{Ecuación 3}$$

$$F = F_t - F_s - G_f \quad \text{Ecuación 4}$$

En donde todos los términos están definidos en la Figura 5, excepto  $G_s$  y  $F_s$ , los cuales se refieren a la glucosa y fructosa, respectivamente, que hayan sido liberadas por la sacarosa en el proceso de hidrólisis, que son determinadas como  $G_s = S/1,9$  y similarmente  $F_s = S/1,9$ .

En particular en cuanto al método cromatográfico, el estándar AOAC 997.08 especifica que debe ser usado un equipo de cromatografía de intercambio iónico de alto desempeño, con detección de pulsos amperométricos (HPAEC-PAD por sus siglas en inglés), ya que en investigaciones anteriores se evidenciaron desviaciones significativas en los resultados, cuando fueron empleados otros sistemas de detección (25).

FIGURA 5  
Esquema del método de determinación de fructanos

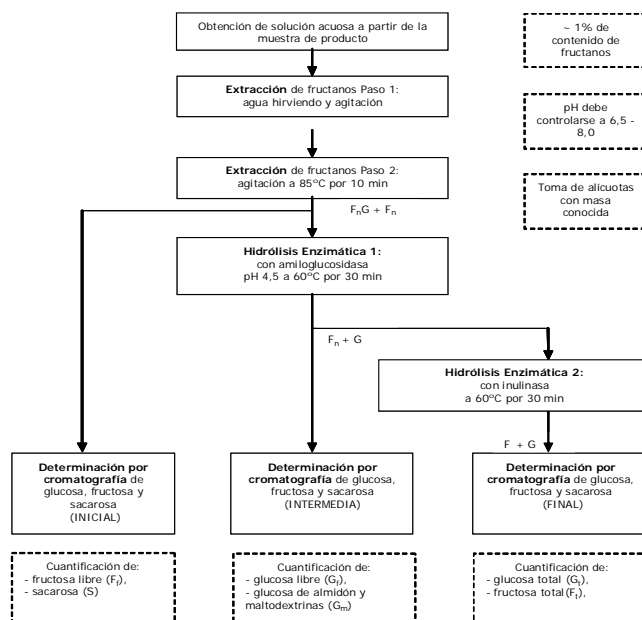
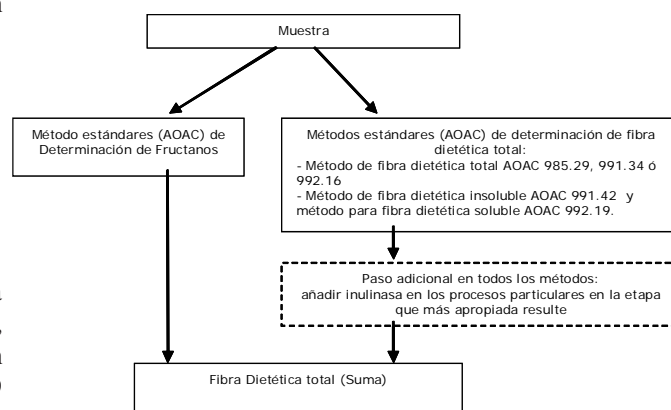


FIGURA 6  
Cuantificación de fibra dietética total usando varios métodos e incluyendo la inulina y oligofructosa (27, modificado)



La literatura evidencia la existencia de otras técnicas para la determinación cuantitativa de los fructanos. Entre ellas se mencionan las siguientes (1):

- La técnica de HPLC se emplea para determinar las cantidades relativas de los diferentes compuestos que se encuentren presentes (glucosa, fructosa, sacarosa), pero no es muy preciso para compuestos de grado de polimerización mayores a 5 ( $GP > 5$ ).
- Cromatografía de gas capilar, útil para la determinación cuantitativa de fructanos con  $GP < 10$ , y también para

distinguir las moléculas que tiene una unidad de fructosa terminal ( $GF_n$ ) de aquellas que no la poseen ( $F_n$ ).

- Por permetilación y posterior cromatografía capilar de gases y espectrometría de masa, con este procedimiento se puede estudiar las características particulares de la estructura química del fructano, el tipo de enlace y la frecuencia de ramificación.

A pesar de que el método estándar AOAC 997.08 resulta muy confiable en sus resultados, su aplicación requiere mucho tiempo y es indispensable el uso de un aparato específico de cromatografía. Es así como existen otros métodos estándares para la determinación, entre ellos se encuentra el método AOAC 999.03, el cual también está basado en tratamientos enzimáticos de hidrólisis y posterior determinación de azúcares, por espectrofotometría. Posee la limitación de que los compuestos provenientes de la hidrólisis de la inulina (del tipo  $F_n$ ) son subestimados (1).

### Fructanos y fibra dietética total

Actualmente resulta imprescindible conocer el contenido de fibra en los alimentos debido a las normativas de información en el etiquetado de productos alimenticios. Debido a la clasificación de la fibra en “soluble” e “insoluble”, terminología basada en las metodologías tradicionales de determinación (50), lo que hasta ahora había sido considerado como la determinación de “fibra dietética total” no es tal, ya que no se incluye la determinación del contenido de fructanos. Los fructanos deben ser determinados por separado, según se muestra en la Figura 6, para luego ser sumados al contenido de fibra obtenido por los métodos tradicionales. Esta sumatoria si representa el contenido de fibra dietética total que debe ser incluido en la información nutricional del etiquetado (27).

Expertos señalan que los términos “soluble” e “insoluble” para la clasificación de la fibra dietética resulta arbitraria y que no son representativos de la funcionalidad o impacto a la salud del individuo (26). Recientemente se han propuesto los conceptos de fibra dietética y fibra funcional, que es una clasificación basada en los efectos fisiológicos o funcionales que los distintos componentes de dicha fibra puedan proporcionar al individuo (28). La fibra dietética se ha definido como los carbohidratos no digeribles y la lignina, los cuales son intrínsecos de las plantas (50), mientras que fibra funcional consiste en carbohidratos no digeribles aislados que tengan efectos fisiológicos beneficiosos en los seres humanos. Bajo estos términos, los fructanos se consideran parte de la fibra funcional. La fibra dietética total es la suma de la fibra dietética y la fibra funcional (28). La comunidad científica propone desarrollar metodologías que se adapten a los conceptos y clasificaciones convenidas y no lo contrario (26). Mientras continúen empleándose los métodos tradicionales, esta nueva clasificación propuesta para la fibra dietética total ayudaría a

evitar confusión en relación a la cuantificación de la cantidad de fibra total, la cual que debe incluirse en la información del etiquetado de productos alimenticios.

### Usos de la inulina como ingrediente

La inulina y sus derivados ofrecen múltiples usos como ingredientes en la formulación de productos (Tabla 4). La inulina tiene propiedades similares a las del almidón, mientras que la oligofructosa presenta propiedades más parecidas a la sacarosa, (53, 54). La inulina mejora la aceptabilidad de yogures elaborados con leche descremada, impartándole una mayor cremosidad, también actúa como agente espesante, retiene el agua y estabiliza geles (28). Los geles se pueden formar por efecto mecánico o térmico, y el obtenido por el segundo método presenta mejor textura y firmeza (29). La capacidad de formar gel es determinante en su uso como sustituto de grasas en productos lácteos, untables, aderezos, salsas y otros productos en los que las propiedades funcionales que otorgan las grasas son indispensables para lograr los efectos sensoriales deseados por los consumidores (21).

TABLA 4  
Propiedades funcionales de la inulina y derivados<sup>(21)</sup>

Aplicación	Funcionalidad
Productos lácteos	Cuerpo y palatabilidad, capacidad de formar gel, emulsificantes, sustituto de azúcares y grasas, sinergismo con edulcorantes
Postres congelados	Textura, depresión en el punto de congelación, sustituto de azúcares y grasas, sinergismo con edulcorantes
Productos untables	Estabilidad de emulsión, textura y capacidad de ser untado, sustituto de grasas
Productos horneados	Disminución de $a_w$ , sustituto de azúcares
Cereales de desayuno	Crujencia, capacidad de expansión
Preparación con frutas (no ácidas)	Cuerpo y palatabilidad, capacidad de formar gel, estabilidad de emulsión, sustituto de azúcares y grasas, sinergismo con edulcorantes
Aderezos de ensaladas	Cuerpo y palatabilidad, sustituto de grasas
Productos cárnicos	Textura, estabilidad de emulsión, sustituto de grasas
Chocolate	Sustituto de azúcares, humectante

En la elaboración de panes de trigo con adición de inulina para sustituir la grasa vegetal no se modificaron las características reológicas de la masa antes de hornear y la calidad sensorial del producto terminado (30,31). El uso de inulina

en la formulación de pastas dio como resultado productos con propiedades sensoriales sin diferencias significativas de aquellas elaboradas con solo trigo (32). Se han logrado formulaciones a base de chocolate (tortas, muses) (33), barras energéticas (34) y cereales extruidos (21) con un desempeño similar o incluso mejorado en sabor, color y textura.

### La inulina y sus beneficios a la salud

El uso de la inulina o sus derivados para cumplir funciones tecnológicas, simultáneamente aporta beneficios a la salud, el primero de ellos es su función de fibra dietética, con los efectos fisiológicos atribuibles a este tipo de compuestos, como son la disminución de los niveles lipídicos y glucosa en sangre y la acción laxante (26). Otro beneficio comprobado ligado al anterior, es la capacidad de la inulina de modular la flora intestinal (35,36), esto se debe a su efecto prebiótico. Estudios *in vivo* muestran que solo 4 g de inulina o de sus compuestos relacionados diarios son efectivas para incrementar el número de bacterias beneficiosas en el colon (37,52).

La inulina y derivados tienen un aporte calórico reducido (máximo de 1,5 kcal/g), atribuibles a la resistencia a la digestión y posterior hidrólisis y fermentación por la flora intestinal selectiva del intestino grueso. Solo los ácidos grasos de cadena corta obtenidos como producto metabólico de la actividad bacteriana en el intestino grueso contribuyen a proveer energía al individuo (20). El valor calórico de 1,5 kcal/g es usado para propósitos legales de información en el etiquetado. Por su efecto hipoglicemiante, la inulina se recomienda en la dieta de individuos con diabetes (20).

Investigaciones con ratas y humanos indican un incremento de la absorción de calcio y otros minerales cuando se usa inulina y sus derivados en la dieta, con consecuencias positivas en el contenido y densidad de los huesos (38, 39). En adolescentes, la dosis necesaria para observar esos resultados fue 8 g/día de inulina durante 8 semanas (40, 41). También se demostró el efecto positivo de la inulina y sus derivados en la absorción de magnesio (42).

Con respecto al cáncer, se demostró que la administración de prebióticos (inulina y oligofructosa) disminuye el crecimiento de cáncer de colon en ratas (6). El mecanismo aún no está claro, pero los resultados parecen señalar como responsable a la acción combinada de dos factores: el aumento de los ácidos grasos de cadena corta (producto de la fermentación de los prebióticos) y la disminución de la proliferación de las enzimas envueltas en la patogénesis del cáncer (6). Se observó la inhibición del cáncer mamario en ratas cuya dieta fue suplementada con inulina (44). También ha sido reportado un efecto antimelanoma por el consumo de inulina (45). Estos efectos positivos en la salud han originado que se recomiende la inulina como factor adyuvante en las terapias de cáncer (7).

La inulina junto con otro carbohidrato no digerible, el galactooligosacárido, logra cumplir una función muy impor-

tante en el mejoramiento de las formulaciones alimenticias infantiles (46). La leche materna contiene una mezcla compleja de carbohidratos no digeribles que cumplen con la función de prebiótico, lo cual justifica la adición de oligosacáridos a formulas lácteas que se administran a los niños.

Existen otras funciones promisorias de la inulina que aun están en estudio, entre ellas el aumento a la resistencia a infecciones intestinales, atenuación de enfermedades inflamatorias del intestino, estimulación del sistema inmune, con la consecuente resistencia a las infecciones (7). Sin embargo, es importante considerar que estudios en seres humanos han demostrado que dosis mayores a 30g/día de inulina y oligofructosa ocasionan efectos gastrointestinales adversos (55).

Es importante destacar que tanto la inulina como sus derivados fueron aceptados como ingredientes GRAS (*generalmente reconocido como seguro*) por el FDA desde 1992, lo cual indica que pueden usarse sin restricciones en formulaciones alimenticias incluso en las destinadas para infantes (27).

Los importantes beneficios de la inulina y derivados han sido ampliamente explotados en el mercado e incluso utilizados para alegaciones contundentes en las campañas de mercadeo. Un reporte de las FAO señala la necesidad de una regulación internacional que estandarice las condiciones bajo las cuales se pueden usar las alegaciones en nutrición y salud, ya que existen algunas que aún no han sido sólidamente comprobadas a nivel científico (47).

### Otras aplicaciones de la inulina y derivados

La inulina y sus derivados también se están usando en la alimentación animal, para disminuir malos olores en las heces fecales de animales domésticos como perros y gatos (48). También se ha ensayado utilizar los oligosacáridos inulina y oligofructosa en la sustitución del uso de antibióticos profilácticos en pollos, conejos y cochinos(9).

La inulina y derivados se están usando en la industria farmacéutica como material excipiente en tabletas, coadyuvante en vacunas y también como ingrediente estructurante en detergentes (29). Adicionalmente, en la industria química y de procesamiento se usa la inulina y la carboximetil inulina (CMI), como agente quelante y anti-incrustante de tuberías, contenedores, cámaras de reacción y separación y demás equipos (24)

La inulina y derivados han sido calificados como materiales bioactivos que pueden ser incorporadas en los empaques de los alimentos para dar origen a “empaques bioactivos”. Los materiales bioactivos son aquellos que modifican positivamente la funcionalidad de procesos fisiológicos del organismo, tales como los prebióticos, los fotoquímicos y las vitaminas (49).



## CONCLUSIONES

La inulina es un compuesto que se encuentra de manera natural en muchas especies vegetales y que actualmente se produce a escala comercial por extracción a partir de la raíz de la achicoria. La inulina y sus productos derivados están formados básicamente por cadenas lineales de fructosa y pueden tener o no una unidad terminal de glucosa. El grado de polimerización es variable y este determina las características fisicoquímicas y sus aplicaciones como ingrediente en las formulaciones alimenticias. La inulina ofrece beneficios para la salud y se usa en la formulación de alimentos funcionales con propiedades ampliamente explotadas a nivel comercial. Adicionalmente, la inulina y derivados tienen aplicación en la industria química, farmacéutica, de procesamiento y la de alimentación animal. Se ha considerado incluir a la inulina dentro de la lista de materiales bioactivos y se ha propuesto catalogar a los fructanos como “fibra funcional”, lo que sustituiría la clasificación tradicional con los términos de fibra soluble e insoluble. A través de esta revisión se evidenció el vasto alcance de estos compuestos en la industria alimentaria y el porqué resultan ser ingredientes claves en el pujante mercado de los alimentos funcionales.

## REFERENCIAS

1. Franck A. Inulin. En: Food Polysaccharides and Their Applications. Stephen A. (Editor). Segunda Edición. Nueva York, USA: Marcel Dekker; 2006. 733 pp.
2. Silveira M, Monereo S, Molina B. Alimentos funcionales y nutrición óptima. ¿Cerca o lejos?. Rev Esp Salud Pub 2003; 77; 317-331.
3. Aswell M. Conceptos sobre Alimentos Funcionales. Edición en Español. Washington, USA: International Life Science Institute Press; 2004. 48 pp.
4. Burdock G, Carabin I, Giffiths J. The importance of GRAS to the functional food and nutraceutical industries. Toxicol 2006; 221: 17-27.
5. Milner J. Functional foods and health promotion. J Nutr 1999; 129: 1395-1397.
6. Pietro A, Luceri C, Dolara P, Giannini A, Biggeri A, Salvadori M, Clune Y, Collins K, Paglienari M, Caderni G. Antitumorigenic activity of the prebiotic inulin enriched with oligofructose in combination with the probiotics *Lactobacillus rhamnosus* and *Bifidobacterium lactis* on azoxymethane-induced colon carcinogenesis in rats. Carcinogenesis 2002; 23: 1953-1960.
7. Roberfroid M. Inulin-Type Fructans: Functional Food Ingredients. Boca Raton, USA: CRC Press. 2005. 370 pp.
8. Gibson G. Dietary modulation of the human gut microflora using the prebiotics oligofructose and inulin. J Nutr 1999; 129: 1438-1441.
9. Flickinger E, Van Loo J, Fahey G. Nutritional responses to the presence of inulin and oligofructose in the diet of domesticated animals: A review. Crit. Rev Food Sci Nutr 2003; 43: 19-60.
10. Watherhouse A, Chatterton N. Glossary of fructans terms. En: Science and Technology of Fructans. Suzuki M., Chatterton N. (Editores). Boca Raton, USA: CRC Press; 1993. 369 pp.
11. Flamm G, Glinsmann W, Kritchevsky D, Prosky L, Roberfroid M. Inulin and oligofructose as dietary fiber: a review of the evidence. Crit. Rev Food Sci Nutr 2001; 41: 353-362.
12. Roberfroid M. Concepts in functional foods: the case of inulin and oligofructose. J Nutr 1999; 129: 1398-1401.
13. Van Loo J, Coussement P, De Leenheer L, Hoebregs H, Smiths G. On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet. Crit. Rev Food Sci Nutr 1995; 35: 525-552.
14. Pal Bais H, Ravishankar G. Cichorium intybus L – cultivation, processing, utility, value addition and biotechnology, with an emphasis on current status and future prospects. J Sci Food Agri 2001; 81: 467-484.
15. Biedrzycka E, Bielecka M. Prebiotic effectiveness of fructans of different degrees of polymerization. Trends Food Sci Technol 2004; 15: 170-175.
16. Englyst H, Hudson G. The classification and measurement of dietary carbohydrates. Food Chem 1996; 57: 15-21.
17. Roberfroid M. Non digestible oligosaccharides. Crit. Rev Food Sci Nutr. 2000; 40: 461-480.
18. Crittenden R, Playne M. Production, properties and applications of food-grade oligosaccharides. Trends Food Sci Technol 1996; 7: 353-361.
19. Slavin J. Impact of the proposed definition of dietary fiber on nutrients data bases. J Food Com Anal 2003; 16: 287-291.
20. Roberfroid M. Caloric value of inulin and oligofructose. J Nutr 1999; 129: 1436-1437.
21. Franck, A. Technological functionality of inulin and oligofructose. British J Nutr 2002; 87: 287-291.
22. Van Waes C, Baert J, Carlier L, Van Bockstaele E. A rapid determination of the total sugar content and the average inulin chain length in roots of chicory (*Cichorium intybus* L). J Sci Food Agric 1998; 76: 107-110.
23. Niness K. Inulin and oligofructose: what are they?. J Nutr 1991; 129: 1402-1406.
24. Johansen F. Toxicological profile of carboxymethyl inulin. Food Chem Toxicol 2003; 41: 49-59.
25. Prosky L, Hoebregs H. Methods to determine food inulin and oligofructose. J Nutr. 1999; 129: 1418-1423.
26. Camire M, Cho S, Craig S, Devrie J, Gordon D, Jones J, Li B, Lineback D, Prosky L, Tungland B. The definition of dietary fiber. Cereal Foods World 2001; 46: 112-126.
27. Coussement P. Inulin and Oligofructosa: safe intakes and legal status. J Nutr 1999; 129: 1412-1417.
28. Kip P, Meyer D, Jellema R. Inulin improve sensoric and textural properties of low fat yogurts. Int Dairy J 2005; 16: 1098-1103.
29. Kim Y, Faqih M, Wang S. Factor affecting gel formation of inulin. Carb Polym 2001; 46: 135-145.
30. O'Brien C, Mueller A, Scannell A, Arendt E. Evaluation of the effects of fat replacers on the quality of wheat bread. J Food Eng 2003; 56: 265-267.
31. Wang J, Rosell C, Benedito C. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. Food Chem 2002; 79: 221-226.

32. Brennam C, Kuri V, Tudorica C. Inulin-enriched pasta: effects on textural properties and starch degradation. *Food Chem* 2004; 86: 189 – 193.
33. Moscatto J, Borsato D, Bona E, De Oliveira A, De Oliveira M. The optimization of the formulation for a chocolate cake containing inulin and yacon meal. *Int J Food Sci Technol* 2006; 41: 181-188.
34. Aragon L, Alarcón J, Cardarelli H, Chiu M, Isay S. Potentially probiotic and symbiotic chocolate mousse. *Food Sci Technol*. 2007; 40: 669 – 675.
35. Roberfroid M, Van Loo J, Gibson G. The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *J Nutr* 1998; 128: 11-19.
36. Schneeman B. Fiber, inulin and oligofructose: similarities and differences. *J Nutr* 1999; 129: 1424-1427.
37. Rao A. Dose response effects of inulin and oligofructose on intestinal bifidogenesis effects. *J Nutr* 1999; 129: 1442-1445.
38. Greger J. Nondigestible carbohydrates and mineral bioavailability. *J Nutr* 1999; 129: 1434-1435.
39. Roberfroid M, Cumps J, Devogelaer J. Dietary chicory inulin increases whole-body mineral density in growing male rats. *J Nutr* 2002; 132: 3599-3602.
40. Abrams S, Griffin I, Hawthorne K, Liang L, Gunn S, Darlington G, Ellis K. A combination of prebiotic short- and long-chain inulin-type fructans enhances calcium absorption and bone mineralization in young adolescents. *Am J Clin Nutr* 2005; 82: 471-476.
41. Bosscher D, Van Loo J, Franck A. Inulin and oligofructose as functional ingredients to improve bone mineralization. *Int Dairy J* 2005; 16: 1092-1097.
42. Coudray C, Demigné C, Rayssiguier Y. Effects of dietary fibers on magnesium absorption in animals and humans. *J Nutr* 2003; 133: 1-4.
43. Roberfroid M. Funcional foods: concepts and applications to inulin and oligofructose. *Brit J Nutr* 2002; 87: 139-143.
44. Taper H, Roberfroid M. Influence of inulin and oligofructose on breast cancer and tumor growth. *J Nutr* 1999; 129: 1488-1491.
45. Delzenne N, Williams C. Prebiotics and lipid metabolism. *Curr Opin Lipidol* 2002; 13: 61-67.
46. Oliveros L, Moreno J. Prebióticos en formulas infantiles. *Anal Pediatr*. 2006; 4: 20-29.
47. Report of the regional expert consultation of the asia-pacific network for food and their implications in the daily diet. *FAO Report*. Thailand: RAP Pub; 2004. 65 pp.
48. Hussein H, Flickinger E, Fahey G. Petfood applications of inulin and oligofructose. *J Nutr* 1999; 129: 1454-1456.
49. Lopez-Rubio A, Gavara R, Lagaron J. Bioactive packaging: turning foods into healthier foods through biomaterials. *Trends Food Sci Technol* 2006 ; 17: 567-575.
50. Devries J, Prosky L, Li B, Cho S. A historical perspective on defining dietary fiber. *Cereal Food World*. 1999; 44: 367-369.
51. Dyesseler P, Hoffem P, Fockede J, Quemener B, Thibault J, Coussement P. Determination of inulin and oligofructose in food products. (Modified AOAC dietary fiber method). En: *Complex Carbohydrates in Food*. (Cho L., Prosky L. Editors). New York, USA: Marcel Dekker; 1999. 700 pp.
52. Jenkins D, Kendall C, Vuksan W. Inulin, oligofructose and intestinal function. *J Nutr* 1999; 129: 1431-1433.
53. Roberfroid M. Functional foods: concepts and applications to inulin and oligofructose. *Brit J Nutr*. 2002; 87: 139-143.
54. Rodríguez R, Jiménez A, Fernández J, Guillén R, Heredia A. Dietary fiber from vegetable products as source of functional ingredients. *Trends Food Sci Technol* 2006; 17: 3-15.
55. Williams C. Effects of inulin on lipids parameters in humans. *J Nutr* 1999; 129: 1471-1473.

Recibido: 25-08-2007

Aceptado: 16-11-2007