

# LA LINAZA COMO FUENTE DE COMPUESTOS BIOACTIVOS PARA LA ELABORACIÓN DE ALIMENTOS

**Fernando Figuerola<sup>1</sup>, Ociel Muñoz<sup>1</sup> y Ana María Estévez<sup>2</sup>**

1 Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile. ffiguero@uach.cl

2 Departamento de Agroindustria y Enología, Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad de Chile.

## **Flaxseed as a source of bioactive compounds for food processing.**

### **Abstract**

Flaxseed is the seed from flax (*Linum usitatissimum* L.) and has traditionally been used as an oilseed. Over the last few decades, interest has grown in this product, due to the recognized potential benefits that some of its components offer to maintain health and prevent some non-transmissible chronic diseases. The compounds with biological activity include alfa-linolenic acid, lignans, and dietary fiber. To better utilize those components, the seed needs to be ground, which increases their bioavailability. Seed processing, either via fractioning into the main anatomical components or by obtaining a meal or gum, is very complex with some difficulties still remaining. Studies have shown that rheological properties of the gum permit its use to add texture to some foods, and that the meal may be used in bakery products, pasta, and dairy products, while maintaining the concentration of its bioactive compounds.

### **Resumen**

La linaza corresponde a la semilla del lino (*Linum usitatissimum* L.) y se ha utilizado tradicionalmente como oleaginosa. En las últimas décadas ha surgido un gran interés por ella debido al reconocimiento de que algunos de sus componentes ofrecen potenciales beneficios para a la mantención de la salud y la prevención de algunas enfermedades crónicas no transmisibles. Entre estos compuestos con actividad biológica destacan, el ácido alfa linolénico, los lignanos y

la fibra dietética. Para el mejor aprovechamiento de dichos componentes la semilla debe molerse, de manera de aumentar su bio-disponibilidad. El procesamiento de la semilla, tanto para fraccionarla en sus componentes anatómicos principales, como para la obtención de harina o goma, es complejo y hasta el momento no están resueltas todas las dificultades que conlleva. Se han realizado algunos estudios que indican que la goma, por sus propiedades reológicas, se puede utilizar en diversos alimentos para proporcionar textura y que la harina se puede introducir en la elaboración de productos de repostería, pastas y de productos lácteos, los cuales mantienen la concentración de los compuestos bioactivos provenientes de la linaza.

### **Antecedentes generales**

Las enfermedades cardiovasculares, cáncer, y diabetes son las principales causas de muerte en muchos países. Los consumidores están, cada día más, interesados en consumir una dieta saludable, que pueda reducir el riesgo de estas enfermedades crónicas y ayudar a manejar los síntomas de la menopausia. El efecto de los factores dietéticos en la promoción de la salud y en la prevención de enfermedades es un tema de gran interés en la investigación actual. Hoy día, hay un gran interés en los componentes funcionales de los ingredientes alimenticios, debido principalmente a que diversos estudios han demostrado que las especies reactivas de oxígeno, en especial los radicales libres, son parte de la etiología de las enfermedades

degenerativas (Rajasha *et al.*, 2006).

Los alimentos funcionales son alimentos que se asemejan a los tradicionales, pero que se diferencian de ellos en que ofrecen beneficios más allá de su valor nutricional y energético, en la promoción y prevención de algunas enfermedades crónicas como enfermedades cardiovasculares, cáncer, desórdenes del sistema autoinmune, diabetes, artritis y arritmia (Shahidi, 2002). Últimamente, se ha puesto mucha atención a la linaza como alimento funcional, debido a su exclusivo perfil de nutrimentos y a su potencialidad para afectar el riesgo y desarrollo de enfermedades cardiovasculares y algunos cánceres, especialmente los dependientes de hormonas como el de pecho y próstata (Morris y Vaisey-Genserb, 2003; Ramcharitar *et al.*, 2005).

### La Linaza

La linaza se ha reconocido desde tiempos prehistóricos, en Asia, norte de África, y Europa como una fuente de alimentos y su cultivo, destinado a la obtención de alimentos y fibra, es muy antiguo. Actualmente se le cultiva en alrededor de 50 países, la mayoría de los cuales están en el hemisferio norte. Canadá es el principal productor, seguido por China, Estados Unidos e India. La producción en Chile es muy pequeña y la mayoría de lo que se consume, ya sea como suplemento dietético o como ingrediente para repostería, se importa desde Canadá. Históricamente, la producción de linaza se orientó hacia la producción de aceite de uso industrial; sin embargo, actualmente hay un nuevo interés por consumir la semilla molida debido a su potencial beneficio para la salud. Aunque hay importante evidencia que respalda el consumo de linaza, mucha gente aún desconoce las ventajas de su consumo y sus posibles aplicaciones en alimentos (Daun *et al.*, 2003; Morris y Vaisey-Genserb, 2003; Oomah, 2003; Wanasundara y Shahidi, 2003; Hall *et al.*, 2006).

La linaza o semilla del lino (*Linum usitatissimum* L.) es rica en compuestos que se cree que proporcionan beneficios a la salud humana (ácido  $\alpha$ -linolénico, lignanos y polisacáridos diferentes al almidón) y que se han propuesto que, a través

de su efecto anti hipercolesterolémico, anticarcinogénico, y controlador del metabolismo de la glucosa, pueden prevenir o reducir el riesgo de varias enfermedades importantes que incluyen la diabetes, el lupus, la nefritis, la aterosclerosis y los cánceres dependientes de hormonas. Además, se ha señalado que el consumo de linaza aumenta la producción de lignanos en los mamíferos. Estos efectos, junto con su alto contenido de proteínas, hacen de la linaza un ingrediente alimentario muy atractivo y uno de los alimentos funcionales más importantes del siglo XXI (Babu y Wiesenfeld, 2003; Oomah, 2003; Thompson, 2003a; Shearer y Davies, 2005).

### Características de la semilla de linaza

La semilla de linaza es de 4 a 6 mm de longitud, aplanada, de forma oval y con un extremo aguzado. La cubierta de la semilla es de apariencia suave y brillante, y su color puede variar entre marrón oscuro y amarillo claro. El peso de 1000 semillas es de  $5 \pm 1$  g y su peso del hectolitro fluctúa entre 55 y 70 kg (Daun *et al.*, 2003; Oomah, 2003).

La semilla tiene dos cotiledones aplanados, que constituyen la mayor proporción del embrión; este último está rodeado por las cubiertas de la semilla y por una delgada capa de endosperma. La testa tiene una capa exterior que contiene la mayoría de la fibra soluble y dos interiores ricas en fibra y lignanos. Desde un punto de vista estructural, la testa, endosperma y cotiledones representan el 22, 21 y 57 %, respectivamente (Daun *et al.*, 2003; Oomah, 2003; Wiesenborn *et al.*, 2003).

Existen variedades de semillas de color amarillo o doradas y de color marrón; a pesar de la creencia de que el color externo de la semilla es un indicador de la composición química de la linaza, no se han encontrado variaciones que sustenten que haya una diferencia entre ellas más allá de las causadas por la condiciones de cultivo (Daun *et al.*, 2003; Morris y Vaisey-Genserb, 2003).

### Composición química de la linaza

La linaza tiene alrededor de 40% de lípidos, 30% de fibra dietética y 20 % de proteína. La composición proximal varía considerablemente entre las variedades y de acuerdo a las condiciones ambientales en las que haya crecido la planta. En

los cotiledones se encuentra el 87% de los lípidos y el 76% de la proteína de la semilla, en tanto que en el endosperma está sólo el 17% de los lípidos y el 16% de la proteína (Babu y Wiesenfeld, 2003; Daun *et al.*, 2003; Oohma, 2003).

La linaza es una semilla oleaginosa, fuente importante de ácidos grasos omega 3, especialmente  $\alpha$  linolénico (ALA) que puede constituir hasta el 52% del total de ácidos grasos; de compuestos fenólicos conocidos como lignanos; de una goma coloidal y de proteína de buena calidad. Estos compuestos, aunque están ubicados en diferentes partes de la semilla, interactúan entre sí durante la extracción y el procesamiento, lo que plantea grandes desafíos para su utilización (Oomah, 2001; Oomah, 2003; Hall *et al.*, 2006).

### **Proteínas**

El contenido de proteínas de la mayoría de los cultivares de linaza fluctúa entre 22,5 y 31,6 g/100 g. Las condiciones de procesamiento (descascarado o desgrasado) afectan el contenido de proteínas del producto derivado de la linaza. La cáscara tiene menores contenidos de proteína, por lo que, la harina sin cáscara y desgrasada tiene un alto contenido proteico. Como en muchas otras semillas, el contenido de globulinas es mayoritario, llegando al 77% de la proteína presente, en tanto que el contenido de albúminas representa al 27% de la proteína total. La proteína de linaza es relativamente rica en arginina, ácido aspártico y ácido glutámico; los aminoácidos limitantes son lisina, metionina y cisteína (Daun *et al.*, 2003; Hall *et al.*, 2006).

### **Lípidos**

El aceite, que constituye el componente principal de la linaza (35 a 43 g/100g base materia seca) ha sido por años el objetivo principal del procesamiento de esta semilla. La torta remanente de la extracción de aceite (55%), todavía se considera en algunas partes como un subproducto de bajo valor (Daun *et al.*, 2003; Oomah, 2003). Los cotiledones son el principal tejido de almacenamiento de aceite, el que está constituido principalmente (98%) por triacilgliceroles y se encuentra en glóbulos de aceite de 1,3  $\mu$ m de diámetro. También en la fracción lipídica se encuentra un 0,9 % de fosfolípidos y un 0,1% de ácidos grasos libres.

Aunque la cáscara es relativamente pobre en lípidos (22%), su aceite es rico en ácido palmítico. En los cotiledones predomina los ácidos  $\alpha$  linolénico, linoleico y oleico (Hall *et al.*, 2006).

### **Hidratos de Carbono**

La linaza contiene muy pequeñas cantidades de azúcares solubles (1 a 2 g/100g). La mayoría de los hidratos de carbono presentes en esta especie, pertenecen al grupo de la fibra dietética. Se destaca entre otros granos por ser una excelente fuente de fibra dietética soluble e insoluble, la que en total puede llegar hasta 28% del peso seco de la semilla. La relación entre fibra soluble e insoluble fluctúa entre 20:80 y 40:60. En la fracción soluble, se encuentra un hidrocoloide conocido como mucilago (8% del peso de la semilla). Existe muy poca información de la variación del contenido de fibra dietética entre variedades y según las condiciones de cultivo (Daun *et al.*, 2003).

### **Otros compuestos**

Entre los minerales, destaca el contenido de potasio, fósforo, hierro, zinc y manganeso. La semilla contiene además, vitaminas del grupo B. Como muchas semillas oleaginosas, contiene tocoferoles y tocotrienoles, estando muy relacionado su contenido con la presencia de ácido  $\alpha$  linolénico. También la mayoría de las variedades de linaza contienen esteroides como estigmasterol, campesterol y avenasterol; y, carotenoides como luteína,  $\beta$ -caroteno y violaxantina (Hall *et al.*, 2006).

Por otra parte, la linaza tiene entre 0,8 y 1,3 g/100g de ácidos fenólicos, de los cuales aproximadamente 0,5 g/100g están en forma esterificada, y de 0,3 a 0,5 g/100g están en la forma eterificada, habiendo variaciones importantes entre variedades y por las condiciones ambientales. Los ácidos fenólicos más abundantes en la harina de semilla descascarada son el trans-ferúlico (46%), trans-sinápico (36%), p-cumárico (7,5%) y trans-caféico (6,5%). La goma de linaza también puede tener cantidades considerables de ácidos fenólicos (Daun *et al.*, 2003; Hall *et al.*, 2006). Una de las características más interesantes de la linaza es su contenido de fenoles complejos como es el caso de los lignanos. El lignano de

mayor interés es el secoisolaciresinol (SDG), aunque también están presentes isolariciresinol, pinosresinol y mataresinol y otros derivados del ácido ferúlico (Daun *et al.*, 2003).

### **Compuestos Antinutricionales**

La linaza contiene algunos compuestos antinutricionales como es el caso de muchas otras plantas; el ácido fítico y los glucósidos cianogénicos son los principales, aunque en la literatura no se han informado efectos adversos provocados por el consumo de linaza (Hall *et al.*, 2006).

El ácido fítico, un poderoso agente quelante de cationes y acomplejador de proteínas y almidón, está en cantidades que varían entre 0,8 y 1,5 g/100g del peso seco de la semilla dependiendo de cada variedad y las condiciones de crecimiento de la planta; estos valores son semejantes a los encontrados en maní y en fréjol soya, pero bastante inferiores a los de otras oleaginosas (2 a 5,2 g/ 100g). El ácido fítico, que representa entre el 60 y el 90% del fósforo presente en la semilla, constituye la principal forma de almacenamiento de este elemento y se estima que juega un papel preponderante en la viabilidad y vigor de la semilla. Se han informado efectos negativos como la reducción de la absorción de calcio, zinc, y hierro y de la digestibilidad de las proteínas; y positivos, como la disminución de la respuesta glicémica por el consumo de almidón y de la incidencia de cáncer de colon en ratas (Daun *et al.*, 2003).

Los glucósidos cianogénicos tienen la capacidad de liberar cianuro por hidrólisis ácida o enzimática. En la semilla de linaza los principales glucósidos presentes son linustatina y neolinustatina, y pequeñas cantidades de linamarina y lotasutralina, estando localizados principalmente en los cotiledones. Como en casi todas las plantas, el contenido en la linaza varía con la variedad, condiciones ambientales y la edad de la semilla, reduciéndose el contenido desde 5,0 g/100g en las semilla inmaduras a 0,1 g/100g en las maduras. La hidrólisis ocurre cuando la semilla se daña, debido a que durante la ruptura celular se liberan enzimas que actúan sobre los sustratos cianogénicos. El efecto metabólico que tiene el consumo de glucósidos cianogénicos en los seres humanos depende de

la cantidad consumida, la frecuencia de consumo, el estado nutricional y de salud de la persona y de la presencia de otros componentes en la dieta que puedan interactuar con ellos. Algunos tratamientos, como el tostado en microondas y la ebullición en agua reducen la aparición de cianuro en un 83 y 100%, respectivamente. Es importante destacar que el uso de la linaza habitualmente es como un ingrediente menor en panes, queques o cereales para desayuno, por lo que los glucósidos cianogénicos no representan un problema para el consumo, especialmente porque luego del horneado no se ha detectado presencia de cianuro en ellos (Daun *et al.*, 2003; Hall *et al.*, 2006).

En la linaza, existen muy pequeñas cantidades de inhibidores de tripsina y no se ha detectado inhibidores de amilasas o hemaglutininas (Daun *et al.*, 2003).

### **Compuestos bio-activos de la linaza y beneficios de su consumo**

La semilla de linaza contiene diversos compuestos que pueden ofrecer beneficios para la salud tales como reducción del riesgo de desarrollo de enfermedades cardiovasculares, mitigación de los efectos de la diabetes, patologías renales, obesidad, cáncer de colon y recto, reducción del nivel de colesterol sérico y promoción de la evacuación intestinal. Entre ellos, es importante destacar a la fibra dietética, los lignanos, el aceite y las proteínas (Payne, 2000; Ogborn, 2003; Oomah, 2003; Stavro *et al.*, 2003; Hall *et al.*, 2006). La localización dentro de la semilla, su complejidad y las posibles interacciones de los diversos componentes que poseen actividad biológica son un gran desafío para el procesamiento de este ingrediente alimentario (Oomah, 2003).

#### **Ácido alfa linolénico (ALA)**

La linaza es una de las principales fuentes de ácido alfa linolénico, un ácido graso omega 3 ubicado principalmente en los cotiledones de la semilla, que ha demostrado reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares; por esta razón, la linaza es una valiosa fuente de lípidos para mejorar la relación entre ácidos grasos n-6 y

n-3. Sin embargo, la opinión de los expertos respecto del valor del consumo de ALA está dividida, dado que la conversión de ALA en ácido eicosapentaenoico (EPA) y en ácido docosahexaenoico (DHA) en los seres humanos es baja (0,2 a 6%)(Cunnane, 2003; Daun *et al.*, 2003; Stavro *et al.*, 2003 Hall *et al.*, 2006).

### **Fibra dietética**

La fibra dietética está constituida por diferentes polisacáridos que incluyen a la celulosa, hemicelulosas, pectinas,  $\beta$ -glucanos y gomas. Su consumo juega un importante papel en la salud humana y las dietas ricas en ella se han asociado a la prevención, reducción y tratamiento de algunas enfermedades como diverticulosis, cáncer de colon y enfermedades coronarias.

Los efectos fisiológicos de la fibra dietética se relacionan con sus propiedades fisicoquímicas y tecnológicas, como capacidad de retención de agua, capacidad de hinchamiento, viscosidad, formación de gel, capacidad de ligazón de sales biliares, las que son más útiles en la comprensión del efecto de la fibra dietética que la composición química por sí sola. Estas propiedades dependen de su relación fibra insoluble / fibra soluble, tamaño de partícula, condiciones de extracción y fuente vegetal de origen (Gallagher y Schneeman, 2001; Figuerola *et al.*, 2005).

La linaza tiene, en las capas externas de la semilla, una gran cantidad de fibra dietética (28% de su peso), con una relación de 75% de fibra insoluble y 25 % de fibra soluble o mucílago. La alta viscosidad de esta fibra promueve la evacuación, reduce el riesgo de cáncer de colon y recto, ayuda a reducir el colesterol sérico y la obesidad y puede afectar la secreción de insulina y el mecanismo de mantención de la glucosa en el plasma (Payne, 2000; Babu and Wiesenfeld, 2003; Oomah, 2003; Stavro *et al.*, 2003; Goh *et al.*, 2006; Hall *et al.*, 2006). Los beneficios de la fibra dietética están bien documentados y en los últimos años los consumidores están más conscientes del importante papel que ella desempeña en la dieta de los seres humanos

Dados los beneficios que tiene la fibra dietética soluble y el potencial uso del mucílago de la linaza como goma alimenticia, esta porción ha recibido más atención que la fibra insoluble de la linaza (Daun *et al.*, 2003). El mucílago

está compuesto por dos polisacáridos, uno neutro (aproximadamente 75%) y otro ácido. El polímero neutro está formado por una cadena central de  $\beta$ -D-xilosa unidas con enlaces 1-4, que tiene cadenas laterales de arabinosa y galactosa en posición 2 y 3. El polímero ácido está formado por una cadena principal de residuos de (1 $\rightarrow$ 2)-  $\alpha$ -L ramnopiranosil y de ácido (1 $\rightarrow$ 4)- D-galactopiranosilurónico, con cadenas laterales de fucosa y galactosa. El componente principal del polímero neutro es la xilosa (62,8%) y el del polímero ácido es la ramnosa (54,5%), por lo que la relación ramnosa/xilosa se usa frecuentemente para estimar la relación entre polisacáridos ácidos/neutros. Esta relación fluctúa entre 0,3 y 2,2. Los estudios realizados acerca de la composición del mucílago de linaza indican que la composición de monosacáridos del mucílago varía significativamente entre diferentes cultivares de linaza. Los cultivares con mayor contenido de polisacáridos neutros muestran mayor viscosidad aparente y formación de geles más firmes. Pero, el mucílago de la linaza es un hidrocoloide complejo polidisperso y los diferentes comportamientos reológicos observados en los cultivares está causado tanto por las diferencias en la proporción entre polímeros neutros y ácidos como por el peso molecular y la conformación estructural de los polisacáridos (Daun *et al.*, 2003; Goh *et al.*, 2006; Hall *et al.*, 2006).

### **Lignanos**

Los lignanos de las plantas son compuestos fenólicos con un esqueleto de 2,3-dibencilbutano (Thompson, 2003a). La linaza es la fuente alimenticia más rica en los precursores de lignanos, diglucósido de secoisolariciresinol (SDG) y materesinol, los cuales son fitoestrógenos que por acción del ácido gástrico y de la glucosidasa bacteriana (de aeróbicos facultativos del género *Clostridia*) del tracto digestivo, se transforman en enterolactona y enterodiol, respectivamente, conocidos como lignanos de los mamíferos. Estos últimos poseen mayor capacidad antioxidante que sus precursores. También se encuentran presentes en la linaza otros lignanos, como el lariciresinol, hinoquinina, arctigenina, ácido divainillin tetrahidrofurano nordihidroguayarático, isolariciresinol y pinoresinol, pero el más abundante es el SDG

en cantidades entre 1410 y 2590 mg/100g de semilla seca. El contenido de lignanos en la linaza está muy influenciado por factores genéticos y en menor grado por las condiciones ambientales (Meagher *et al.*, 1999; Metzler, 2003; Thompson, 2003b; Zimmerman *et al.*, 2006; Hu *et al.*, 2007).

Los beneficios para la salud de los lignanos de la linaza residen en su capacidad antioxidante como secuestradores de radicales hidroxilos, y como compuestos estrogénicos y anti-estrogénicos por su similitud estructural con el 17- $\beta$ -estradiol. La actividad antioxidante del lignano de la linaza (SDG) está relacionada con la supresión de las condiciones oxidantes de las especies reactivas de oxígeno. El diglucósido de secoisolariciresinol y su aglucona secoisolariciresinol muestran una muy alta capacidad antioxidante y efectos protectores del daño al ADN y a los liposomas especialmente en las células epiteliales del colon expuestas a estos compuestos, durante el metabolismo de las bacterias del colon que los transforman en lignanos de mamíferos (Rajasha *et al.*, 2006; Hu *et al.*, 2007). De este modo, la incorporación de linaza en alimentos y en dietas para animales tiene grandes ventajas, ya que ayuda en la inhibición de enfermedades y en la promoción de la salud. Debido a que estas sustancias han mostrado tener efectos anti-cáncer, se sugiere que el consumo de linaza reduciría el riesgo de desarrollar cáncer de pecho y de próstata y su acción antioxidante reduciría el riesgo de las enfermedades coronarias (Metzler, 2003; Stavro *et al.*, 2003; Thompson, 2003b; Hall *et al.*, 2006; Hyvärinen *et al.*, 2006a; Rajasha *et al.*, 2006).

Sin embargo, todavía no se establece completamente la cantidad y frecuencia de consumo de linaza que asegure los beneficios señalados. Esto se debe en parte, a que no hay información completa respecto de la biodisponibilidad de los lignanos, incluyendo su absorción, distribución, metabolismo y excreción debido a las dificultades existentes en los análisis de lignanos en las semillas, en los fluidos y tejidos corporales (Thompson, 2003a).

Dado el gran número de investigaciones realizadas respecto de los beneficios para la salud en conjunto con la seguridad del consumo de linaza, se puede decir que esta semilla puede

ser un ingrediente alimentario efectivo en el mejoramiento del estado de salud de las personas. La recomendación más frecuente es de 1 a 3 cucharadas por día de grano molido, teniendo en cuenta que una cucharada (aproximadamente 8 g) entrega 3,3 g de lípidos; 1,8 g de ALA; 1,6 g de proteína; y 2,2 g de fibra dietética total. Sin embargo, sería deseable que la recomendación de cantidades diarias de consumo la hiciera un organismo autorizado (Morris y Vaisey-Genserb, 2003; Hall *et al.*, 2006).

### Procesamiento de la linaza

Hasta hace poco tiempo, los únicos ingredientes derivados de la linaza disponibles para la industria de alimentos eran el aceite de linaza, y la semilla entera o molida, principalmente porque la estructura física de la semilla hace difícil la separación de las fracciones y los componentes químicos, por lo cual es necesario contar con operaciones que mejoren sus propiedades tecnológicas y nutricionales (Daun *et al.*, 2003). Para la elaboración de nuevos productos derivados de linaza es muy importante la selección adecuada de la variedad, ya que se requiere contar con una alta estabilidad oxidativa (Oomah, 2003).

### Molienda

Se recomienda que la semilla de linaza se consuma molida ya en este estado, la digestibilidad y biodisponibilidad de sus componentes son mayores. No existen estudios clínicos acerca de la digestibilidad ni de la contribución nutricional de la semilla entera de linaza a la dieta. En general, se acepta que las semillas enteras tienden a pasar por el tracto gastrointestinal sin ser digeridas debido a que la cubierta de la semilla es resistente a la acción de las enzimas digestivas. La masticación destruye en un cierto grado la cubierta de la semilla y expone los nutrientes del interior a la acción digestiva; sin embargo, es difícil evaluar el grado de masticación necesario para una buena digestión. Aunque por lo anterior, se recomienda el consumo habitual de linaza molida, la semilla entera proporciona una textura crocante a productos de repostería, cereales de desayuno, barras de cereales y ensaladas (Morris y Vaisey-Genserb, 2003).

La molienda de semilla de linaza conlleva dificultades, especialmente si se utilizan molinos de rodillo, debido al alto contenido de aceite del grano lo que causa adherencia del material en la superficie del rodillo. Se ha utilizado con éxito, a nivel experimental, para producir harina integral, molinos cortadores centrífugos y molinos de martillos (Wiesenborn *et al.*, 2003).

### **Descascarado**

La cáscara y los cotiledones de la semilla se pueden utilizar en forma separada como ingredientes funcionales para el desarrollo de alimentos. Se han intentado diversos procesos comerciales para la separación de la cáscara y los cotiledones, con rendimientos de alrededor de 40 % de cada fracción, con un 20% de material no separado (Daun *et al.*, 2003), sin embargo todavía ninguno de ellos se aplica a nivel industrial. Uno de los procesos más exitosos se basa en el descascarado abrasivo de la semilla que permite obtener una fracción rica en cáscara. El equipo de abrasión consiste en molinos de piedra semejantes a los equipos de pulido de arroz. Para mejorar el rendimiento del descascarado es necesario acondicionar el grano mediante un secado previo de la semilla hasta 2,7% de humedad, ya sea en horno caliente (52 °C por 72 horas), por microondas o en lecho fluidizado, lo que produce mejores rendimientos de proceso. Las fracciones de cáscara pueden usarse como una muy buena fuente de secoisolariciresinol (SDG), ya que además de ser ricas en fibra dietética, son ricas en lignanos y medianas en proteínas y lípidos (Oomah *et al.*, 1996; Oomah y Mazza, 1997; Oomah and Mazza, 1998; Madhusudhan *et al.*, 2000; Wiesenborn *et al.*, 2003; Hall *et al.*, 2006). Los cotiledones que se obtienen se pueden usar para la extracción de aceite. Esta fracción tiene una mucho menor capacidad de absorción de agua y viscosidad que la harina integral de linaza (Wiesenborn *et al.*, 2003; Hall *et al.*, 2006).

### **Extracción de la goma**

Las investigaciones más recientes sobre goma de linaza, se refieren a las condiciones de extracción y su efecto en la composición y propiedades reológicas de la suspensión, así como al efecto de la variedad sobre sus

propiedades. La fibra insoluble está constituida por los polímeros estructurales de la pared celular (Daun *et al.*, 2003; Hall *et al.*, 2006).

El mucílago de linaza es un material semejante a una goma, está asociado a la cáscara del grano y está constituido por polisacáridos ácidos y neutros. Las condiciones óptimas para la extracción de la goma son: agua entre 85 y 90 °C a pH 6,5 a 7,0 y con una relación agua: semilla de 13:1. La suspensión se liofiliza o se seca por atomización, obteniéndose rendimientos de 13 a 14 %. La goma de linaza tiene buena capacidad espumante, estabilidad, resistencia a la presencia de sales y viscosidad estable en un amplio rango de pH (Hall *et al.*, 2006)

### **Propiedades tecnológicas**

El uso potencial de ingredientes provenientes de plantas depende de la versatilidad de sus propiedades tecnológicas que se definen como cualquier propiedad de un ingrediente que tenga impacto en su utilización. Están influenciadas, tanto por diversos factores intrínsecos tales como la composición del alimento o matriz del cual se extraen, como por factores ambientales como la composición del alimento en que se incorporan. Estas propiedades afectan las condiciones de proceso, la aplicabilidad del ingrediente, el uso en la formulación o diseño de alimentos y la calidad y aceptabilidad del alimento elaborado (Martínez-Flores *et al.*, 2006).

En los últimos años ha habido un creciente interés por conocer las propiedades tecnológicas de las harinas de plantas las que están determinadas por las características físicas y químicas y la interacción entre componentes (proteínas, hidratos de carbono, pectinas, gomas). Estas propiedades son uno de los criterios principales utilizados para decidir el uso, utilidad y aceptabilidad de las harinas en los sistemas alimenticios. Las propiedades de hidratación, dispersabilidad, densidad aparente, absorción de agua y aceite, capacidad de ligazón, hinchamiento, emulsificación, formación de espuma, gelificación y viscosidad afectan directamente las características finales del sistema alimenticio. El desempeño exitoso de una harina vegetal depende de sus características tecnológicas y de la calidad sensorial que ella imparte al producto final (Kaur y Singh, 2005;

Kaur *et al.*, 2007).

La semilla de linaza tiene potencial para ser usada para la extracción de goma y para la producción de harina rica en proteínas y fibra. Las propiedades tecnológicas de la goma de linaza se relacionan con su alta capacidad espesante, espumante, de hinchamiento, de ligazón y emulsificante. Estas capacidades están afectadas por el tamaño y orientación molecular, la asociación entre moléculas, el tamaño de partícula, la concentración y el grado de dispersión. La goma tiene propiedades que se asemejan mucho a las de la goma arábiga y además presenta la capacidad de formar geles débiles termo-reversibles de establecimiento en frío a pH entre 6,0 y 9,0, por lo cual puede mostrar algunas propiedades de flujo al someterla a suficiente presión. La máxima estabilidad de la espuma se logra con concentraciones de 1%. La pureza de la goma afecta la viscosidad de la suspensión en forma significativa. Las gomas con mayor viscosidad intrínseca muestran mayor potencial para la estabilización de emulsiones aceite en agua. Se ha encontrado una alta variabilidad genética, así como también un marcado efecto de las condiciones ambientales y de cultivo en la propiedades reológicas de la goma de linaza (Daun *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2006; Hall *et al.*, 2006).

La harina de linaza tiene agradables características sensoriales como sabor a nuez, color dorado, buena textura que la hacen atractiva como ingrediente de diversos alimentos. Durante la elaboración de la harina se generan compuestos volátiles y se liberan algunos compuestos fenólicos que le dan un suave amargor. Sin embargo, no existe información disponible de sus propiedades tecnológicas y su comportamiento en un sistema alimenticio complejo (Hall *et al.*, 2006; Goh *et al.*, 2006; Hyvärinen *et al.*, 2006a)

### **Uso de la linaza en la elaboración de productos**

La semilla de linaza entera se puede tostar, extraer, dilatar o laminar para mejorar su aplicabilidad en diversos alimentos. El tostado a altas temperaturas, cercanas a 180 °C cambia

las propiedades organolépticas de la semilla; se desarrollan nuevos aromas y sabores, disminuye su brillo, se oscurece su color ya que aumenta la participación del rojo y disminuye la del amarillo. El tostado, además, puede ayudar a la remoción de algunos compuestos antinutricionales. Sin embargo el contenido de peróxidos, propanal y hexanal aumenta durante el almacenamiento en mayor grado en las semillas tostadas que en las semillas naturales (Hall *et al.*, 2006; Martínez-Flores *et al.*, 2006; Oomah, 2006).

La harina de linaza se puede usar en diversos tipos de alimentos, como productos de repostería, cereales de desayuno, "snack", barras nutritivas, bebidas nutricionales, helados y postres (Pszczola, 2002; Babu y Wiesenfeld, 2003; Morris y Vaisey-Genserb, 2003; Goh *et al.*, 2006; Hyvärinen *et al.*, 2006a). El nivel de harina de linaza que se puede incorporar en la elaboración de alimentos está determinado por los cambios organolépticos y tecnológicos que ocurran en ellos. El éxito en el fraccionamiento de la semilla en sus diferentes componentes, puede aumentar los niveles de incorporación en los alimentos. Todavía no hay suficiente información acerca de las condiciones de proceso que mejoren las características de las harinas y su impacto en la calidad de los productos elaborados (Hyvärinen *et al.*, 2006a; Oomah, 2006). En experiencias realizadas en panificación se encontró que al agregar 5 % de harina de linaza, la firmeza de la masa se mantiene, aumenta la absorción de agua y la curva del farinograma se debilita. La firmeza del pan aumenta y disminuye la calidad de la miga y la corteza, pero su volumen es mayor y tiene mayor vida útil; por otra parte no se observaron cambios en el contenido de lignanos. En el caso de "muffins", con 10 % de harina de linaza, se logran productos con buena apariencia, color, sabor, textura y aceptabilidad (Ramcharitar *et al.*, 2005; Hall *et al.*, 2006). Considerando las temperatura interna de los productos horneados, es esperable que no ocurra un daño significativo en los componentes de mayor valor nutricional de la linaza tales como ALA, lignanos, goma, fibra y proteína, lo cual se ha confirmado parcialmente en forma experimental (Morris y Vaisey-Genserb, 2003 Hyvärinen *et al.*, 2006a).

Por su parte, Manthey *et al.* (2008) estudiaron el efecto del uso de harina de linaza en la elaboración de pasta refrigerada, encontrando

que las pastas resultantes eran menos firmes durante la cocción, pero que sin embargo, tenían un menor desarrollo de hongos, levaduras y bacterias durante el almacenamiento refrigerado de 7 semanas, debido aparentemente a un efecto bacteriostático y fungistático de los componentes de la linaza.

Al introducir harina de linaza en yogurt, el contenido de lignanos se mantiene y no se afecta negativamente la fermentación ni el almacenamiento durante 21 días a 4 °C. En queso Edam, los lignanos se mantienen estables durante la maduración por 6 semanas a 9 °C (Hall *et al.*, 2006; Hyvärinen *et al.*, 2006b).

## Conclusiones

La linaza, a pesar de ser una semilla conocida desde hace mucho, no se usa ampliamente en la formulación de alimentos. Esta semilla posee importantes cantidades de compuestos bioactivos, como ácido alfa-linolénico, lignanos y fibra dietética, los cuales tienen efectos potenciales en la prevención de algunas enfermedades crónicas no transmisibles. Estas características convierten a la semilla de lino en una atractiva fuente de ingredientes para ser usados en la elaboración de diferentes alimentos funcionales.

## Bibliografía

- BABU, U. S.; WIESENFELD, P. W. 2003. Nutritional and Hematological Effects of Flaxseed. **In:** Thompson, L.U.; Cunanne, S.C.(ed.). Flaxseed in Human Nutrition. 2nd edn., Champaign, Illinois AOCS Press. pp. 150-173.
- CHEN, H. H.; XU, S. Y.; WANG, Z. 2006. Gelation properties of flaxseed gum. *J. Food Eng.* 77: 295-303.
- CUNNANE, S. C. 2003. Dietary Sources and Metabolism of  $\alpha$ -Linolenic Acid. **In:** Flaxseed in Thompson, L.U.; Cunanne, S.C (ed.) Human Nutrition, 2nd edn., Champaign, Illinois AOCS Press. pp. 63-91.
- DAUN, J. K.; BARTHET, V. J.; CHORNICK, T. L.; DUGUID, S. 2003 Structure, composition, and variety development of flaxseed. **In:** Thompson, L.U.; Cunanne, S.C.(eds.). Flaxseed in Human Nutrition. 2nd ed. Champaign, Illinois. AOCS Press. pp. 1-40.
- FIGUEROLA, F. E.; HURTADO, M. L.; ESTÉVEZ, A. M.; CHIFFELLE, I.; ASENJO, F. 2005. Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry* 91: 395-401.
- GALLAHER, D.; SCHNEEMAN, B.O. 2001. Dietary fiber. **In:** Bowman, B.; Russel, R. (eds.). Present knowledge in Nutrition. 8 edn. ILSI Washington, DC, pp. 404-422.
- GOH, K.K.T.; PINDER, D.N.; HALL, C.E., HEMAR, Y. 2006. Rheological and light scattering properties of flaxseed polysaccharides aqueous solutions. *Biomacromolecules* 7: 3098-3103.
- HALL, C., TULBEK, M.C.; XU, Y. 2006. Flaxseed. *Ad. Food Nutr. Res.* 51: 2-99.
- HU, C.; YUAN, Y. V., KITTS, D. D. 2007 Antioxidant activities of the flaxseed lignan secoisolariciresinol diglucoside, its aglycone secoisolariciresinol and the mammalian lignans enterodiol and enterolactone in vitro. *Food and Chemical Toxicology* 45: 2219-2227
- HYVÄRINEN, H. K.; PIHLAVA, J. M.; HIIDENHOVI, J. A.; HIETANIEMI, V.; KORHONEN, H. J. T.; RYHÄNEN, A. L. 2006a. Effect of processing and storage on the stability of flaxseed lignan added to bakery products. *J. Agric. Food Chem.* 54: 48-53.
- HYVÄRINEN, H. K.; PIHLAVA, J. M.; HIIDENHOVI, J. A.; HIETANIEMI, V.; KORHONEN, H. J. T.; RYHÄNEN, A. L. 2006b. Effect of processing and storage on the stability of flaxseed lignan added to dairy products. *J. Agric. Food Chem.* 54: 8788-8792.
- KAUR, M.; SINGH, N. 2005. Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different Chickpea (*Cicer arietinum* L) cultivars. *Food Chemistry* 91: 403-411.
- KAUR, M.; SINGH, K.; SINGH, N. 2007. Comparative study of the functional, thermal and pasting properties of flours from different fields pea (*Pisum sativum* L) and pigeon pea (*Cajanus cajan* L) cultivars. *Food Chemistry* 104: 259-267.
- MADHUSUDHAN, B.; WIESENBORN, D.; SCHWARZ, J.; TOSTENSON, K.; GILLESPIE, J. 2000. A dry mechanical method for concentrating the lignan secoisolariciresinol diglucoside in flaxseed. *Leb. Wiss.Tech.* 33: 268-275.
- MANTHEY, F. A.; SINHA, S.; WOLF-HALL, C. E.; HALL, C. A. 2008 Effect of Flaxseed flour and packaging on shelf life of refrigerated pasta. *J. food Processing and Preservation* 32:75-87
- MARTÍNEZ-FLORES, H. E.; BARRERA, E. S.; GARNICA-ROMO, M. G.; PENAGOS, C. J. C.; SAAVEDRA, J. P.; MACAZAGA-ÁLVAREZ, R. 2006. Functional characteristics of protein flaxseed concentrate obtained by applying a response surface methodology. *J. Food Sci.* 71: C495-C498.

- MEAGHER, L. P.; BEECHER, G. R.; FLANAGAN, V. P.; LI, B. W. 1999. Isolation and characterization of the lignans. Isolariciresinol and Pinoresinol, in Flaxseed Meal. *J. Agric. Food Chem.* 47:3173–3180.
- METZLER, M. 2003. Oxidative metabolism of lignans **In:** Thompson, L.U.; Cunnane, C.S. (ed.) *Flaxseed in Human Nutrition*. 2nd edn., Champaign, Illinois. AOCS Press. pp. 117-125.
- MORRIS, D. H.; VAISEY-GENSERB, M. 2003. Availability and Labeling of Flaxseed Food, Products and Supplements. **In:** Thompson, L. U.; Cunnane S. C. *Flaxseed in Human Nutrition*. 2nd edn., Champaign, Illinois. AOCS Press. pp. 404-422.
- OGBORN, M.R. 2003. Flaxseed and Flaxseed Products in Kidney Disease. **In:** Thompson, L.U.; Cunnane, S.C. (ed.). *Flaxseed in Human Nutrition*. 2nd edn., Champaign, Illinois. AOCS Press. pp. 301-318.
- OOMAH, B. D.; MAZZA G.; KENASCHUK, E. O. 1996 Dehulling Characteristics of Flaxseed. *Lebens. Wiss. u-Technol* 29: 245-250.
- OOMAH, B. D.; MAZZA G. 1997. Effect of Dehulling on Chemical Composition and Physical Properties of Flaxseed. *Lebens. Wiss. u-Technol* 30: 135-140.
- OOMAH, B. D. MAZZA, G. 1998. Fractionation of Flaxseed with a Bach Dehuller. *Ind: Crops Prod.* 9: 19-27.
- OOMAH, B. D.; 2001. Flaxseed as functional food source. *J. Sci. Food Agric.* 81: 889-904.
- OOMAH, B. D. 2003 Processing of flaxseed fiber, oil, protein, and lignan. **In:** Thompson, L.U.; Cunnane, S.C.(eds.). *Flaxseed in Human Nutrition*. 2nd edn., Champaign, Illinois. AOCS Press. pp.363-386.
- PAYNE, T. J. 2000. Promoting better health with flaxseed in bread. *Cereal Foods World* 45:102-104.
- PSZCZOLA, D. E. 2002. Ingredient developments for frozen desserts. *Food Technol*: 56: 46-65.
- RAJESHA, J.; MURTHY K. N. C.; KUMAR, M. K.; MADHUSUDHAN, B.; RAVISHANKAR, G. A. 2006. Antioxidant potentials of flaxseed in vivo model. *J. Agric. Food Chem.* 54: 3794-3799.
- RAMCHARITAR, A.; BADRIE, N.; MATTFELDT-BEMAN, M.; MATSUO, H.; RIDLEY, C. 2005. Consumer acceptability of muffins with flaxseed (*Linum usitatissimum*). *J. Food Sci* 70: S504-S507.
- SHAHIDI, E. 2002. Nutraceutical and functional foods: research addresses bioactive components. *Food Technol.* 56: 23.
- SHEARER, A.E.H.; DAVIES, C.G.A. 2005. Physicochemical properties of freshly baked and stored whole-wheat muffins with and without flaxseed meal. *J. Food Qual.* 28: 137-153.
- STAVRO, P. M.; MARCHIE, A.L.; KENDALL, C.W.C.; VUKSAN, V.; JENKINS, D.J.A. 2003 Flaxseed, Fiber, and Coronary Heart Disease: Clinical Studies **In:** Thompson, L.U.; Cunnane, S.C. (eds.). *Flaxseed in Human Nutrition*. 2nd ed. Champaign, Illinois. AOCS. Press. pp. 288-300.
- THOMPSON, LU. 2003a. Analysis and Bioavailability of Lignans. **In:** Thompson, L.U., Cunnane, S.C.(eds.). *Flaxseed in Human Nutrition*. 2nd edn, Champaign, Illinois. AOCS Press. pp. 92-116.
- THOMPSON, LU. 2003b. Flaxseed, Lignans, and Cancer. **In:** Thompson, L.U.; Cunnane, S.C. (eds.). *Flaxseed in Human Nutrition*. 2nd edn. Champaign, Illinois, AOCS. Press. pp. 194-222.
- WANASUNDARA, P. K. J. P. D.; SHAHIDI, F. 2003. Flaxseed Proteins: Potential Food Applications and Process-Induced Changes. **In:** Thompson, L.U.; Cunnane, S.C. (eds.). *Flaxseed in Human Nutrition*. 2nd edn. Champaign, Illinois. AOCS Press. pp. 387-403.
- WIESENBORN, D. P.; TOSTENSON, K.; KANGAS, N. 2003. Continuous abrasive method for mechanically fractionating flaxseed. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 80: 295-300.
- ZIMMERMAN, R., BAUERMAN, U., MORALES, F. 2006 Effects of growing site and nitrogen fertilization on biomass production and lignan content of linseed (*Linum usitatissimum* L.). *J. Sci. Food Agric.* 86: 415-419.