

# ÍNDICE

## ARTÍCULOS DE ACTUALIZACIÓN

- Estructuración de lípidos y sustitutos de grasas. ¿Lípidos del futuro?.....394  
Alfonso Valenzuela B., Julio Sanhueza C.

## ARTÍCULOS ORIGINALES

- Niveles de ácidos grasos poliinsaturados Omega-3 en membranas  
de eritrocitos de mujeres con depresión.....406  
Alexis Tapia S., Lilian Masson S.

- Variables asociadas a la calidad de la dieta en preescolares de Hidalgo, México.....413  
Marcos Galván G., Eduardo Atalah S.

- Interpretación de los conocimientos que influyen en la adherencia a la dietoterapia  
en adultos mayores con diabetes tipo 2 de una comuna rural.....421  
Claudia Troncoso P., Mauricio Sotomayor C., Fernanda Ruiz H., Carla Zúñiga T.

- Efectividad y optimización de los controles de la nutricionista en malnutrición.....427  
Fabiola María Jorge M., Emir Valencia A.

- Desarrollo, consumo y aceptabilidad de una bebida láctea con DHA  
para embarazadas y nodrizas.....433  
Eduardo Atalah S., Gloria Vera A., Gastón Rosselot P. Héctor Araya L.  
Ramón Andreu R. Marcela Alviña W., Marcela Araya B., Vianny Vargas P.,  
Karina Peñafiel W., Catalina Barba G., Tito Pizarro Q.

- Efecto de la semilla de linaza (*Linum usitatissimum*) en el crecimiento de ratas Wistar.....443  
Kátia Calvi Lenzi de Almeida., Flávia Spreafico Fernandes.,  
Gilson Teles Boaventura., Maria Angélica Guzmán-Silva.

- Elaboración y evaluación de polvos para bebidas instantáneas a base de  
harina extrudida de ñame (*Dioscorea alata*).....452  
Emperatriz Pacheco Delahaye., Nora Techeira Auris D. García

- Seguridad alimentaria en hogares de Acandí, Darién caribe colombiano:  
el aporte del caracol cittarium pica “la cigua”.....460  
Gustavo Lozano C., Alejandro Estrada R.

- ANUNCIOS.....471

- GUÍA PARA LOS AUTORES.....473
-

# CONTENTS

## REVIEW ARTICLES

- Structured lipids and fat substitutes. The future lipids?..... 394  
Alfonso Valenzuela B., Julio Sanhueza C.

## ORIGINAL ARTICLES

- Omega-3 polyunsaturated fatty acids in red blood cell membranes  
from depressed female patients..... 406  
Alexis Tapia S., Lilian Masson S.

- Associated factors with diet quality in preschool children from hidalgo, México..... 413  
Marcos Galván G., Eduardo Atalah S.

- Interpretation of the knowledge about type 2 diabetes and compliance to dietotherapy  
among elderly living in rural areas suffering from this disease..... 421  
Claudia Troncoso P., Mauricio Sotomayor C., Fernanda Ruiz H., Carla Zúñiga T.

- Optimization and effectiveness of nutritionist controls in malnutrition..... 427  
Fabiola María Jorge M., Emir Valencia A.

- Development, intake and acceptability of a DHA-enriched milk drink  
for pregnant and lactating women..... 433  
Eduardo Atalah S., Gloria Vera A., Gastón Rosselot P. Héctor Araya L.  
Ramón Andreu R. Marcela Alviña W., Marcela Araya B., Vianny Vargas P.,  
Karina Peñafiel W., Catalina Barba G., Tito Pizarro Q.

- Effect of flaxseed (*Linum usitatissimum*) on the growth of wistar rats..... 443  
Kátia Calvi Lenzi de Almeida., Flávia Spreafico Fernandes.,  
Gilson Teles Boaventura., Maria Angélica Guzmán-Silva.

- Elaboration and evaluation of powders for instant drink based upon  
extruded flour of yam (*Dioscorea adata*)..... 452  
Emperatriz Pacheco Delahaye., Nora Techeira Auris D. García

- Household food security in Acandí, Darien caribbean colombian:  
the contribution of snail cittarium pica “the west indian top shell”..... 460  
Gustavo Lozano C., Alejandro Estrada R.

- ANNOUNCEMENTS..... 471

- GUIDELINES FOR AUTHORS..... 473
-

# ARTÍCULOS DE ACTUALIZACIÓN

## ESTRUCTURACION DE LÍPIDOS Y SUSTITUTOS DE GRASAS, ¿LÍPIDOS DEL FUTURO?

### STRUCTURED LIPIDS AND FAT SUBSTITUTES, THE FUTURE LIPIDS?

Alfonso Valenzuela B., Julio Sanhueza C.

Centro de Lípidos, Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA). Universidad de Chile.

#### ABSTRACT

*Structured lipids and fat substitutes are technological innovations of the chemistry of fats that may have major future nutritional and technological impact. Structured lipids is referred to the development of different procedures for modifying triacylglycerides in order to provide, or not provide, specific fatty acids of nutritional impact. Fat substitutes are products derived either from triacylglycerides or other raw materials, such as proteins and carbohydrates, aiming to provide zero or very low calories. Both innovative technologies are based and utilize the present knowledge on the biochemistry and physiology of lipids in the human body, particularly referred to the digestion and absorption of fatty acids. Although both technologies are not absolutely consolidated, these fat processes may have the best perspectives in the future from the technological, nutritional, and probably economic point of view. This work reviews the most relevant aspects of both technologies.*

**Key words:** *Structured lipids, fat substitutes, enzyme technology.*

Este trabajo fue recibido el 2 de Julio de 2008 y aceptado para ser publicado el 19 de Noviembre de 2008.

#### INTRODUCCIÓN

La creciente epidemia de obesidad, que con muy pocas excepciones es prácticamente mundial, genera constantes recomendaciones para disminuir el aporte calórico y particularmente el consumo de materias grasas. Estas recomendaciones constituyen casi una presión para reducir y/o sustituir el consumo de materias grasas en nuestra alimentación. Por otro lado, han motivado a la industria química y de alimentos a desarrollar nuevos e innovadores productos que sean similares o parecidos a las materias grasas, pero cuyo consumo constituya un bajo aporte calórico, o idealmente ningún aporte, sin que debamos por ello renunciar a las características químicas y físicas que hacen a las materias grasas prácticamente irrenunciables. Los dos desarrollos más importantes e innovadores se refieren a los lípidos estructurados y a los sustitutos de grasas. En este trabajo se abordarán ambas tecnologías por separado, evidenciando sus principales características, propiedades, perspectivas,

y limitaciones.

#### LÍPIDOS ESTRUCTURADOS

El mejor conocimiento del comportamiento catalítico de las lipasas digestivas, de la estereoquímica de los triacilglicéridos alimentarios, y de los mecanismos de absorción, transporte, y de utilización de los ácidos grasos en nuestro organismo, ha motivado el desarrollo de una nueva tecnología orientada a la estructuración de lípidos.

Por lípido estructurado, entendemos una molécula de triacilglicérido o de fosfolípido cuya composición de ácidos grasos ha sido determinada por un proceso de laboratorio, o industrial, y cuyo objetivo es modificar, en el sentido de mejorar o de disminuir la biodisponibilidad de uno o de todos los ácidos grasos componentes del triacilglicérido o del fosfolípido.

Un lípido estructurado, por ejemplo, un triacilglicérido estructurado, es una molécula "hecha a la medida",

formulada para una función nutricional y/o tecnológica específica. De esta forma, se puede decidir el tipo de ácidos grasos, y la posición de estos en las moléculas que se desee estructurar (1).

El principio químico de esta tecnología no es nuevo. De hecho, se realiza cierto nivel de estructuración cuando mezclas de aceites se someten a transesterificación en la fabricación de margarinas y derivados, técnica que permite el intercambio de ácidos grasos entre diferentes moléculas de triacilglicéridos para obtener un producto con una nueva composición de triacilglicéridos y con propiedades físicas, químicas, y nutricionales diferentes. Aunque en este proceso el intercambio de los ácidos grasos ocurre al azar, es posible modificar las características físicas, químicas, y organolépticas del producto final. Por ejemplo, en la fabricación de margarinas y mantecas se puede realizar transesterificación de materias grasas para mejorar el punto de fusión y la plasticidad del producto, siendo posible además, modificar positivamente sus efectos a nivel de los lípidos sanguíneos (2).

### **El desarrollo de los lípidos estructurados y sus perspectivas nutricionales**

El uso de enzimas estereoespecíficas en su acción catalítica, ha permitido, mediante técnicas biotecnológicas, la obtención de lípidos estructurados con una estereoquímica establecida y constante. Las lipasas, como todas las enzimas, permiten, bajo ciertas condiciones, la reversibilidad de las reacciones que catalizan. Una lipasa, por ejemplo, puede hidrolizar un triacilglicérido en un medio acuoso, pero también puede permitir la unión de un ácido graso a una molécula de glicerol en un medio de reacción virtualmente anhidro. Esto es, la enzima puede operar como una “hidrolasa” en el primer caso, o como una “sintetasa” en esta última condición.

La acción de la lipasa, en términos de eficiencia y de estabilidad, se puede mejorar con técnicas de inmovilización. Para esto, la enzima se fija a un sistema de soporte (cerámica, vidrio poroso, material sintético, celulosa, entre otros), el que permite mejorar sustancialmente la estabilidad de la enzima, una de las mayores limitaciones de las enzimas por su carácter proteico, y la eficiencia catalítica de esta, así como también permite un mejor manejo de las condiciones de operación (velocidad de reacción, temperatura, acidez, fuerza iónica, entre otras) (3).

La fijación de la enzima al sistema de soporte puede ser por reacción química de esta con el soporte, por adsorción (adherida a la superficie del soporte) o por absorción (atrapada en el interior poroso del soporte). Una importante ventaja de la inmovilización es que permite incorporar y retirar la enzima del medio de

reacción en forma muy rápida, con lo cual la enzima se recupera y no “contamina” los productos. Otra ventaja de la inmovilización es que permite la reutilización de la enzima un gran número de veces, lo cual redundará en una importante economía del proceso. Además, las condiciones de operación de las enzimas son mucho menos drásticas que las que requieren los procesos químicos propiamente tales, con lo cual se puede producir un ahorro energético.

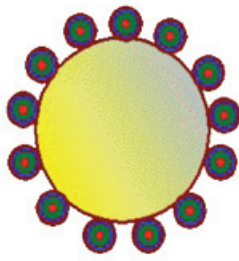
Estas modificaciones tecnológicas son las que han permitido la creciente masificación del uso de enzimas en la tecnología de las materias grasas. Las lipasas que se utilizan para la estructuración de lípidos se obtienen de bacterias o de hongos que han sido especialmente elegidos (por selección genética o por modificación genética) para obtener altos rendimientos de actividad catalítica, y en muchos casos alta resistencia a la temperatura y a los solventes que se utilizan en los procesos (4). La figura 1 muestra las diferentes modalidades de inmovilización de enzimas.

El método más común para estructurar lípidos consiste en hidrolizar con una lipasa inmovilizada, sn-1, sn-3 estereoespecífica, actuando en un medio acuoso (por ejemplo una emulsión aceite-agua) un triacilglicérido determinado, por ejemplo una triacilpalmitina (PPP). Con el progreso de la hidrólisis se obtendrá una mezcla final de sn-2 monoacilpalmitina y de ácido palmítico libre. Este último se puede retirar por fraccionamiento o por destilación, y posteriormente, al sn-2 monoacilpalmitina se le agrega otro ácido graso diferente, por ejemplo ácido oleico (O). De esta forma la mezcla de reacción (ácido oleico + sn-2 monoacilpalmitina) se presenta a la misma lipasa inmovilizada, pero ahora en un medio de reacción virtualmente libre de agua (medio orgánico, hexano por ejemplo). De esta forma, la enzima actuará como una sintetasa (o sintasa), catalizando la incorporación del ácido oleico al sn-2 monoacilpalmitina en las posiciones sn-1 y sn-3, lo cual permite obtener un triacilglicérido de estructura OPO, esto es, un lípido estructurado. Este proceso se puede realizar en forma discontinua, o en un proceso continuo.

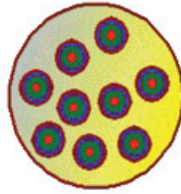
En el proceso discontinuo, se trabaja en un reactor al cual se agrega el PPP para formar una emulsión aceite-agua, y luego se le presenta la enzima inmovilizada, ya sea en esferas o en barras reactivas de material inerte que contienen la enzima unida químicamente o en forma física (absorbida o adsorbida). Una vez establecidas las condiciones óptimas de operación (pH, velocidad de agitación, temperatura, concentración de reaccionantes, tiempo, entre otros), al término de la reacción se separan los productos (sn-2 monoacilpalmitina y ácido palmítico) y la sn-2 monoacilpalmitina se transfiere a

FIGURA 1

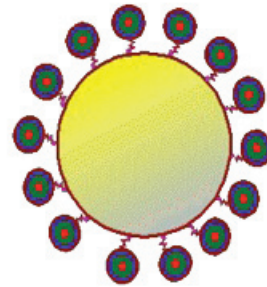
Procedimiento para inmovilizar enzimas



Adsorción



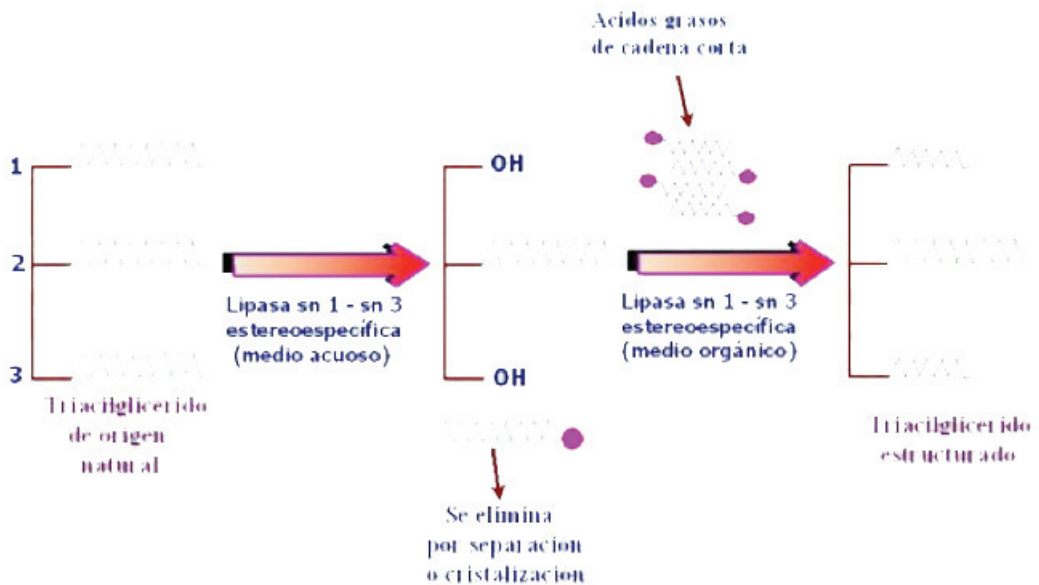
Absorción



Unión  
química

FIGURA 2

Como se obtiene un lípido estructurado



otro reactor, al cual se agrega ácido oleico mezclándose los reaccionantes con un solvente anhidro. Se aplica nuevamente la enzima inmovilizada, y una vez ocurrida la reacción, cuyo progreso es determinado por parámetros preestablecidos, se retira la enzima y se separan los productos. Este proceso se utiliza generalmente con fines experimentales, por ejemplo para optimizar condiciones de reacción, ya que es de bajo costo operacional, pero de poco rendimiento y de mayor laboriosidad. Industrialmente se utilizan procesos continuos como el que se describe a continuación.

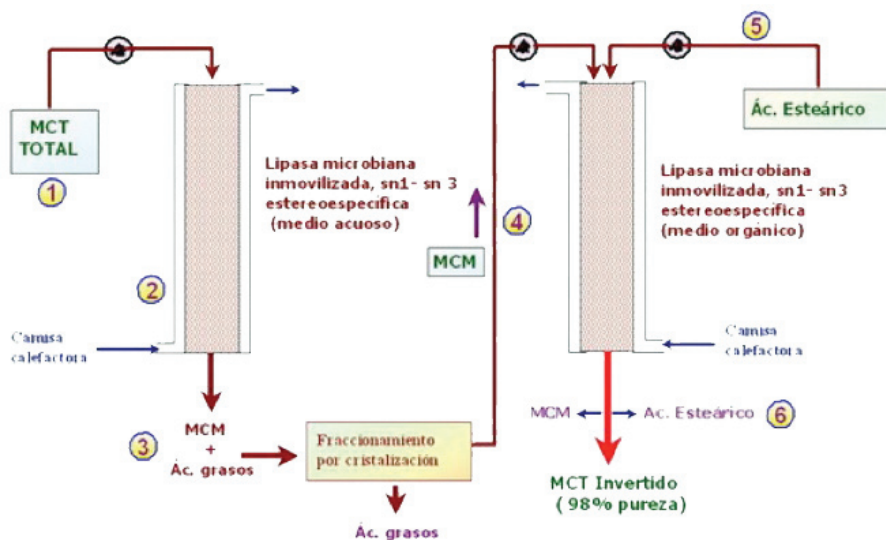
En el proceso continuo se opera con columnas que soportan la enzima inmovilizada, y en las cuales se hace pasar un flujo constante de reaccionante en un medio acuoso. En la medida que se van generando los productos, estos se van separando, generalmente por fraccionamiento debido a la diferente afinidad con el material de la columna, y los productos de interés se incorporan a otra columna, similar a la anterior, pero que contiene la enzima en condiciones de operación anhidras. Procesos continuos, de estas características, son los que utilizan las empresas biotecnológicas involucradas en la fabricación de lípidos estructurados. La figura 2 muestra en forma

esquemática un proceso discontinuo de estructuración de un lípido, y la figura 3 el diseño industrial de ingeniería bioquímica para la estructuración de lo que se conoce como un “triacilglicérido de cadena media invertido, “MCT invertido“. Por tal, se entiende un triacilglicérido que contiene ácidos grasos saturados de cadena larga en las posiciones sn-1 y sn-3, y un ácido graso de cadena corta en la posición sn-2. El equivalente energético de este producto será muy bajo, ya que la absorción de los ácidos grasos de las posiciones sn-1 y sn-3 será muy baja, y el aporte energético del monoacilglicérido que contiene el ácido graso de cadena corta en la posición sn-2 será también muy bajo. Esto es lo que actualmente se identifica como un triacilglicérido “light”.

Utilizando la tecnología ya comentada es posible, desde hace varios años, contar con una gran variedad de lípidos estructurados para uso nutricional, farmacológico, o industrial. Uno de los desarrollos más interesantes es un producto identificado como Betapol (Loders & Croklaan, Dinamarca), que es un triacilglicérido estructurado cuya estereoquímica es OPO, esto es, tiene la misma estructura del triacilglicérido mayoritario en la leche humana (1).

FIGURA 3

### Proceso de ingeniería bioquímica para obtener MCT invertido



1.- Incorporación a la columna de reacción de un triacilglicérido de cadena media (MCT). 2.- Columna de reacción conteniendo la lipasa inmovilizada en medio acuoso. 3.- Productos de la reacción: sn-2 monoacilglicérido de cadena media (MCM) y ácido graso libre. 4.- Incorporación del MCM a una columna que contiene la lipasa inmovilizada en un medio orgánico. 5.- Incorporación a la columna de un ácido graso de cadena larga (esteárico). 6.- Obtención del MCT invertido.

Mediante la adición de este triacilglicérido a fórmulas de reemplazo a la leche materna, es posible igualar con mayor aproximación la composición y la estereoquímica de los lípidos de la leche humana, con los beneficios nutricionales y de salud que esto conlleva. Uno de los efectos más particulares es que un producto formulado con Betapol o con otro lípido de características similares, puede disminuir sustancialmente la formación de jabones de ácidos grasos saturados en el lumen intestinal de los lactantes, favoreciendo así la formación de deposiciones más blandas y permitiendo una mejor biodisponibilidad de los ácidos grasos liberados por la hidrólisis. De esta forma, el Betapol puede disminuir considerablemente las situaciones de estreñimiento que afectan con frecuencia a los lactantes que no reciben leche materna, y que son alimentados con fórmulas que contienen grasas con alta proporción de ácido palmítico en posición sn-1 o sn-3, como ocurre con la grasa derivada de la leche de vaca.

Uno de los primeros lípidos estructurados obtenido por una tecnología no enzimática fue la Caprenina. Este producto, manufacturado por Procter & Gamble (USA) se prepara a partir de la esterificación del glicerol con una mezcla de ácido caprílico (C8:0), cáprico (C10:0) y behénico (C22:0). Este último ácido graso es pobremente absorbido en el tubo digestivo, por lo cual el equivalente energético de la Caprenina es de 5 kcal/g y se utiliza en la preparación de helados, como cobertura en confitería y como sustituto de la manteca de cacao. Cuenta con la aprobación GRAS del FDA desde 1996.

Otro ejemplo de lípido estructurado, en el cual no se ha utilizado tecnología enzimática en su producción, es el Salatrim (Nabisco Foods, USA), cuyo nombre deriva de *short and long acyl triglyceride molecule*. Este producto es una familia de triacilglicéridos obtenida simplemente por transesterificación química de triacilglicéridos de cadena larga, conteniendo generalmente ácido esteárico, con triacilglicéridos de cadena muy corta, que contienen altas proporciones de ácido propiónico (C3:0) y ácido butírico (C4:0) (5). De esta forma, se obtienen diferentes mezclas de triacilglicéridos con distribución al azar de sus ácidos grasos, cuyo aporte calórico no es superior a 5 kcal/g, esto es más de un 30% menor que un triacilglicérido convencional. Salatrim fue desarrollado en la década de 1990, originalmente como un producto de bajo aporte calórico. Actualmente, además, se considera como un buen sustituto de grasas hidrogenadas cuyo alto contenido de isómeros trans las hace cuestionables y en algunos países, actualmente restringidas o prohibidas en ciertos productos.

Salatrim tiene categoría GRAS del FDA desde 1994 y se le utiliza en la preparación de helados, bocadillos, aderezos, como reemplazo de manteca de cacao, entre

otros, con el nombre comercial de BENEFAT licenciada por Nabisco Foods a Cultor Food Science. Salatrim no es adecuado para procesos de fritura. Productos similares son el Neobee MCT (Aarhus United, USA) y Vivola (Forbes-Med, Canadá) (6).

Una iniciativa más reciente, y que se aproxima al concepto de lípidos estructurados que ya hemos discutido, se refiere al Enova, un producto desarrollado por ADM (Archer Daniels Midland, USA) en asociación con Kao Corp. (Japón). Se trata de un aceite que solo contiene sn-1, sn-2 y sn-1, sn-3 diacilglicéridos obtenidos a partir del tratamiento de hidrólisis química controlada de mezclas de aceite de soja y de canola. El producto tiene una apariencia y características organolépticas similares a sus aceites de origen, pero con un aporte calórico un 30% menor, ya que contiene solo 2/3 de los ácidos grasos por unidad estructural. El producto tiene categoría GRAS del FDA, se comercializa desde enero de 2005 en Estados Unidos y se publicita como un "aceite que no se deposita como grasa", lo cual no es enteramente correcto, pero constituye un desarrollo tecnológico interesante.

Los lípidos estructurados también están siendo utilizados en la formulación de productos para la nutrición enteral y parenteral, ya que de alguna manera es posible direccionar el destino metabólico de los ácidos grasos, dependiendo del tamaño de la cadena de estos, y de la posición que ocupe un determinado ácido graso en la estructura del triacilglicérido (7). De esta forma, no solo se logra obtener beneficios nutricionales en pacientes con requerimientos específicos, también es posible prevenir el riesgo de mayor morbilidad y/o mortalidad por algunas patologías de gran prevalencia, como lo son las enfermedades del aparato circulatorio, a través del consumo de aceites diseñados con una estereoquímica específica (8). Con esta misma tecnología, es posible desarrollar grasas o aceites con características nutricionales específicas. Por ejemplo, se han estructurado lípidos que son similares a los componentes de la manteca de cacao, con lo cual se pueden desarrollar chocolates con las mismas características funcionales y organolépticas del chocolate confeccionado con manteca de cacao natural. En un futuro próximo, contaremos con aceites comestibles con propiedades nutricionales, organolépticas, y de estabilidad térmica, ad-hoc para cada uso culinario y/o industrial. Estos aceites serán elaborados a partir de lípidos estructurados y serán productos "a la medida" del consumidor (9).

## LOS SUSTITUTOS DE GRASAS

La ingesta aumentada de grasas es, sin lugar a dudas, una de las causas más importantes de obesidad, por lo

cual aquellas personas que desean mantener su peso, en especial las que presentan tendencia a la obesidad, deben privarse, a veces con gran sacrificio, de ingerir grasas o de reducir al mínimo el consumo de estas.

Sin embargo, la industria química-alimentaria ha reaccionado favorablemente a esta preocupación, desarrollando productos, en algunos casos después de muchos años de investigación y de grandes inversiones, que buscan proveer un menor aporte calórico proveniente del consumo de materias grasas, sin privar al consumidor de las ventajas sensoriales y organolépticas que estas aportan a los alimentos.

Debemos recordar que son las materias grasas las que aportan la palatabilidad, el color, la textura, lo crocante, y la apariencia, a muchos de nuestros alimentos habituales. Aceptemos que un alimento sin grasas, o al cual se le ha extraído la grasa, no tiene el mismo sabor y la apariencia que el mismo producto con su materia grasa. Tratamos de evitar las grasas, pero a todos nos gustan (10).

Las estrategias para disminuir el aporte calórico proveniente de la ingesta de materias grasas pueden ser abordadas desde varias perspectivas. Si se quiere evitar, o disminuir, el aporte de energía proveniente de los ácidos grasos, se debe evitar que estos sean absorbidos y/o metabolizados. Inhibir el metabolismo de un nutriente es complejo e implica una intervención farmacológica del individuo con riesgo potencial para su salud o para su estado nutricional. Inhibir la absorción de los ácidos

grasos parece más viable, ya que si un producto no es hidrolizado a nivel intestinal por las lipasas digestivas, aunque contenga ácidos grasos, no va a ser absorbido. De la misma manera, productos que son solo parcialmente absorbidos, van a proveer una menor cantidad de energía utilizable.

Este concepto es el que ha permitido el desarrollo de los sustitutos de grasas, esto es, productos que estructuralmente tienen similitud con las grasas en sus propiedades físicas, químicas, y organolépticas, pero que por razones también derivadas de su estructura no constituyen sustrato para las lipasas, o solo son parcialmente digeridos por estas enzimas.

Otro concepto diferente al de los sustitutos de grasas, es el de los productos que imitan a las grasas y que se utilizan para reemplazar a estas. Ellos simulan a las grasas sin poseer ninguno de sus componentes ni características nutricionales, aunque también aportan calorías, pero en menor magnitud.

Los sustitutos pueden utilizarse en reemplazo total de las grasas, en cambio los productos que imitan a las grasas, solo pueden reemplazar una fracción de estas sin alterar notoriamente el comportamiento y las características organolépticas del producto al que se han incorporado (11). La figura 4 resume las características que idealmente se pueden esperar para un producto sustituto o imitador de las grasas.

Los sustitutos de grasas, llamados así genéricamente, incluyendo a los imitadores de grasas, ya están

**FIGURA 4**

**Los sustitutos e imitadores de grasas idealmente deben:**

- **Tener analogía funcional con las grasas que reemplazan**
- **Estar libres de efectos tóxicos**
- **No ser metabolizables o producir metabolitos diferentes a los producidos por las grasas**
- **Ser completamente excretados por el organismo**



disponibles con el propósito de satisfacer una creciente demanda. Es posible que estos productos revolucionen el mercado a través del concepto de “comer sin engordar”. A continuación se analizarán los principales sustitutos e imitadores de grasas actuales y los futuros desarrollos.

### Características químicas de los sustitutos de grasas

La mayoría de los sustitutos de grasas han sido desarrollados introduciendo modificaciones estructurales en moléculas que guardan cierta relación con la estructura de los triacilglicéridos, pero que al no ser tales, no son hidrolizados por las lipasas digestivas, o si lo son, el rendimiento de la hidrólisis enzimática es muy bajo, ya que estos lípidos modificados son sustratos poco adecuados para las enzimas lipolíticas digestivas. En este sentido, se ha desarrollado toda una “ingeniería” para modificar la estructura de un triacilglicérido, o para desarrollar estructuras similares a estas moléculas en sus propiedades fisicoquímicas y organolépticas (2). Por ejemplo, algunas de las modificaciones que son posibles de introducir son las siguientes:

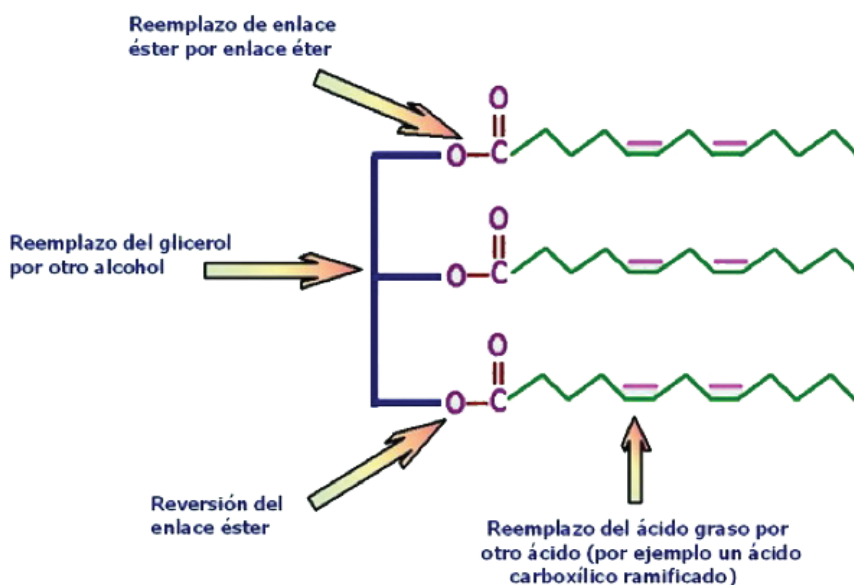
- El reemplazo del glicerol por un polialcohol alternativo (di o tri hidroxilado), cuyas uniones éster con el ácido graso no sean susceptibles de ser hidrolizadas

por las lipasas digestivas.

- El reemplazo de los ácidos grasos del triacilglicérido por otro tipo de ácidos carboxílicos, como por ejemplo, ácidos carboxílicos ramificados. Este tipo de estructuras ofrece un fuerte impedimento estérico a la hidrólisis por parte de las lipasas.
- Es posible “invertir” el enlace éster, esto es, la estructura del enlace éster del triacilglicérido puede ser formada por un triácido (no por un trialcohol, como el glicerol) que esterifica a tres alcoholes de cadena larga. Una estructura con estas características es realmente un triacilglicérido “al revés”, por lo cual presenta las mismas características físicas, químicas, y organolépticas que un triacilglicérido, pero no constituye sustrato para las lipasas digestivas.
- Una cuarta alternativa es cambiar la estructura del enlace éster (ácido + alcohol) por un enlace éter (aldehído o anhídrido + alcohol). De esta manera, se forma una estructura muy similar a un triacilglicérido y con propiedades químicas y físicas parecidas, pero que no es sustrato para las lipasas intestinales. La figura 5 resume las principales modificaciones que se pueden introducir en la estructura de un triacilglicérido, con el propósito de transformarlo en un sustituto de grasa.

FIGURA 5

### Modificaciones químicas aplicables a los triacilglicéridos



Se han desarrollado diferentes productos derivados de algunas de estas modificaciones, solo con fines experimentales, por parte de algunas compañías norteamericanas fabricantes de alimentos. Sin embargo, es probable que una vez que cumplan con las exigencias de los organismos reguladores (FDA, Unión Europea), los encontremos incorporados a diversos productos como helados, mayonesas, galletas, aderezos, entre otros. El más revolucionario de estos sustitutos es el TATCA desarrollado en 1987. Se trata de un trialcohoxicarbalilato, conocido también como “retrograsa”, porque se trata de un triácido sustituido por tres alcoholes de cadena larga. TATCA es un producto incoloro, transparente, y de aspecto muy similar a un aceite vegetal, siendo su comportamiento en procesos de fritura equivalente al de un aceite de mediana saturación.

A pesar de las potenciales ventajas del TATCA, el producto no ha alcanzado la condición de GRAS, por lo cual no está disponible comercialmente. Un producto similar al TATCA es el trialcohoxicitrato (TAC), preparado por primera vez en 1984. El TAC tiene las mismas características organolépticas y químicas que el TATCA, sin embargo presenta una termoestabilidad menor, por lo cual sus potenciales aplicaciones serían más limitadas, partiendo de la base que la principal ventaja del TATCA se refiere precisamente a su alta termoestabilidad. La

figura 6 muestra la estructura química del TATCA y del TAC.

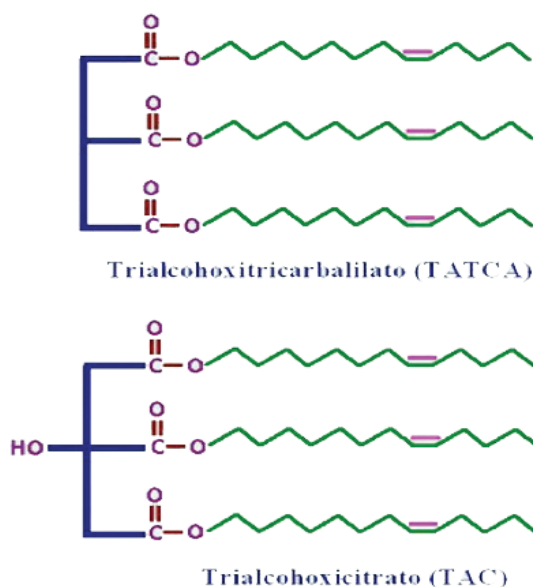
Otro desarrollo industrial, que sí se consolidó como un sustituto de grasa comercial es el Olestra (u Olean) desarrollado por Procter & Gamble, USA (12). El Olestra no es un triacilglicérido modificado. Se trata de una molécula de sacarosa (glucosa + fructosa) cuyos grupos hidroxilos están sustituidos con ácidos grasos de diferente longitud de cadena. Este poliéster de la sacarosa fue un descubrimiento casual, ya que lo que se trataba de desarrollar era una fuente de ácidos grasos de alta digestibilidad para la alimentación de niños prematuros, es decir es todo lo contrario de lo que proponía obtener, algo que suele ocurrir en algunos desarrollos tecnológicos. El Olestra presenta propiedades muy similares a las grasas convencionales y es estable al tratamiento térmico, por lo cual puede ser utilizado en procedimientos de fritura.

Un aspecto importante de considerar en la utilización de este sustituto, es que si Olestra sustituye el total de la grasa de un producto, lo que es técnicamente factible, en algunos individuos puede producir trastornos gastrointestinales, especialmente diarrea osmótica y sensación de incontinencia fecal, por lo cual puede ocasionar intolerancia en algunas personas.

Otro aspecto a considerar en el consumo de Olestra,

FIGURA 6

Estructura química de sustitutos de grasas



se refiere al efecto del sustituto en la absorción de vitaminas liposolubles, la que es disminuida en el tracto gastrointestinal ya que se solubilizan en el Olestra. De esta manera, el consumo habitual de Olestra debe ser compensado por una mayor ingesta de vitaminas liposolubles (A, D, E, y K).

Olestra recibió en 1996, tras largos años de gestiones, la aprobación del FDA para su utilización, principalmente en galletas, papas fritas, y similares, incluyendo la advertencia sobre posibles molestias derivadas de su consumo y con la obligación de suplementar el producto que lo contiene con vitaminas liposolubles.

La figura 7 muestra la estructura del Olestra. Con todas sus ventajas tecnológicas y potencialmente nutricionales, en el sentido de la disminución del aporte de grasa, el Olestra no ha tenido el éxito esperado, principalmente porque el FDA restringió su aplicación a un determinado número de productos. La intención inicial de su fabricante era su uso masivo en gran número de productos que originalmente tienen alta cantidad de materias grasas (13). La aprobación GRAS del Olestra por parte de la FDA ha sido una de las más controversiales en productos relacionados con la alimentación. Numerosas instituciones de bien público se opusieron a esta categorización, principalmente por las molestias gastrointestinales que derivan del consumo del producto.

No lograron gran cosa, ya que Olestra está comercialmente disponible en numerosos países (14).

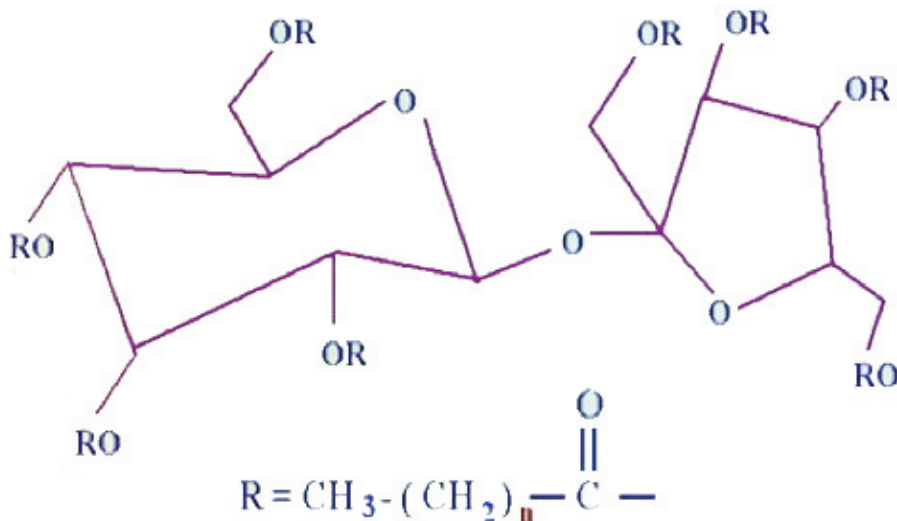
Un aspecto que cabe destacar, se relaciona con la versatilidad de la química, en términos de cómo nos puede “engañar” desde el punto de vista organoléptico la modificación de los sustituyentes químicos de una determinada molécula. Olestra es una molécula de sacarosa sustituida por ácidos grasos en sus grupos hidroxilos. Pues bien, si estos grupos se sustituyen con cloro (es necesario solo tres grupos hidroxilos), se obtiene la tricloro sacarosa o “sucralosa”, un edulcorante no calórico de amplia aplicación actual en la industria de alimentos ya que es 1000 veces más dulce que la sacarosa.

### Características de los productos que imitan a las grasas

Como ya se comentó, los productos que imitan a las grasas, a diferencia de los sustitutos de las grasas, no pueden reemplazar totalmente su contenido, y dependiendo de las características físicas y químicas del producto de imitación, será el porcentaje máximo de reemplazo. Los productos que imitan a las grasas tienen dos bases químicas principales: derivados de carbohidratos y derivados de proteínas. Debido a que por su composición estos productos son metabolizados, y por consiguiente aportan energía, (0,5-4,0 kcal/g, tanto para los derivados

FIGURA 7

### Estructura química del Olestra



de carbohidratos como de proteínas), lo que se logra es bajar el tenor energético en proporción directa a la grasa que reemplazan.

Una limitación importante de estos productos se refiere a su termoestabilidad. Tanto aquellos derivados de carbohidratos modificados, como de proteínas modificadas, son muy sensibles a la temperatura, por lo cual no pueden ser aplicados a productos que serán sometidos a alta temperatura (fritura, horneado, entre otros). Se les utiliza, principalmente, en la confección de mayonesas, aderezos, helados, postres, etc. El desarrollo de estos productos ha sido más exitoso que el de los sustitutos ya que existe en el mercado una variedad de ellos y con diferentes aplicaciones (6). A continuación se presenta una reseña de los imitadores de grasas de mayor importancia comercial.

### 1. Productos en base a carbohidratos modificados Maltrim M-040

Se trata de una maltodextrina obtenida por hidrólisis controlada del almidón y posterior secado por atomización. Estructuralmente es un oligosacárido formado por unidades de dextrosa unidas por enlaces lineales de tipo  $\alpha$  (1-4) y que por hidrólisis intestinal generan maltosa. Posee un sabor suave y una textura similar a una margarina, y se le utiliza para reemplazar parcialmente el componente graso de helados, pasteles, y postres fríos. Es totalmente soluble en agua caliente, formando un gel termo-reversible al enfriarse. Posee categoría GRAS y es totalmente digerible, aportando 4 kcal/g.

**N-OIL:** Es una dextrina obtenida de la tapioca y puede reemplazar parcialmente el componente graso de un producto. Es solo parcialmente digerible, aportando 1 kcal/g y puede reemplazar hasta tres partes de grasa en la composición total. Es estable a temperaturas relativamente altas (no de fritura) y también a la acidez. N-OIL es un producto de National Starch and Chemical Co., USA, y esta disponible en el mercado desde 1984. Posee la clasificación GRAS del FDA.

**Paselli SA-2:** Es preparado a partir de la modificación enzimática del almidón de papa (patata) por Aveve America Inc., USA. Puede reemplazar parcialmente a la grasa en una variedad de productos de pastelería y de panadería. Con la temperatura forma un gel termoestable que posee la suavidad y la textura de la grasa vegetal hidrogenada, siendo totalmente insípido. Aporta 3,8 kcal/g y desde 1997 posee la categoría GRAS.

**Inulina:** Es un polisacárido formado por una unidad de glucosa unida a múltiples unidades de fructosa (hasta 60) que forman una estructura denominada fructano. La inulina se obtiene de la raíz de la achicoria tiene actualmente muchos usos, como sustituto de azúcares, como

fibra y aportador de volumen, entre otros. También se la utiliza como un producto que imita a grasas en múltiples aplicaciones; yogurts, quesos, helados, cremas, productos congelados, etc. Por tratarse de un producto natural, no está sujeto a la aprobación GRAS.

### 2. Productos en base a proteínas modificadas

Son productos derivados de procedimientos de microencapsulación de proteínas y sus características organolépticas, especialmente la sensación de suavidad y su carácter cremoso, derivan del tamaño y forma de la partícula, de modo que el producto pueda ser percibido como una forma homogénea y no como un granulado. El tamaño ideal de las micropartículas debe ser de 0,1 a 2  $\mu$ m, ya que tamaños mayores producen en el paladar una sensación granulosa y no cremosa. Los principales productos comerciales derivados de la modificación de proteínas, son los siguientes.

**Simplese:** Es un producto introducido en 1988 por NutraSweet Co., USA, subsidiaria de Monsanto Inc. Se obtiene de la proteína láctea o de la clara de huevo, donde la proteína sometida a microencapsulación adquiere, por efecto del calor, una estructura esferoidal viscosa que es percibida en el paladar como una crema muy suave y que sabe como una grasa vegetal hidrogenada. Su metabolización aporta 1-2 kcal/g y se recomienda su aplicación en helados, yogurt, quesos cremosos, mayonesas y margarinas. Por tratarse de un producto de origen proteico, conserva todas las propiedades de estas moléculas, incluidos sus efectos alergénicos/antigénicos (15). Simplese cuenta con la aprobación GRAS del FDA desde 1990, y también es autorizada su aplicación en Japón y en los países de la Unión Europea. Como todos los productos de este tipo, Simplese es altamente sensible a la temperatura, ya que sobre los 50°C el gel de micropartículas comienza a perder viscosidad.

**Trailblazer:** Es un producto que fue desarrollado por Kraft-General Foods, USA., y está basado en una tecnología implementada por esta compañía para sustitutos de carne. Utiliza diferentes tipos de proteínas, de soja, de leche, o de huevo, a las que transforma en estructuras fibrosas muy finas que semejan un microparticulado, las que combinadas con diferentes proporciones de goma xantham, origina geles de diferente viscosidad y textura. Este producto tiene la categoría GRAS, la que inicialmente fue cuestionada debido al componente de goma xantham que no es digerible. Sin embargo, se demostró que en el tracto digestivo se produce una disociación entre la goma xantham y el componente proteico, sin afectar la digestibilidad y la absorción del componente proteico.

**LITA:** Fue desarrollado por Opta Foods, USA., y

su composición básica deriva de un microparticulado de la proteína zeína del maíz. LITA conceptualmente no es similar a Simplese y Trailblazer, ya que es obtenido en condiciones no denaturantes para la proteína. Básicamente, un extracto alcohólico de zeína se pone en contacto con una solución acuosa en forma muy controlada, con el propósito de obtener un gel coloidal de micropartículas esféricas, con un diámetro promedio de 0,3-3,0  $\mu\text{m}$ . El producto final se obtiene concentrando el gel por ultrafiltración y posteriormente por extracción del alcohol mediante diafiltración (un tipo de diálisis) con agua. El producto que se obtiene es muy estable y puede ser mantenido durante un largo tiempo en condiciones de almacenaje. LITA es el imitador de grasas más estable, ya que temperaturas de hasta 95°C, no afectan seriamente la estabilidad de una suspensión al 15% del producto. Con LITA, actualmente se preparan mayonesas, helados, aderezos, y snacks, reemplazando hasta el 75% de la grasa original del producto. LITA es GRAS desde 1991.

#### **PERSPECTIVAS EN EL USO DE SUSTITUTOS E IMITADORES DE GRASAS Y ACEITES EN LA ALIMENTACION HUMANA**

Sin lugar a dudas, los sustitutos o los productos de imitación de grasas y aceites, pueden constituir una pancea para aquellos que libran una eterna batalla contra los kilos demás, ya sea por razones estéticas o de salud. Sin embargo, es necesario ser cautelosos. Dentro de los llamados sustitutos, solamente Salatrim y Olestra, son productos plenamente comerciales de relativo éxito. Salatrim tiene una amplia potencialidad de aplicaciones, ya que se trata de una mezcla de triacilglicéridos, que mantiene todas las propiedades de estos. Sin embargo, al ser metabolizable, también tiene un efecto calórico, que aunque menor que el de una grasa convencional, es superior al de carbohidratos y proteínas. Por esta razón, no se puede esperar resultados espectaculares de reducción de la ingesta de grasa cuando se consume este producto.

Olestra es un sustituto que no deja de tener inconvenientes; es de costo relativamente alto, por lo cual los productos que lo contienen son más caros, produce cierto grado de intolerancia en algunos individuos, razón por la cual, la etiqueta de los productos que lo contienen debe advertir sobre este efecto. Debido a que disminuye la absorción de las vitaminas liposolubles, se debe incorporar una suplementación de estas vitaminas en el producto junto con el Olestra, lo que se traduce en un mayor costo final.

Un aspecto destacable del Olestra, y potencialmente de otros sustitutos de grasas ya en desarrollo, se refiere a

la termoestabilidad. El efecto de la temperatura sobre los aceites convencionales, especialmente de aquellos con alto grado de poliinsaturación, en el proceso de fritura, puede ser considerablemente disminuido si se utiliza Olestra, aunque eso sí sin barajar consideraciones de costo. Sin embargo, la inocuidad definitiva del Olestra en procesos de fritura, es un tema que aún requiere mayor profundización. Enova es producto comercial reciente, por lo cual habrá que esperar algún tiempo para conocer su aceptación y éxito comercial.

Los productos que imitan a las grasas y aceites, también tienen desventajas, la mayoría inherente a su composición química. Al tratarse de carbohidratos o de proteínas modificadas, son susceptibles de aumentar o de facilitar la contaminación microbiológica del producto, lo cual implica un riesgo sanitario y acorta su vida media útil. En este mismo sentido, al tratarse de productos hidrosolubles, admiten una mayor cantidad de agua en la composición final, lo que redundará en una mayor actividad de agua, lo que en algunas circunstancias puede ser beneficioso, pero en otras francamente pernicioso.

Otro aspecto discutible, se refiere a la sensación de plenitud que puedan producir estos imitadores. Las grasas de la dieta, además de impartir suavidad a los alimentos y de ser un vehículo muy adecuado para el color y sabor de este, aportan una sensación de plenitud que las hacen irremplazables en la alimentación. Muchos hemos conocido la experiencia de consumir productos sin grasa. Definitivamente saben diferente y producen una menor sensación de saciedad. El consumir productos que contienen imitadores de grasas, puede producir una menor sensación de saciedad, incitando al consumidor a comer más para satisfacer esta sensación. De esta manera, el menor aporte calórico derivado del consumo de imitadores, puede ser involuntariamente compensado por un mayor consumo de estos, alcanzándose al final un balance energético igual, o incluso superior, al del alimento que se pretende reemplazar.

El desarrollo industrial de este tipo de productos o similares constituye, sin lugar a dudas, un desafío tecnológico y nutricional, para el cual existe un mercado expectante y de gran demanda potencial. Sin embargo, las empresas involucradas en la investigación y desarrollo de estos productos, así como los organismos reguladores, deben ser especialmente cuidadosos en estudiar la eventual toxicidad o efectos adversos de los sustitutos o de los imitadores, ya que por su atractivo pueden llegar a constituir productos de muy alta demanda y consumo. No nos podemos equivocar al autorizar y/o promover el consumo de un producto que pueda causar trastornos de salud detectados tardíamente.

**RESUMEN**

La estructuración de los lípidos y los sustitutos de grasas son una de las innovaciones tecnológicas de la química de materias grasas que pueden tener mayor trascendencia en el futuro tanto nutricional como industrial. La estructuración de los lípidos se refiere al desarrollo de triacilglicéridos modificados mediante diferentes procedimientos, químicos o enzimáticos, y cuya estructura es diseñada para aportar, o no aportar, ácidos grasos específicos desde el punto de vista nutricional. Los sustitutos de grasas son productos derivados de triacilglicéridos o de otras materias primas como proteínas y carbohidratos cuyo aporte calórico es cero o muy bajo. Ambas son tecnologías innovadoras que aprovechan, y que utilizan, el conocimiento que tenemos actualmente sobre la bioquímica y la fisiología de los lípidos en el cuerpo humano, particularmente sobre la digestión y la absorción de los ácidos grasos. Si bien, algunas aún no son tecnologías absolutamente consolidadas, son los procesos referidos a materias grasas que muestran mejores perspectivas en el futuro desde el punto de vista tecnológico, nutricional, y posiblemente comercial. En este trabajo, se abordarán en forma independiente los aspectos más relevantes de ambos desarrollos tecnológicos.

Palabras claves: Lípidos estructurados, sustitutos de grasas, tecnología enzimática.

Dirigir la correspondencia a:

Profesor

Alfonso Valenzuela B.

Centro de Lípidos

INTA – Universidad de Chile

Casilla 138-11

El Líbano 5524 – Macul

Santiago, Chile

Teléfono: 978 1499

Fax: 221 4030

E-mail: avalenzu@inta.cl

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Sahidi F, Haman F. Improving life and health with structured lipids. *INFORM* 2006; 17: 178-180.
2. Lee K. Enzymatic production of atheroprotective lipids. *INFORM* 2005; 6: 718-719.
3. López-Hernández A, García H, Hill C. Lipase catalyzed transesterification of médium-chain triacylglycerols and fully hydrogenated soybean oil. *J Food Sci* 2005; 70: 365-372.
4. Ashie I. Bioprocess engineering of enzymes. *Food Technol*. 2003; 57: 44-51.
5. Kosmark R. Salatrim: Properties and applications. *Food Technol* 1996; 50: 98-101.
6. Lucca P, Tepe, B. Fat replacers and the functionality of fat in foods. *Trends Food Sci Technol* 1994; 27: 12-19.
7. St. Onge M P, Jones P H. Physiological effects of medium-chain triglycerides: Potential agents in the prevention of obesity. *J Nutr* 2002; 132: 329-332.
8. Megremis C J. Medium-chain triacylglycerols: A non conventional fat. *Food Technol* 1991;45:108-114.
9. Valenzuela A, Sanhueza J, Nieto S. Sustitutos de grasas, ¿Lípidos del futuro? *Aceites & Grasas*. 1999, IX; 435-442.
10. Mu H, Hoy C E. The digestion of dietary triacylglycerols. *Prog Lipid Res* 2004; 43: 105-133.
11. Singhal R, Gupta A, Kulkani P. Low caloric fat substitutes. *Trends Food Sci Technol* 1991; 24: 241-244.
12. Clydesdale F M. Olestra: the approval process in letter and spirit. *Food Technol* 1997; 51: 104-105.
13. Giese J. Olestra: Properties, regulatory concerns, and applications. *Food Technol* 1996;50:130-131.
14. Akoh C. Fat replacers. *Food Technol* 1998; 52: 47-53.
15. Gershoff S N. Nutritional evaluation of dietary fat substitutes. *Nutr Rev* 1995; 53: 305-313.