

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



TITULACIÓN POR EXAMEN PROFESIONAL

Trabajo Monográfico:

**“POTENCIAL DEL USO DE ACEITES VEGETALES
MICROENCAPSULADOS POR ATOMIZACIÓN PARA
FÓRMULAS NUTRICIONALES EN POLVO”**

Presentado por:

ANTHONY DOMINGO DÍAZ SÁNCHEZ

Lima – Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“POTENCIAL DEL USO DE ACEITES VEGETALES MICROENCAPSULADOS
POR ATOMIZACIÓN PARA FÓRMULAS NUTRICIONALES EN POLVO”**

Presentado por:

ANTHONY DOMINGO DÍAZ SÁNCHEZ

TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Walter F. Salas Valerio

PRESIDENTE

Mg.Sc. Fanny Ludeña Urquiza

MIEMBRO

Dra. Ana Aguilar Galvez

MIEMBRO

Mg.Sc. Gloria J. Pascual Changman

TUTORA

Lima - Perú

2017

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I	INTRODUCCIÓN.....	1
II	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	LÍPIDOS.....	3
2.1.1	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEITES Y GRASAS.....	3
2.1.2	CLASIFICACIÓN DE LOS LÍPIDOS	6
2.1.3	LOS TRIGLICÉRIDOS	7
2.1.4	CLASIFICACIÓN DE LOS TRIGLICÉRIDOS	8
2.1.5	ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES	11
2.2	DESHIDRATACIÓN POR ASPERSIÓN	13
2.2.1	PRINCIPIOS BÁSICOS	13
2.2.2	CLASIFICACIÓN DE ATOMIZADORES.....	14
2.2.3	INTERACCIÓN DEL FLUIDO CON EL AIRE DE SECADO	16
2.2.4	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN	17
III	DESARROLLO DEL TEMA.....	19
3.1	EL CONSUMIDOR INFORMADO	19
3.2	GRASAS Y ACEITES EN LA ALIMENTACIÓN Y DIETA.....	20
3.3	FUENTES IMPORANTES DE ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES	22
3.4	BIOTECNOLOGÍA APLICADA A OLEAGINOSAS	23
3.5	POTENCIALES FUENTES DE OMEGA-3	26
3.6	MICROENCAPSULACION DE ACEITES Y SECADO POR ATOMIZACIÓN..	28
3.6.1	PRE TRATAMIENTO DEL ACEITE - MICROENCAPSULACIÓN	29
3.6.2	SELECCIÓN DEL EQUIPO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN Y HUMEDAD FINAL	30
3.6.3	CARACTERISTICAS BUSCADAS EN UN ACEITE EN POLVO	33
3.6.4	OTRAS FUENTES POCO EXPLORADAS - LOS MCT.....	34
3.6.5	CONSERVACIÓN Y EMPACADO DE ACEITES EN POLVO.....	37
IV	CONCLUSIONES.....	39

V	RECOMENDACIONES	40
VI	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
VII	ANEXOS	43

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1:	Ácidos grasos saturados	6
Cuadro 2:	Ácidos grasos insaturados con un doble enlace.....	5
Cuadro 3:	Ácidos grasos insaturados con dos dobles enlaces	6
Cuadro 4:	Ácidos grasos insaturados con tres dobles enlaces.....	6
Cuadro 5:	Ácidos grasos saturados y origen típico alimentario	9
Cuadro 6:	Algunos ácidos grasos insaturados de grasas y aceites alimentarios	10
Cuadro 7:	Ventajas y desventajas de los atomizadores centrífugos y las boquillas a presión utilizados en la deshidratación por aspersión.....	18
Cuadro 8:	Ácidos grasos más importantes en diferentes fuentes de aceites y grasas	23
Cuadro 9:	Contenidos de aceite, ácidos grasos y proteínas de la linaza.....	27
Cuadro 10:	Propiedades de algunos materiales usados para envasado de productos deshidratados.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Fórmula general de un ácido graso.	4
Figura 2:	Cadena de átomos de carbono de un ácido graso con saturaciones e insaturaciones.	4
Figura 3:	Ejemplo de un triglicérido simple y compuesto.	8
Figura 4:	Metabolismo de los ácidos grasos esenciales.....	12
Figura 5:	Sistema de atomización.....	14
Figura 6:	Atomizador de boquilla a presión (aspersión axial) y centrífugo (aspersión radial).....	15
Figura 7:	Clasificación de secadores según el movimiento de atomización.....	16
Figura 8:	Composición media en ácidos grasos de las principales grasas animales y vegetales (porcentaje del total de ácidos grasos)	25
Figura 9:	Contenido de ácidos grasos omega-3 en algunos alimentos	26
Figura 10:	Comparación de los contenidos de los principales ácidos grasos en los aceites vegetales tradicionales y los aceites modificados (en porcentaje del total).....	28
Figura 11:	Atomizadores utilizados en productos lácteos.	32
Figura 12:	Ácidos grasos de cadena corta y media pasan directo al hígado.	36

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1:	EFFECTO BIOLÓGICOS DEL ÁCIDO A-LINOLÉNICO DESCRITOS EN LA LITERATURA	43
ANEXO 2:	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE DE SACHA INCHI	44
ANEXO 3:	ANTIOXIDANTES UTILIZADOS EN ALIMENTACIÓN (CONSULTAR LA LEGISLACIÓN DEL PAÍS ANTES DE UTILIZAR UN ANTIOXIDANTE)	45

RESUMEN

En esta revisión se tendrá en cuenta las bases teóricas de los lípidos y los diferentes ácidos grasos, sus clasificaciones, los ácidos grasos que componen distintas fuentes alimenticias, especialmente vegetales, y los procesos de encapsulamiento de aceites que puedan ser atomizados para obtener productos deshidratados a base de aceites vegetales ricos en aceites esenciales que tengan una aplicación en potencial en la industria de bebidas nutricionales en polvo. Las fuentes vegetales identificadas son el aceite de linaza y aceite de sachá inchi, así como otras potenciales como el aceite de coco (MCT). Finalmente, se dieron consideraciones para el acondicionamiento de las materias primas, para el proceso de atomización, para la selección de un encapsulante, concentraciones de aceites esperadas en el producto final, características de los polvos obtenidos después del proceso de atomizado y barreras para evitar la degradación en el tiempo de los aceites microencapsulados por secado por aspersión.

Palabras clave: Ácidos Grasos, Aceites Vegetales, Sachá Inchi, Atomización, Microencapsulamiento.

ABSTRACT

In this review the theoretical bases of the lipids and the different fatty acids, their classifications, the fatty acids that make up different food sources, especially vegetables, and the encapsulation processes of oils that can be atomized to obtain dehydrated products will be taken into account, all vegetable oils rich in essential oils that have an a potential application in the powder-drinks nutritional industry. The plant sources identified are linseed oil and sacha inchi oil, as well as other potentials such as coconut oil (MCT). Finally, considerations for the conditioning of the raw materials, the atomization process, the selection of an encapsulant, concentrations of oils expected in the final product, characteristics of the powders obtained after the atomization process and barriers to avoid degradation in the time of the microencapsulated oils by spray drying would be mentioned.

Key Words: Fatty Acids, Vegetable Oils, Sacha Inchi, Atomization, Microencapsulation.

I. INTRODUCCIÓN

La tendencia a consumir productos más saludables y con fines nutricionales, sumado a un ritmo de vida acelerado, donde se busca opciones de rápida preparación, han despertado en los consumidores la búsqueda de alternativas para: mejorar el crecimiento en niños, tener alternativas en fórmulas para lactantes que no tienen acceso a leche materna, aumentar el rendimiento y energía en adultos, control de peso, condiciones especiales de salud (diabetes) y recuperación muscular en adultos mayores principalmente.

Las bebidas nutricionales, en polvo o líquidas RTD (*Ready To Drink*), se han posicionado en el mercado al otorgar fórmulas nutricionalmente balanceadas según el requerimiento y público objetivo. Las fuentes de grasa/aceite, que han sido evitadas por los consumidores (mala fama por trabajos de marketing previamente realizados), son en realidad indispensables para el buen funcionamiento del organismo, en especial por aceites (entiéndase de fuentes vegetales) que son ricos en aceites esenciales.

La industria ha desarrollado aceites microencapsulados secados por atomización, lo que simplifica la formulación de producto balanceando diferentes fuentes como canola (colza modificada genéticamente), girasol alto oleico, maíz, soya, etc., e incrementa la vida de anaquel respecto al estado líquido. Existen fuentes como el aceite de coco y palma que por su naturaleza son ricos en triglicéridos de cadena media que, a pesar de ser grasas saturadas, tienen un efecto positivo para la salud en cierta etapa de vida por su rápida asimilación que no contribuye al aumento de peso, más bien al control del mismo, facilita el transporte de vitaminas liposolubles, y es fuente de energía inmediata. Éstos, al igual que otras fuentes no convencionales han sido poco aprovechados.

El objetivo de esta monografía fue identificar fuentes no convencionales de aceites con características nutricionales benéficas para el ser humano que puedan ser microencapsulados por atomización para su uso potencial en fórmulas nutricionales en polvo.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 LÍPIDOS

Moreno (2000) explica que los lípidos son un grupo heterogéneo de sustancias que tienen en común su relativa insolubilidad en agua (hidrofobia), su apreciable solubilidad en disolventes apolares (cloroformo, éter, éter de petróleo, alcohol, sulfuro de carbono, etc.) y el hecho de ser propios de los seres vivos o derivados de estos.

Por lo general, las grasas son sólidas a temperatura ambiente, en tanto que los aceites suelen ser líquidos. Las grasas y los aceites están compuestos de varios tipos de triglicéridos (triacilgliceroles), los cuales constan de tres ácidos grasos ligados al glicerol. El número de carbonos del ácido graso que contienen los triglicéridos varía de 8 a 22 (Brown 2014).

La mayoría de las grasas que ingerimos (95 por ciento) están en forma de triglicéridos, que es como el cuerpo lo almacena (Thompson *et al.* 2008).

2.1.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEITES Y GRASAS

Bernardini (1981) menciona que todas las sustancias grasas, sean de origen vegetal o animal, están constituidas en un elevado porcentaje por ácidos grasos combinados con glicerina (glicéridos).

La fórmula general de un ácido graso se muestra en la figura 1.

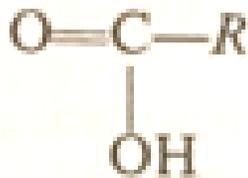


Figura 1: Fórmula general de un ácido graso.

FUENTE: Tomado de Bernardini 1981

Asimismo, se ve que el grupo carboxilo está ligado a un radical constituido por una cadena abierta de átomos de carbono, que puede estar saturada o insaturada de hidrógeno, según el siguiente esquema (figura 2):

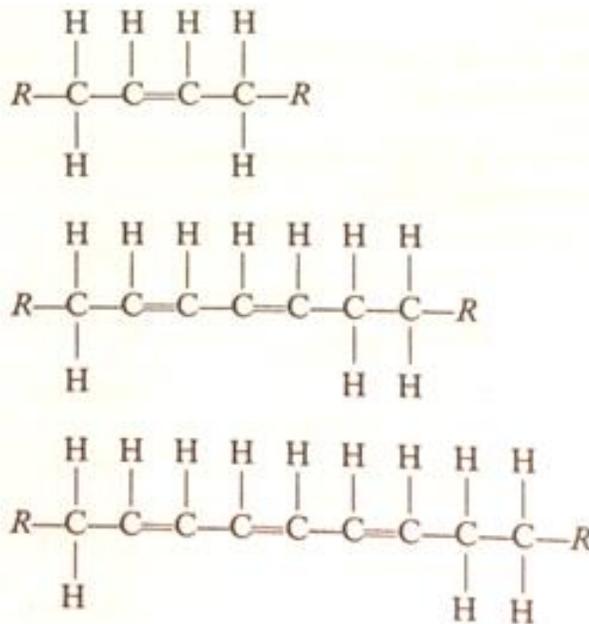


Figura 2: Cadena de átomos de carbono de un ácido graso con saturaciones e insaturaciones.

FUENTE: Tomado de Bernardini 1981

El cuadro 1 enumera los principales ácidos grasos saturados presentes en aceites y grasas:

Cuadro 1: Ácidos grasos saturados

NOMBRE COMÚN	NOMBRE SISTEMÁTICO	FÓRMULA EMPÍRICA
Butírico	n-butanoico	$C_4 H_8 O_2$
Isovaleriánico	iso-pentanoico	$C_5 H_{10} O_2$
Caproico	n-hexanoico	$C_6 H_{12} O_2$
Caprílico	n-octanoico	$C_8 H_{16} O_2$
Cáprico	n-decanoico	$C_{10} H_{20} O_2$
Láurico	n-dodecanoico	$C_{12} H_{24} O_2$
Mirístico	n-tetradecanoico	$C_{14} H_{28} O_2$
Palmítico	n-hexadecanoico	$C_{16} H_{32} O_2$
Estearico	n-octadecanoico	$C_{18} H_{36} O_2$
Aráquico	n-eicosanoico	$C_{20} H_{40} O_2$

FUENTE: Tomado de Bernardini 1981

Los cuadros 2, 3 y 4 muestran ácidos grasos con diferentes cantidades de dobles enlaces:

Cuadro 2: Ácidos grasos insaturados con un doble enlace

NOMBRE COMÚN	NOMBRE SISTEMÁTICO	FÓRMULA EMPÍRICA
Caproleico	9-decenoico	$C_{10} H_{18} O_2$
Lauroleico	9-dodecenoico	$C_{12} H_{22} O_2$
Misitoleico	9-tetradecenoico	$C_{14} H_{26} O_2$
Palmitoleico	9-hexadecenoico	$C_{16} H_{30} O_2$
Oleico	9-octadecenoico	$C_{18} H_{34} O_2$
Elaídico	Trans 9-octadecenoico	$C_{18} H_{34} O_2$
Cetoleico	11-docosenoico	$C_{22} H_{42} O_2$
Erúcido	13-docosenoico	$C_{22} H_{42} O_2$

FUENTE: Tomado de Bernardini 1981

Cuadro 3: Ácidos grasos insaturados con dos dobles enlaces

NOMBRE COMÚN	NOMBRE SISTEMÁTICO	FÓRMULA EMPÍRICA
Sórbico	3,4-hexadienoico	$C_6 H_8 O_2$
Linoleico	9,12-octadecadienoico	$C_{18} H_{32} O_2$

FUENTE: Tomado de Bernardini 1981

Cuadro 4: Ácidos grasos insaturados con tres dobles enlaces

NOMBRE COMÚN	NOMBRE SISTEMÁTICO	FÓRMULA EMPÍRICA
Hexagónico	9-hexadecatrienoico	$C_{16} H_{26} O_2$
Linolénico	9,12,15-octadecatrienoico	$C_{18} H_{30} O_2$
Eleosteárico	9,12,13-octadecatrienoico	$C_{18} H_{30} O_2$

FUENTE: Tomado de Bernardini 1981

2.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS LÍPIDOS

Según Moreno (2000), los lípidos se podrían clasificar por su localización: lípidos de depósito como tejido subcutáneo, perirrenal, etc., su función es nutritiva y protectora; y lípidos celulares o estructurales que no son extraíbles directamente, se encuentran combinados, en general, con las proteínas (lipoproteínas), y forman parte de las estructuras celulares. De igual forma, Thompson *et al.* (2008) indican que en el cuerpo los lípidos se almacenan en el tejido adiposo que aísla y protege los órganos, están combinados con fósforo en las membranas celulares y se encuentran como esteroides en las sales biliares, las hormonas sexuales y otras sustancias.

La estructura de las grasas de la dieta, según Martínez y García (2005) y Thompson *et al.* (2008), tanto en la dieta humana como en la composición química del organismo de los mamíferos, se pueden considerar tres tipos de grasas:

- a. **Glicéridos:** principalmente triglicéridos (triacilgliceroles), que constituyen la forma química de almacenamiento de las grasas, con fines energéticos y con mucho, la forma más abundante de grasa en los alimentos y en los tejidos.
- b. **Fosfolípidos**
- c. **Esteroles:** el principal es el colesterol.

Martínez y García (2005) mencionan que la grasa humana es más insaturada que la mayoría de las grasas animales y que aparte del objetivo energético primordial de los triglicéridos, éstas moléculas tienen otras funciones importantes, tales como actuar como precursores (cuando ello es necesario) de otros lípidos (colesterol, fosfolípidos, etc.) o servir de estructura de almohadillado (la propia de la masa grasa) del esqueleto y órganos vitales y proteger frente a agresiones externas. En ese sentido es curioso observar que órganos tales como el corazón, riñones, epidídimo y glándula mamaria están envueltos en una capa protectora de tejido adiposo.

Por último, es bien sabido que la grasa del tejido subcutáneo ejerce una importante función termorreguladora al actuar como aislante térmico eficaz, en situaciones de clima frío o cálido.

2.1.3 LOS TRIGLICÉRIDOS

Bernardini (1981) expresa que cuando se agregan tres moléculas de ácido graso tendremos un triglicérido.

Lawson (1994) y Ziller (1994) indican que cuando todos los ácidos grasos en un triglicérido son idénticos, se le denomina “simple”. Sin embargo, los triglicéridos más comunes son los “compuestos” (o “mixtos”), en los que dos o tres residuos diferentes de ácidos grasos están presentes en la molécula.

A continuación, en la figura 3 se muestran representaciones de un triglicérido simple y uno compuesto.

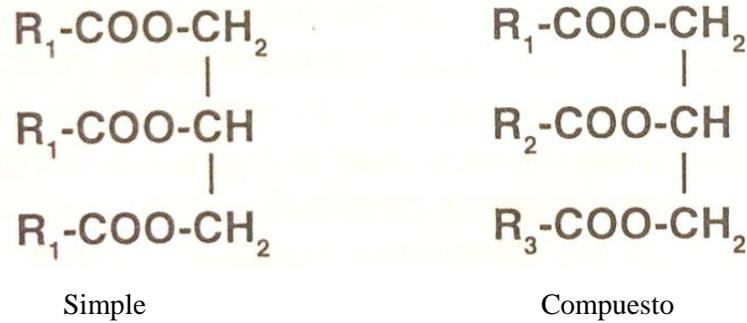


Figura 3: Ejemplo de un triglicérido simple y compuesto.

FUENTE: Tomado de Ziller 1994

Los triglicéridos representan normalmente más del 95 por ciento del peso de la mayoría de las grasas y aceites alimentarios. Entre los constituyentes minoritarios se encuentran monoglicéridos y diglicéridos, ácidos grasos libres, fosfátidos, esteroides, alcoholes grasos, vitaminas liposolubles y otras sustancias (Ziller 1994).

2.1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS TRIGLICÉRIDOS

En general, mencionan Thompson *et al.* (2008), que los triglicéridos se clasifican según la longitud de su cadena (el número de carbonos que contiene cada ácido graso), su nivel de saturación (cuánto hidrógeno se une a cada átomo de carbono en una cadena de ácidos grasos), y su forma, que viene determinada en algunos casos por el modo en que han sido transformados para su comercialización.

Según la longitud de la cadena, las grasas de cadena corta son ácidos grasos de menos de seis carbonos y no se encuentran en los alimentos. Las grasas de cadena media tampoco suelen encontrarse en los alimentos y tienen de 6 a 12 átomos de carbono, pero las de cadena larga por lo general sí son abundantes en los alimentos conteniendo 14 carbonos a más (Brown 2014, Thompson *et al.* 2008).

Según el nivel de saturación pueden ser saturados (SFA), mono insaturados (MUFA) o poli insaturados (PUFA). Webb (1995), explica que se denominan saturados porque todos los enlaces o valencias disponibles de los átomos de carbono están ocupados o “saturados” con

átomos de hidrógeno. El ácido palmítico tiene 16 carbonos sin dobles enlaces por lo que se le abrevia: C16:0. Algunos ejemplos mencionados por Thompson *et al.* (2008) son el aceite de coco, el aceite de palma, la mantequilla, la nata, el queso, la leche entera y las grasas procedentes de ternera.

En el cuadro 5 pueden apreciarse los puntos de fusión de ácidos grasos saturados y ejemplos de su origen típico.

Cuadro 5: Ácidos grasos saturados y origen típico alimentario

NOMBRE SISTEMÁTICO	NOMBRE COMÚN	Nº DE ÁTOMOS DE CARBONO	PUNTO DE FUSIÓN (°C)	ORIGEN TÍPICO
Etanoico	Acético	2	-	
Butanoico	Butírico	4	-7.9	Mantequilla
Hexanoico	Caproico	6	-3.4	Mantequilla
Octanoico	Caprílico	8	16.7	Aceite de coco
Decanoico	Cáprico	10	31.6	Aceite de coco
Dodecanoico	Láurico	12	44.2	Aceite de coco
Tetradecanoico	Mirístico	14	54.4	Mantequilla, aceite de coco
Hexadecanoico	Palmítico	16	62.9	La mayoría de grasas y aceites
Octadecanoico	Estearico	18	69.6	La mayoría de grasas y aceites
Eicosanoico	Araquídico	20	75.4	Aceite de cacahuete
Docosanoico	Behénico	22	80.0	Aceite de cacahuete

FUENTE: Tomado de Ziller 1994

Webb (1995) expone que los ácidos grasos mono insaturados, son los que solo tienen un punto de insaturación: dos de los átomos de carbono de la cadena están unidos entre sí por un doble enlace, por lo que hay dos enlaces menos disponibles para unirse con el hidrógeno de los que habría en un ácido graso saturado de la misma longitud. El doble enlace del ácido oleico está entre los carbonos 9 y 10 de la cadena y su fórmula abreviada es C18:1 ω9, es decir, 18 carbonos,

1 doble enlace, ω -9, el doble enlace está entre los carbonos 9 y 10. Algunos ejemplos mencionados por Thompson *et al.* (2008) son el aceite de oliva, el aceite de colza, el aceite de cacahuete y los anacardos.

Los ácidos grasos poli insaturados son los que tienen dos o más dobles enlaces en la cadena de carbonos (Webb 1995). El ácido linoleico tiene 18 carbonos, dos dobles enlaces, el primero de los cuales está entre los carbonos 6 y 7 por lo que su fórmula abreviada es C18:2 ω 6. Thompson *et al.* (2008), da ejemplos como el aceite de semilla de algodón, de colza, de maíz, de girasol y de cártamo.

En el cuadro 6 se encuentran ejemplos de fuentes de grasas típicos que tienen ácidos grasos insaturados (todos los dobles enlaces están en la configuración *cis* excepto en los ácidos elaídico y vaccénico que son *trans*).

Cuadro 6: Algunos ácidos grasos insaturados de grasas y aceites alimentarios

NOMBRE COMÚN	N° DE DOBLES ENLACES	N° DE ÁTOMOS DE CARBONO	ORIGEN TÍPICO
Caproleico	1	10	Mantequilla
Lauroleico	1	12	Mantequilla
Miristoleico	1	14	Mantequilla
Palmitoleico	1	16	Algunos aceites de pescado, grasa de vacuno.
Oleico	1	18	La mayoría de las grasas y aceites.
Elaídico	1	18	Mantequilla
Vaccénico	1	18	Mantequilla
Linoleico	2	18	La mayoría de las grasas y aceites.
Linolénico	3	18	Aceites de soja y canola.
Gadoleico	1	20	Manteca de cerdo
Araquidónico	4	20	Algunos aceites de pescado.
Erúcico	1	22	Aceite de canola.

FUENTE: Adaptado de Ziller 1994

Según la forma de las grasas pueden tener Isómeros *cis* o *trans*. Siempre que un ácido graso tiene un doble enlace puede tener diferente isómeros de posición. Los átomos de hidrógeno pueden estar en el mismo lado de la cadena, forma *cis*, o en lados opuestos, forma *trans*. La mayoría de las grasas naturales contienen casi exclusivamente isómeros *cis*, aunque se encuentran en pequeñas cantidades de ácidos grasos *trans* en la mantequilla y en otras grasas de animales rumiantes (Webb 1995).

2.1.5 ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES

Los ácidos grasos esenciales (EFA o *Essential Fatty Acids*) son el fundamento de importantes compuestos biológicos conocidos como eicosanoides y, por tanto, son esenciales para el crecimiento y la salud. Los eicosanoides toman su nombre de la palabra griega *eicosa*, que significa “veinte”, debido a que se sintetizan a partir de ácidos grasos con 20 átomos de carbono (Thompson *et al.* 2008).

Moreno (2000) y Thompson *et al.* (2008), indican que el ácido araquidónico es precursor de sustancias tales como prostaglandinas, leucotrienos y tromboxanos.

Los ácidos linoleico y linolénico se consideran ácidos grasos esenciales, porque (1) no pueden ser sintetizados por el cuerpo y, por lo tanto, deben ser proporcionados por la dieta y, (2) son necesarios para importantes funciones corporales como el crecimiento y el buen estado de la piel y pelo (Lawson 1994).

Lawson (1994) menciona que algunas veces se han considerado los ácidos araquidónicos (C20 cuatro dobles enlaces), eicosapentaenoico (C20 cinco dobles enlaces) y docosahexaenoico (C22 seis dobles enlaces). Son componentes esenciales de las membranas como las de la retina y el sistema nervioso central y son precursores de compuestos similares a hormonas, mediadores del sistema defensivo, como las prostaglandinas. Ya que el organismo puede sintetizar estos ácidos (el ácido linoleico es la fuente del araquidónico y los otros dos provienen del linolénico) ninguno debería ser considerado esencial.

El ácido linoleico, también conocido como ácido graso omega-6, se puede encontrar en las verduras, en las nueces y en aceites como el vegetal, o de cárcamo, maíz, soja y cacahuete. Si se comen muchas verduras, o se toma margarina de aceite vegetal, se están cubriendo necesidades dietéticas de estos ácidos grasos esenciales (Thompson *et al.* 2008).

El ácido alfa linolénico, también conocido como ácido graso omega-3, no fue reconocido como ácido graso esencial hasta mediados de los años 80. Se encuentra en vegetales de hoja, semilla de linaza y aceite de semilla de linaza, soja y aceite de soja, nueces y aceite de nueces, y en el aceite de colza. Son abundantes los estudios que avalan los beneficios para la salud de los ácidos grasos omega-3 de muchos pescados. Los dos tipos de ácidos grasos omega-3 que se encuentran en pescados, mariscos y aceites procedentes de pescados es el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA). Los pescados más grasos, como el salmón o el atún, son más ricos en EPA y DHA que los pescados con menos grasa, como el bacalao o la platija. (Thompson *et al.* 2008). Las rutas metabólicas de los ácidos grasos esenciales se pueden observar en la figura 4.

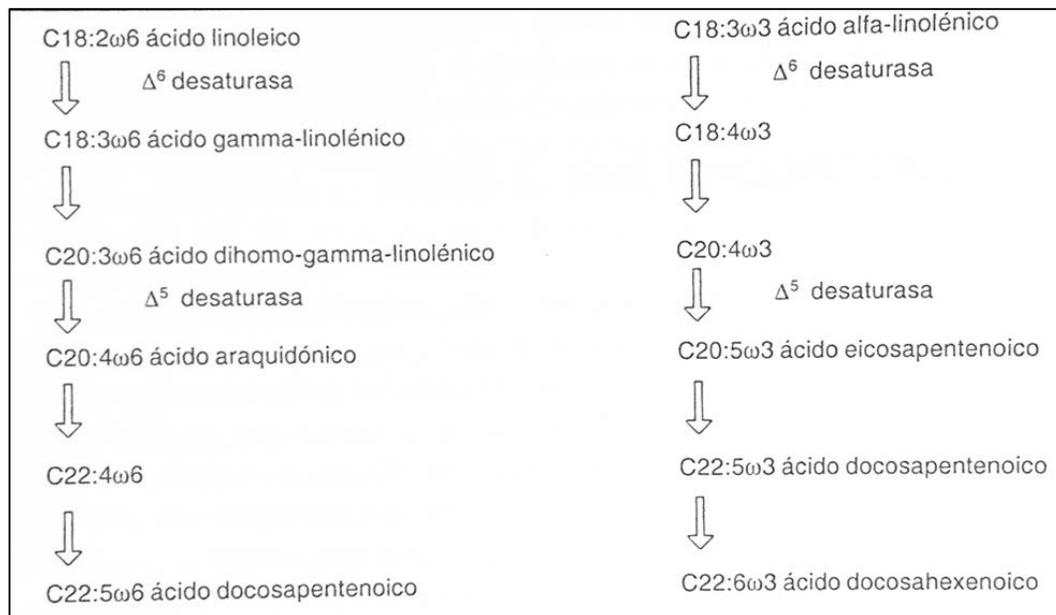


Figura 4: Metabolismo de los ácidos grasos esenciales.

FUENTE: Tomado de Mazza 1998

2.2 DESHIDRATACIÓN POR ASPERSIÓN

2.2.1 PRINCIPIOS BÁSICOS

La deshidratación por aspersión es el proceso donde una pequeña gota de líquido se deshidrata rápidamente al ponerse en contacto directo con una corriente de aire caliente, que suministra el calor necesario para evaporar el agua. Los equipos para deshidratación por aspersión consisten en grandes cámaras cilíndricas, por lo general verticales, donde simultáneamente se asperja el producto que va a ser deshidratado (que debe ser un fluido) y se introduce un volumen de aire caliente suficiente para efectuar la transferencia de calor y de masa. El pequeño tamaño de las gotas del líquido permite una deshidratación muy rápida, por lo que el tiempo de estancia del material dentro del deshidratador es del orden de segundos (Colina 2010).

El secado por atomización incluye tanto la formación de partículas como el secado, siendo un proceso especial de secado. El alimento que se encuentra en estado líquido es transformado en gotas y luego en partículas secas mediante atomización continua en un medio caliente de secado. El secado por atomización es una operación de proceso de partículas suspendidas (Masters, citado por Barbosa-Cánovas y Vega 2000).

El producto deshidratado, en forma de polvo, se separa del aire mediante separadores tipo ciclón y/o filtros que evitan que los polvos finos sean arrastrados con la corriente de aire. Después de recolectar el producto deshidratado por lo común se procede a su enfriamiento, mediante una columna de aire frío, para evitar que sufra daño térmico (Colina 2010).

La etapa de atomización produce un rocío para una condición óptima de evaporación y por consiguiente un producto dentro de características técnicas. La atomización resulta de la rotura del seno del líquido en pequeñas gotas y las diferentes técnicas de atomización disponibles varían de acuerdo al tipo de energía utilizado para producir las gotas (Barbosa-Cánovas y Vega 2000).

La figura 5 ilustra de modo simple un sistema de atomización en circuito cerrado (Barbosa-Cánovas y Vega 2000):

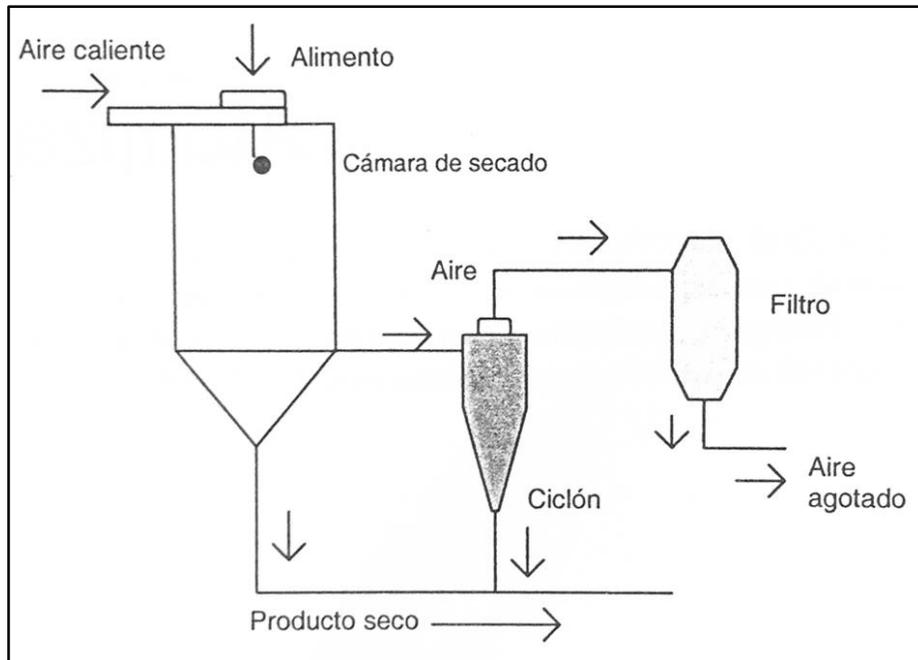


Figura 5: Sistema de atomización.

FUENTE: Tomado de Barbosa-Cánovas y Vega 2000

En la deshidratación por aspersión, Colina (2010) menciona tres etapas que son fundamentales:

- a. La atomización del líquido.
- b. La deshidratación de las gotas de líquido formadas.
- c. La recuperación del producto deshidratado.

2.2.2 CLASIFICACIÓN DE ATOMIZADORES

Por su parte, Barbosa-Cánovas y Vega (2000) describen tres tipos de atomizadores:

a. Inyectores de presión

Se utilizan para obtener polvos con tamaño grueso de partícula (120 a 300 μm). Variando la presión es posible controlar el flujo de alimentación y las características de la atomización, donde esta última es inversamente proporcional a la presión. El tamaño medio de las gotas formadas es proporcional al flujo del alimento y a su viscosidad. La transferencia de energía es muy poco eficiente en la atomización por inyección.

b. Atomizadores rotatorios

Difieren de los inyectores de presión en que el líquido consigue su velocidad sin alta presión. Asimismo, la velocidad de alimentación puede ser controlada con discos, mientras que, en el caso de inyectores, tanto la caída de presión como el diámetro del orificio cambian simultáneamente.

c. Atomizadores neumáticos - dos fluidos

La atomización del líquido utilizando una alta velocidad del gas es conocida como atomización neumática. El mecanismo involucra una alta velocidad del gas que permite crear fuerzas de fricción elevadas, lo que causa la rotura del líquido en gotas. La formación de gotas tiene lugar en dos etapas: primero el líquido se rompe en filamentos y largas gotas; después los filamentos del líquido y las gotas grandes se rompen dando gotas pequeñas. Este proceso de formación de gotas se ve afectado por las propiedades del líquido (tensión superficial, densidad, y viscosidad), así como por las del flujo de gas (velocidad y densidad).

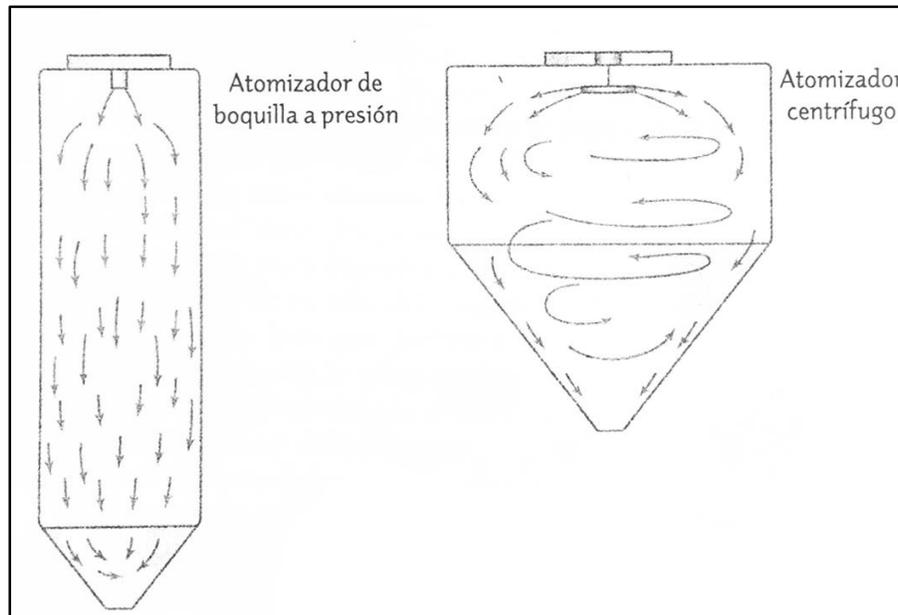


Figura 6: Atomizador de boquilla a presión (aspersión axial) y centrífugo (aspersión radial).

FUENTE: Tomado de Colina 2010

Según Colina (2010), la selección del tipo de atomizador normalmente se centra entre los atomizadores centrífugos (rotatorios) o las boquillas de presión (inyección). Se puede ver una ilustración simple en la figura 6.

2.2.3 INTERACCIÓN DEL FLUIDO CON EL AIRE DE SECADO

Para la deshidratación de alimentos, debido a la sensibilidad al calor, normalmente se emplea flujo de aire paralelo al producto, de tal manera que el aire caliente de entrada se mezcla con las gotas recién formadas por el atomizador. El producto y el aire se mueven en la misma dirección, mientras ocurre la deshidratación, por lo que el producto deshidratado está en contacto con un aire cuya temperatura se ha reducido de manera importante (Colina 2010).

Barbosa-Cánovas y Vega (2000), mencionan que el movimiento de la atomización se puede clasificar de acuerdo al diseño del secadero como equicorriente, contracorriente o flujo mezclado, tal como se muestra en la figura 7.

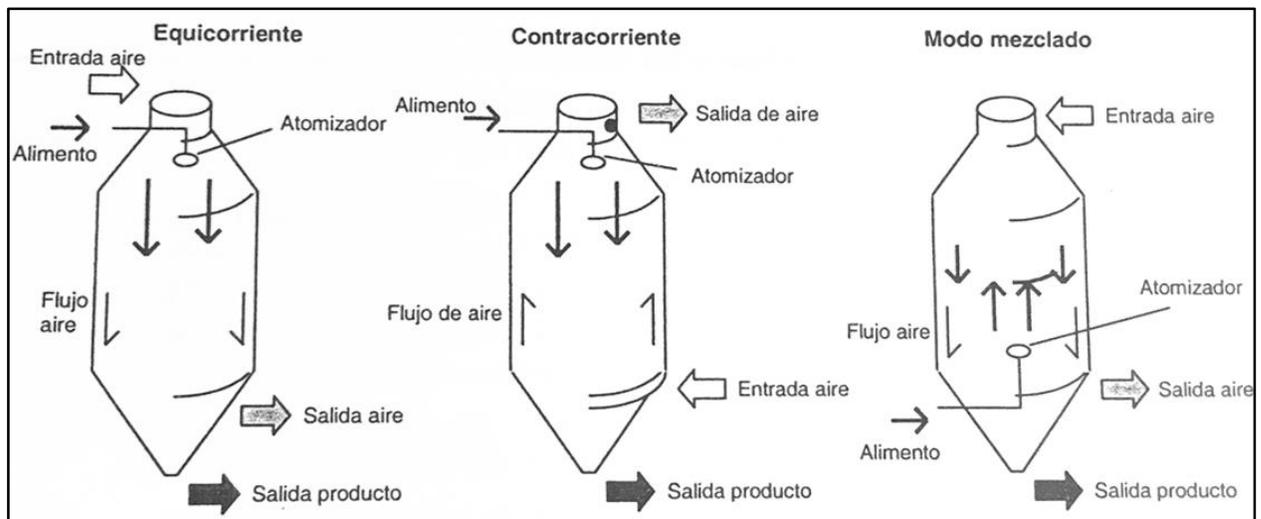


Figura 7: Clasificación de secadores según el movimiento de atomización.

FUENTE: Tomado de Barbosa-Cánovas y Vega 2000

2.2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SECADO POR ATOMIZACIÓN

Las ventajas del secado por atomización según Masters (1991) citado por Barbosa-Cánovas y Vega (2000) son:

- Las especificaciones de los polvos permanecen constantes a lo largo del secadero cuando las condiciones de secado son constantes.
- Es una operación de secado continua y fácil y se puede adaptar a un control automático completo.
- Existe un amplio intervalo de diseños de secaderos que se pueden aplicar a materiales sensibles al calor, corrosivos y abrasivos.

Los atomizadores de boquilla a presión producen una aspersión axial en la cámara de deshidratación y, por ende, requieren que el cuerpo del deshidratador sea alto y relativamente angosto para asegurar que la deshidratación del producto se realice antes de que las partículas choquen con la pared de la cámara. Por el contrario, los atomizadores centrífugos producen una aspersión radial, por lo que ésta debe ser mucho más ancha y corta que en el caso anterior, para asegurar que las partículas húmedas no toquen la cámara de deshidratación (Colina 2010). En el cuadro 7 se resumen ventajas y desventajas de dos tipos de atomizadores.

Cuadro 7: Ventajas y desventajas de los atomizadores centrífugos y las boquillas a presión utilizados en la deshidratación por aspersión

TIPO DE ATOMIZADOR	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Atomizadores centrífugos	<ul style="list-style-type: none"> - Altas velocidades de alimentación con un solo disco. - Adecuados para diversos tipos de productos. - No hay tendencia a la obstrucción. - Control del tamaño de partícula mediante la velocidad de rotación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor consumo energético que las boquillas a presión. - Mayor costo de adquisición que las boquillas a presión. - Atomización amplia que requiere grandes cámaras de deshidratación.
Boquillas a presión	<ul style="list-style-type: none"> - Construcción simple sin partes móviles - Bajo costo de adquisición. - Bajo consumo energético. - Puede aumentarse la capacidad de producción mediante el uso de múltiples boquillas. 	<ul style="list-style-type: none"> - No hay control adecuado del tamaño de la gota asperjada. - No son adecuados para suspensiones, ya que provocan separación de fases. - Se obstruyen fácilmente. - Sufren corrosión y erosión que resulta en el ensanchamiento del orificio, modificando las características de la atomización.

FUENTE: Tomado de Colina 2010

III. DESARROLLO DEL TEMA

3.1 EL CONSUMIDOR INFORMADO

Las grasas, por su naturaleza y seguramente por un gran apoyo publicitario, han cobrado una percepción negativa o de rechazo en los consumidores que, de acuerdo a la oferta de productos del mercado, los impulsa a buscar opciones “light”, “reducidas en grasas”, “sin colesterol”, “sin grasas añadidas”, etc.; llegando a catalogar incluso a grasas/aceites que tienen efectos benéficos de manera natural, como si fueran realmente negativos.

Consumidores más informados y con acceso a su vez a muchas fuentes de desinformación sobre los productos alimenticios que se ofrecen en el mercado y sus efectos benéficos o perjudiciales se han convertido en una nueva oportunidad de mercado para la industria de alimentos a través de la innovación y exploración de nuevas y potenciales fuentes de alimentos funcionales o compuestos activos que tengan efectos positivos sobre la salud.

Cabe resaltar que en el 2015 la FDA (*Food and Drugs Administration*) reconoció como “no seguros” a las grasas *trans* en lo referente a la alimentación humana; y las compañías de alimentos ya están trabajando en la eliminación de su uso en sus productos.

En el desarrollo de nuevos productos, las grasas *trans* que no son de fuentes naturales, están prácticamente descartados y son evitados por todos los medios tecnológicos posibles. Por lo tanto, éstas no serán motivo de discusión en adelante.

3.2 GRASAS Y ACEITES EN LA ALIMENTACIÓN Y DIETA

Una alimentación variada aporta fuentes de aceites y grasas en los alimentos más comunes de la dieta como lácteos y derivados, carnes blancas o rojas, frutos frescos y secos, pescado y semillas oleaginosas vegetales como indica Lawson (1994). Por otro lado, los aceites y grasas son importantes en el procesado de muchos alimentos preferidos por los consumidores como las papas fritas que adquieren una capa crujiente y sabrosa, aliños para ensaladas, panes y postre, así como margarinas, galletas, etc.

Las grasas también otorgan a los alimentos características únicas de textura y sabor, suavizan los aliños en las ensaladas, dan texturas suaves a las galletas y tortas, y dan helados con una mayor cremosidad (Thompson *et al.* 2008).

Si bien es cierto hay grasas que no cumplen funciones nutritivas, como menciona Bailey (1984) en la industria de productos de pastelería: pan, galletas, bizcotelas y tortas cuya funcionalidad es esencialmente de lubricante, o ayuda a la dispersión de la masa, o evitar el aglutinamiento de la harina, pueden ser capaces de atrapar y retener considerables cantidades de aire en el proceso de mezclado o al freírlos por ser un eficiente medio de transferencia de calor para la cocción, es importante prestarle atención a las fuentes de grasas o aceites que tienen un valor nutritivo importante para el ser humano.

Como aporte calórico, no específicamente nutritivo, Bailey (1984) explica que las grasas suministran 9 kcal de energía por gramo, en comparación con las 4 kcal por gramo que aportan las proteínas o carbohidratos, convirtiéndose así en una principal fuente de energía de la dieta.

Thompson *et al.* (2008), mencionaron que las grasas animales proporcionan aproximadamente entre el 40 y el 60 por ciento de su contenido energético de las grasas saturadas, mientras que las grasas vegetales proporcionan el 80 o el 90 por ciento de su contenido energético de grasas mono insaturadas y poli insaturadas. Gran parte de los aceites son excelentes fuentes para encontrar diferentes tipos de ácidos grasos que siendo ricas en las fuentes vegetales, aportan a su vez una menor cantidad de grasas saturadas que los provenientes de fuentes animales.

Según Webb (1995), las principales fuentes de grasas de la dieta humana son:

- a. **Grasas lácteas:** en la leche y el yogur entero, la nata, la mantequilla y el queso; siendo casi invariablemente, altamente saturadas.
- b. **Grasas de la carne:** incluyendo (a veces especialmente) productos cárnicos como salchichas y hamburguesas; también incluye las grasas de origen animal utilizadas para guisar como la manteca; suelen ser también altamente saturadas.
- c. **Semillas y frutos secos:** proporcionan una fuente concentrada de energía para la germinación. Son también la fuente de los aceites vegetales y las margarinas blandas. Suelen tener una proporción poli insaturados-saturados bastante alta y entre los ácidos poli insaturados predominan en general los ω -6.
- d. **Pescado azul:** como caballa, arenque, trucha, mújol y salmón. La carne de pescado blanco (ej. bacalao y abadejo) es muy pobre en grasas, aunque las pueden almacenar en cantidades considerables en el hígado (de ahí el aceite de hígado de bacalao). Los aceites de pescado suelen tener una proporción Poli insaturados-saturados alta y abundancia de ácidos ω -3. Constituyendo la única fuente dietética significativa de poli insaturados ω -3 de cadena larga.

Los pescados más grasos, como el salmón o el atún, son más ricos en EPA y DHA que los pescados con menos grasa, como el bacalao o la platija, según Thompson *et al.* (2008).

Martínez y García (2005) hablan de las grasas saludables en la dieta mediterránea, diciendo que la combinación de aceite de oliva, grasas animales y pescado, equilibra el nivel de ácidos grasos que precisa el organismo. El consumo de aceite de oliva permite que el cuerpo rebaje las concentraciones de colesterol en la sangre. Además, las grasas que aporta el pescado tienen un papel importante sobre la coagulación de la sangre.

3.3 FUENTES IMPORANTES DE ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES

Como mencionaron Thompson *et al.* (2008), los ácidos grasos esenciales son el fundamento de importantes compuestos biológicos para el crecimiento y la salud, avalado por numerosos estudios sobre sus efectos benéficos. Suelen ser los pescados, mariscos y aceites procedentes de pescado, los que confieren a la dieta dos tipos de ácidos grasos omega-3 (ω -3) su suma relevancia: el eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA).

Las fuentes precursoras, que fueron explicadas por Mazza (1998) mediante las rutas metabólicas de la figura 4, son el ácido linoleico (omega-6 u ω -6) y alfa-linolénico (omega-3 u ω -3). Ambas, pueden encontrarse en cantidades abundantes en aceites de origen vegetal y es allí donde radica su valor nutricional para la dieta humana.

Al detectar y conocer fuentes ricas en aceites esenciales, como las verduras, las nueces y aceites vegetales de cártamo, maíz, soja, cacahuete, etc.; se pueden aprovechar para el uso en nuevos productos, como las bebidas nutrimentales balanceadas.

Algunas fuentes de ácidos grasos se aprecian en la cuadro 8 donde destacan la soja, cártamo, girasol, maíz, semilla de algodón y canola. Sin embargo, se discutirá más adelante de cómo se hizo aprovechable el aceite de colza bajo en ácido erúxico (también destacado en el mismo cuadro), y la razón antinutricional, así como el aceite de coco que, a pesar de contener principalmente ácido grasos saturados, ha cobrado importancia en aspectos de nutrición.

Cuadro 8: Ácidos grasos más importantes en diferentes fuentes de aceites y grasas

NOMBRE	ÁTOMOS DE CARBONO	DOBLES ENLACES	ACEITES Y GRASAS NATURALES EN LOS QUE ESTÁN MAYORITARIAMENTE PRESENTES
Butírico	4	0	Mantequilla.
Láurico	12	0	Aceite de coco.
Mirístico	14	0	Mantequilla, aceite de coco, aceite de palma.
Palmítico	16	0	Aceite de palma, mantequilla y grasas animales como la grasa de pollo, manteca de cerdo y sebo.
Esteárico	18	0	Sebo, manteca de cacao, manteca de cerdo y mantequilla.
Oleico	18	1	Oliva, cacahuate, manteca de cerdo, palma, sebo, maíz, semilla de colza y canola.
Linoleico	18	2	Soja, cártamo, girasol, maíz y semilla de algodón
Linolénico	18	3	Soja y canola.
Gadoleico	20	1	Algunos aceites de pescado.
Araquidónico	20	4	Manteca de cerdo, sebo, Algunos aceites de pescado
Behénico	22	0	Cacahuate, semilla de colza.
Erúcico	22	1	Semilla de colza rica en ácido erúcico.

FUENTE: Adaptado de Lawson 1994

3.4 BIOTECNOLOGÍA APLICADA A OLEAGINOSAS

En la recopilación de Bailey (1984), se encontró que el contenido de ácido erúcico del aceite de semilla de colza rondó entre 37,4 y 52,5 por ciento; el contenido de ácido oleico estuvo entre 12,3 y 24 por ciento, mientras el ácido linoleico entre 9,1 y 20,9 por ciento.

La colza, una fuente disponible con abundante contenido de ácido erúcico (un ácido mono insaturado), fue poco usado en la industria alimentaria por motivos de salud, pues estudios en

animales pusieron de manifiesto la infiltración de grasa en el miocardio aunque estudios más recientes muestran que el daño cardíaco podría ser temporal y no permanente (Lawson 1994).

La canola, una variedad de la colza, es un excelente ejemplo del éxito de la aplicación de la biotecnología en la composición de las grasas. Comparando el aceite de colza con el aceite de canola de la figura 8, se tiene en éste último una mayor fuente de ácido oleico de 62 por ciento manteniendo el ácido linolénico alrededor de 22 por ciento.

Actualmente, el ácido erúico no supone más que un 2 por ciento, el oleico es bastante alto, hasta el 62 por ciento; puede contener cantidades importantes de linoleico (alrededor de 20 por ciento) y de linolénico (un 6 a 8 por ciento), haciendo al aceite de canola (aceite de colza bajo en ácido erúico) nutritivamente deseable.

Así como la canola, en la figura 8 se observa información de la composición media de varias fuentes de grasas y composición de ácidos grasos donde destaca que los aceites de soja y maíz son ricas fuentes de ácido linoleico, así como el aceite de cártamo y girasol.

Bailey (1984), recopiló información de la cantidad de ácido linoleico del aceite de girasol que está entre 57,5 y 66,2 por ciento. Aunque difiere de la información dada por Ziller (1994), lo rescatable es que existe el aceite de girasol rico en oleico, cuyo contenido de ácido linoleico se muestra en 9 por ciento, mientras que el ácido oleico en 81 por ciento. Similar caso con el aceite de cártamo alto en oleico, claramente obtenidos mediante manipulación genética.

Desde un punto de vista crítico, lo anterior puede ser cuestionable ya que se está disminuyendo la cantidad de un ácido graso esencial, el ácido linoleico. Es posible que la razón se halle en la búsqueda de la estabilidad del aceite al tener mayor cantidad de un ácido graso insaturado (ácido oleico) que dos insaturaciones en mayor proporción (ácido linoleico).

	BUTÍRICO	CAPROICO	CAPRÍLICO	CÁPRICO	LÁURICO	MIRÍSTICO	PALMÍTICO	ESTEARÍCO	ARAQUIDÓNICO	PALMITOLEICO	OLEICO	GADOLEICO	LINOLEICO	LINOLÉNICO
Grasa o aceite	4:0	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	16:0	18:0	20:0	16:1	18:1	20:1	18:2	18:3
Aceite de soja							11	4			24		54	7
Aceite de maíz							11	2			28		58	1
Aceite de algodón						1	22	3		1	19		54	1
Aceite de palma						1	45	4			40		10	
Aceite de cacahuete ²							11	2	1		48	2	32	
Aceite de oliva							13	3	1	1	71		10	1
Aceite de canola (aceite de colza bajo en ácido erúrico)							4	2			62		22	10
Aceite de cártamo							7	2			13		78	
Aceite de cártamo rico en oleico							5	2			80		12	
Aceite de girasol							7	5			19		68	1
Aceite de girasol rico en oleico							4	4			81		9	
Aceite de coco		1	8	6	47	18	9	3			6		2	
Aceite de aceite de semilla de palma			3	4	48	16	8	3			15		2	
Manteca de cacao							26	34	1		34		3	
Mantequilla ³	4	2	1	3	3	11	27	12		2	29		2	1
Manteca de cerdo						2	26	14		3	44	1	10	
Sebo de vacuno ⁴						3	24	19		4	43		3	1
Aceite de Menhaden ⁵						9	19	4		13	16	2	2	1

Figura 8: Composición media en ácidos grasos de las principales grasas animales y vegetales (porcentaje del total de ácidos grasos).

FUENTE: Tomado de Ziller 1994

No obstante, estos altos oleicos tienen ventajas y utilidades para la industria pues existen otras fuentes ricas en ácido linoleico como la soja y el maíz que son menos costosas, dejando la posibilidad de balancear diferentes aceites según requerimientos nutricionales buscados de fuentes de omega 3, 6 y 9 como lo solicite el mercado a un costo razonable.

Las manipulaciones genéticas y el uso de la biotecnología en las fuentes de aceites se han aplicado de manera controlada, en las últimas décadas en los tres ejemplos antes citados (canola, girasol, cártamo), y se convierte en una opción vigente para nuevas posibles fuentes no convencionales de aceites a utilizarse en la dieta humana.

3.5 POTENCIALES FUENTES DE OMEGA-3

Las fuentes de aceites vegetales disponibles que sean ricas fuentes de ácidos grasos omega 3 o con altos contenidos de α -linolénico son escasos por lo que usualmente se recurre a fuentes animales; como indicó Elías (2012), sobre la ingesta y beneficios de ácidos grasos omega 3 que están presentes en los aceites de pescados de aguas profundas y azules como el salmón, atún, sardina, sáballo, caballa y arenque, y también en moluscos como el calamar, en concentraciones de hasta un 35 por ciento.

Alimento	Ácidos grasos omega-3 (gramos por ración)
Aceite de salmón (aceite de pescado) (1 cucharada sopera)	4,39
Arenque atlántico a la parrilla (85 g)	1,52
Aceite de arenque (1 cucharada sopera)	1,52
Aceite de canola (1 cucharada sopera)	1,27
Gambas a la parrilla (85 g)	1,11
Filete de trucha arco iris asado (85 g)	1,05
Filete de mero asado (85 g)	0,58
Nueces (1 cucharada sopera)	0,51
Salmón ahumado (85 g)	0,50
Cangrejo ahumado. marisco (85 g)	0,34
Atún <i>light</i> al natural (85 g)	0,23

Figura 9: Contenido de ácidos grasos omega-3 en algunos alimentos.

FUENTE: Tomado de Thompson *et al.* 2008

En la figura 9 se encuentran algunos alimentos fuentes de omega-3 donde destacan los pescados y el aceite de canola que, como se indicó anteriormente, por modificaciones genéticas se ha vuelto más atractivo nutricionalmente hablando.

En la exploración por nuevas fuentes de aceites vegetales con características nutritivas atractivas, se pueden encontrar el aceite de linaza y sacha inchi.

Mazza (1998), mencionó que la linaza, además de ser un aceite rico en ácido α -linolénico y poseer una proteína de buena calidad, la linaza tiene potencial como fuente natural de sustancia fitoquímicas como los flavonoides, lignanos y ácidos fenólicos.

Cuadro 9: Contenidos de aceite, ácidos grasos y proteínas de la linaza

REFERENCIA	ACEITE (%)	ÁCIDO PALMÍTICO	ÁCIDO ESTEÁRICO	ÁCIDO OLEICO	ÁCIDO LINOLEICO	α -LINOLÉNICO
DeClercq	44,3	5,4	3,3	17,6	14,7	58,7
DeClercq	43,8	5,1	3,1	19,1	14,9	56,8
Anónimo	45,6	5,2	3,5	18,4	15,3	57,2
Anónimo - Solin	46,6	5,9	3,4	16,8	71,5	2,3

FUENTE: Adaptado de Mazza 1998

El contenido de α -linolénico que se observa en el cuadro 9 está por encima del 56 por ciento lo que convierte al aceite de linaza como una excelente fuente aprovechable para el desarrollo en formulaciones balanceadas que requieren incrementar el omega 3, ácido graso esencial que participará posteriormente en las rutas metabólicas hasta convertirse en EPA o DHA. Se pueden encontrar los efectos biológicos del ácido α -linolénico en el anexo 1.

Así como existen nuevos aceites modificados de girasol y colza (canola), ya existen también modificaciones sobre la linaza como se puede ver en la figura 10. El móvil a estos cambios es

posiblemente la estabilidad del mismo ya que, a mayor insaturación en la linaza tradicional (3 dobles enlaces) son más susceptibles al deterioro comparado con uno de menor cantidad de insaturaciones, lo anterior sin necesidad de recurrir a la hidrogenación.

	12:0	14:0	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3	20:1	22:1
Colza	-	-	3,1	1,0	33,0	17,0	7,7	10,0	25,5
Canola									
Tradicional	-	-	4,0	1,5	61,0	21,0	9,5	1,5	-
Alto en oleico	-	-	3,5	2,5	77,0	8,0	2,5	1,5	-
Bajo en linolénico	-	-	4,0	1,0	61,0	27,0	2,0	1,0	-
Alto en láurico	39,0	4,0	3,0	1,5	33,0	11,0	6,5	1,0	0,5
Girasol									
Tradicional	-	-	6,0	4,0	18,5	71,0	0,5	-	-
Alto en oleico	-	-	4,0	4,0	78,5	11,5	-	-	-
Linaza									
Tradicional	-	-	6,5	4,5	19,5	16,5	53,0	-	-
Bajo en linolénico (Linola™)	-	-	6,0	4,0	16,0	71,5	2,0	-	-

Figura 10: Comparación de los contenidos de los principales ácidos grasos en los aceites vegetales tradicionales y los aceites modificados (en porcentaje del total).

FUENTE: Tomado de Mazza 1998

Por otro lado, el sacha inchi es una semilla autóctona de la selva peruana también conocida como el maní inka. Ángeles (2002), recomendó estudiar el aspecto nutricional del aceite de sacha inchi y evaluar el uso de este aceite concentrado como un complemento nutricional.

Según el estudio de Elías (2012), el aceite de sacha inchi contiene alrededor de 45% de ácido α -linolénico, convirtiéndolo así en una fuente nada despreciable de omega-3 de origen vegetal.

3.6 MICROENCAPSULACION DE ACEITES Y SECADO POR ATOMIZACIÓN

Aunque son bien conocidas las ventajas del α -linolénico del aceite de linaza, su uso en la industria alimentaria está limitado por su susceptibilidad a la oxidación. Mazza (1998) planteó una solución al problema de la estabilidad sugiriendo la microencapsulación para dar un producto seco. Una vez seco, éste producto presenta una elevada estabilidad oxidativa, incluso después de ser horneado o frito asegura Mazza (1998), y tiene por lo tanto múltiples aplicaciones tanto en productos alimentarios existentes como en nuevos productos con efectos beneficiosos para la salud.

Por su parte, Elias (2012) evaluó varios parámetros de proceso en el microencapsulamiento de aceite de sacha inchi, para secarlo por atomización. El flujograma que estableció se encuentra en el anexo 2.

La tecnología de secado por aspersión, también llamada deshidratación por encapsulación, o simplemente atomización, ha sido explotada y estudiada en alimentos siendo los más importantes relacionados al secado de leche, café, té, huevos, proteínas de suero, enzimas y microorganismos. Sin embargo, queda mucho por explorar en la abundancia de aceites que puedan transformarse a un estado sólido aparente (polvo) mediante el secado por atomización.

Para lograr encapsular el aceite éste debe someterse a tratamientos previos de importancia alta para que el proceso sea eficiente. En primer lugar deben determinarse los pre tratamientos; luego seleccionar el mejor agente encapsulante para la matriz según requerimiento nutricional o limitantes alergénicas, el tipo de equipo atomizador adecuado, la humedad final para garantizar la estabilidad y la selección correcta del empaque final para su comercialización.

3.6.1 PRE TRATAMIENTO DEL ACEITE - MICROENCAPSULACIÓN

Para determinar los pre tratamientos, se puede analizar la industria de leche en polvo. Ésta es particularmente importante ya que si se considera que es una *emulsión aceite en agua*, que ha pasado previamente por un *homogenizado* para disminuir el tamaño de partículas de la grasa de la leche a fin de mantener una *emulsión estable*, es decir, no haya separación de fases, podemos destacar dicha operación unitaria como indispensable para procesar un aceite que se atomizará.

Asimismo, el rango de concentración de sólidos totales de 45 a 55 por cierto que se requiere alcanzar previo a la operación del secado en la leche en polvo, como explican Barbosa-Cánovas y Vega (2000); se realiza para maximizar la eficiencia del secado, reducir el espacio de los tanques de abastecimiento y reducir los costos energéticos por el tiempo de proceso. Por lo tanto, alcanzar una concentración de sólidos adecuada para procesar un aceite que se atomizará se convierte en una operación crítica para maximizar la eficiencia.

La concentración de aceite en el producto comercial una vez hecho polvo para uso en bebidas nutricionales en polvo, es usualmente del 50 por ciento de la fuente de aceite que se solicita, pero puede variar según el requerimiento deseado.

Blue *et al.*, citado por Elías (2012), indican que se suelen usar como agentes de encapsulamiento: la goma arábiga, glucosa, carragenina, CMC, dextrinas, almidones, arabinogalactano, la goma acacia, la caseína, la gelatina, la carboximetil celulosa, el tragacanto, la karaya, el alginato de sodio, el tanino, y las celulosas.

Los encapsulantes más utilizados son el jarabe de maíz y los almidones modificados. Es sumamente importante que el encapsulante facilite la emulsificación por lo que se puede agregar caseinato de sodio si se busca alcanzar concentraciones de aceite ya en polvo final del 70 hasta 80 por ciento. Sin embargo, el caseinato queda descartado si se trata de insumos que se utilizarán para fórmula hipoalérgicas. Por otro lado, el uso de una u otra opción, estarán limitados por la capacidad, tipo de atomizador y eficiencia del secado. Para mejorar la emulsión puede ir acompañado además de mono y di glicéridos de ser el caso.

La viscosidad es una variable que mencionan Barbosa-Cánovas y Vega (2000), donde a mayor viscosidad se consigue un atomizado grosero o si la viscosidad es muy alta, se convierte en una operación imposible de manejar. En el proceso de secado por atomización realizado por Elías (2012) para aceite de sachá inchi, determinó que el almidón modificado mostraba menor viscosidad que la goma arábiga y que el uso de éste almidón se traducía en un mejor rendimiento de atomización. Por lo tanto, sería el encapsulante de preferencia para los nuevos prospectos: linaza y sachá inchi.

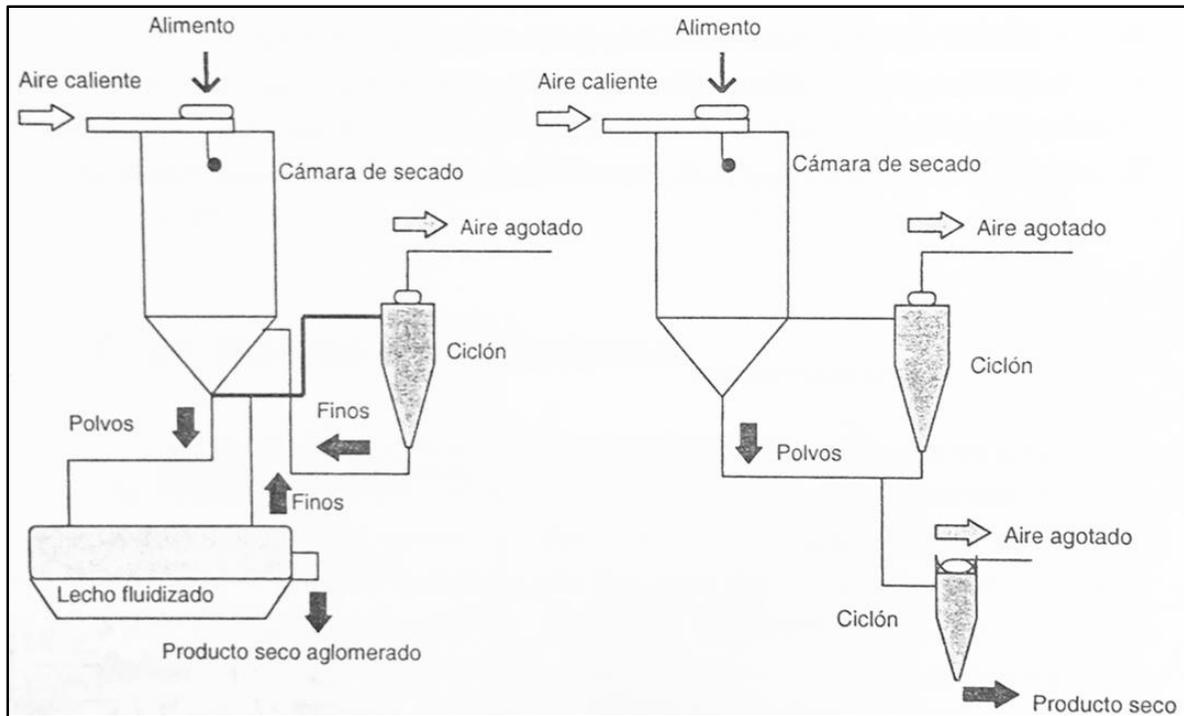
3.6.2 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE SECADO POR ATOMIZACIÓN Y HUMEDAD FINAL

Resumiendo lo antes indicado, es preferible tener un fluido estable que no presente separaciones, es decir una *emulsión*, que mantenga la homogeneidad, con una concentración de sólidos adecuada, para que el proceso sea lo más eficiente posible.

Barbosa-Cánovas y Vega (2000), mencionan que la velocidad de evaporación en gotas que contienen sólidos disueltos es más baja que en gotas de líquidos puros. Por ende, el rendimiento del secado si se encapsula aceites, será menor que de otros compuestos, y por ello es conveniente seleccionar un equipo adecuado. El tipo de atomizador más adecuado según la matriz, en este caso aceite, y tal como se vio en las ventajas y desventajas del cuadro 9, será uno centrífugo pues puede utilizarse para fluidos poco homogéneos, con sólidos en suspensión y elevada viscosidad, a pesar de ser más costoso que el de boquillas a presión.

Para lograr una humedad del 4 por ciento o menor después del proceso de secado por atomización, se suele acompañar de un lecho fluidizado vibratorio externo, como la figura 11a (ejemplo de la industria láctea).

En las compañías que se dedican a secar alimentos por aspersion, es común encontrar un lecho fluidizado vibratorio externo a la salida donde, mediante una banda transportadora, se vuelve a unir con los polvos finos recuperados en el ciclón. Es común encontrar adaptaciones con incluso dos o hasta tres ciclones para maximizar la recuperación de finos del producto deshidratado, que finalmente se une a la banda para pasar al lecho fluidizado, donde alcanzará la humedad final deseada según el diseño del producto, generalmente menor a 4 por ciento como en el caso de la leche en polvo como indican Barbosa-Cánovas y Vega (2000), pues es difícilmente alcanzable sólo con la atomización.



a. Atomizador con lecho fluidizado externo

b. Atomizador con transportadora neumática

Figura 11: Atomizadores utilizados en productos lácteos.

FUENTE: Tomado de Barbosa-Cánovas y Vega 2000

No se debe dejar de lado la consideración del flujo de aire caliente más adecuado pues, los aceites a tratarse como el sacha inchi y la linaza, son sensibles a las temperaturas (entre otros factores) por la alta insaturación que tienen naturalmente. Por ello será recomendable el uso de flujos de aire equicorriente. Colina (2010) explica que el flujo paralelo es normalmente empleado en casos de insumos sensibles al calor porque el aire caliente de entrada se mezcla con las gotas recién formadas por el atomizador y tanto el producto como el aire se mueven en la misma dirección mientras ocurre la deshidratación, por lo que el producto deshidratado está en contacto con un aire cuya temperatura se ha reducido de manera importante.

Además para que el atomizado tenga buenos resultados, se debe considerar lo que Colina (2010) indica, que para que la deshidratación por aspersión se realice con éxito, se requiere que las gotas del producto sean deshidratadas antes de chocar con las paredes del secador, ya que si el producto en contacto con la pared aún está húmedo, se apelmaza y se pega a la pared. Y en efecto, impactará significativamente los costos energéticos de no tenerse en cuenta.

3.6.3 CARACTERISTICAS BUSCADAS EN UN ACEITE EN POLVO

Siguiendo la previa investigación de Elías (2012) sobre sachá inchi secado por atomización y la recomendación de Mazza (1998) de que la solución para prolongar la estabilidad de los aceites ricos en ácido α -linolénico, está en el encapsulamiento de aceite de linaza, éstas fuentes podrían utilizarse ya en polvo para formulaciones de bebidas nutricionales como alternativas a las fuentes de aceite de pescado, y balancearse junto con otras fuentes que complementen los requerimientos solicitados en cuanto a ácidos grasos saturados, MUFA y PUFA; para luego realizar mezclas físicas con los demás macro y micronutrientes de bebidas en polvo nutricionales o también llamadas nutraceuticas.

Las fuentes pueden ser aceite de maíz, aceite de girasol alto oleico, aceite de canola, entre otros como los explorados de sachá inchi y linaza, pero todos comparten características que se requieren de modo particular para que sean aplicados en las bebidas nutritivas. Así también, es importante conocer si la fórmula nutricional en polvo va dirigida a algún mercado específico, por ejemplo: niños, adultos o personas con alguna condición de salud específica como diabetes tipo II o prevención de la misma, o alergias.

Los aceites secados por aspersión, deben tener una granulometría fina, ser solubles y dispersables en agua (ya que previamente fueron emulsionados), no generar separaciones posteriores, es decir sostenerse dispersos en la emulsión en el tiempo y aportar el menor sabor posible a la bebida nutricional final. Para lo anterior, siempre es importante que los fabricantes de aceites refinados, que son los expertos en dicho proceso de refinación, y entregar la materia prima principal (el aceite), cumplan con las especificaciones de calidad acordados para garantizar que los procesos posteriores de atomización darán siempre un producto en polvo homogéneo.

Barbosa-Cánovas y Vega (2000) mencionan que las propiedades instantáneas de los productos atomizados incluyen la capacidad del polvo a disolverse en agua. Cada partícula debe ser humedecida, sumergida y disuelta en el líquido. Los autores definen las siguientes propiedades:

a. Humectabilidad:

Es la capacidad de la partícula de polvo para adsorber agua en su superficie. Es una propiedad funcional de los polvos y se ve afectada por el proceso de aglomeración, la cantidad de humectable disponible, superficie o ausencia razonable de partículas no aglomerables.

b. Sumergibilidad:

Esta es la capacidad de un polvo en sumergirse en agua después que ha sido humedecido. Es una propiedad funcional de los polvos y se ve afectada por la densidad de la partícula.

c. Dispersabilidad:

Esta es la capacidad de un polvo de ser distribuido a lo largo de agua sin formación de grumos. Es una propiedad funcional de los polvos. Los factores que afectan a esta propiedad son la ausencia razonable de partículas con un tamaño superior a 250 μm o ausencia de aglomerados.

d. Solubilidad:

Esta es la velocidad de disolución o la solubilidad total. La ausencia de lunares y rápido hinchamiento de las superficies son factores que afectan a la solubilidad.

3.6.4 OTRAS FUENTES POCO EXPLORADAS - LOS MCT

Ziller (1994) hizo mención al empleo de lípidos especiales denominados “triglicéridos de cadena media” (*Medium Chain Triglycerides* o MCT) que contienen ácidos grasos saturados C6 a C12 en ciertas aplicaciones clínicas. Ciertas modificaciones de los MCT son solubles tanto en sistemas acuosos como grasos, y se metabolizan más rápidamente que los aceites y grasas convencionales que contienen ácidos grasos C16 y C18.

Thompson *et al.* (2008) explica que los ácidos grasos de cadena corta y media (aquellas que tienen menos de 14 carbonos de longitud) se transportan en el cuerpo más rápido que lo de cadena larga. Esto se debe a que los ácidos grasos de cadenas corta y media que se transportan a las células de

la mucosa no tienen que transformarse en triglicéridos y formar parte de los quilomicrones (como se ilustra en la figura 12).

Ziller (1994) expuso que los MCT se han convertido en los lípidos preferidos en tratamiento de algunos cuadros de malabsorción de grasa. Otras aplicaciones incluyen su empleo como fuentes de energía rápidamente disponible en pacientes con resercción intestinal, o síndrome de intestino corto, y en bebés prematuros. En ciertas fórmulas dietéticas líquidas y en goteos intravenosos, los MCT se combinan con proporciones variables de aceite de maíz, soja o cártamo.

La importancia clínica de los triglicéridos de cadena media en infantes es mencionada por Brown (2014), quien explica que los lactantes necesitan una dieta rica en grasa y es recomendable hasta 55 por ciento de las calorías por día a partir de ellas. Así también indica que los triglicéridos de cadena media no requieren bilis para su absorción. Menciona que el aceite MCT es una forma líquida de grasa que se utiliza para estimular la energía; se compone de triglicéridos de cadena mediana.

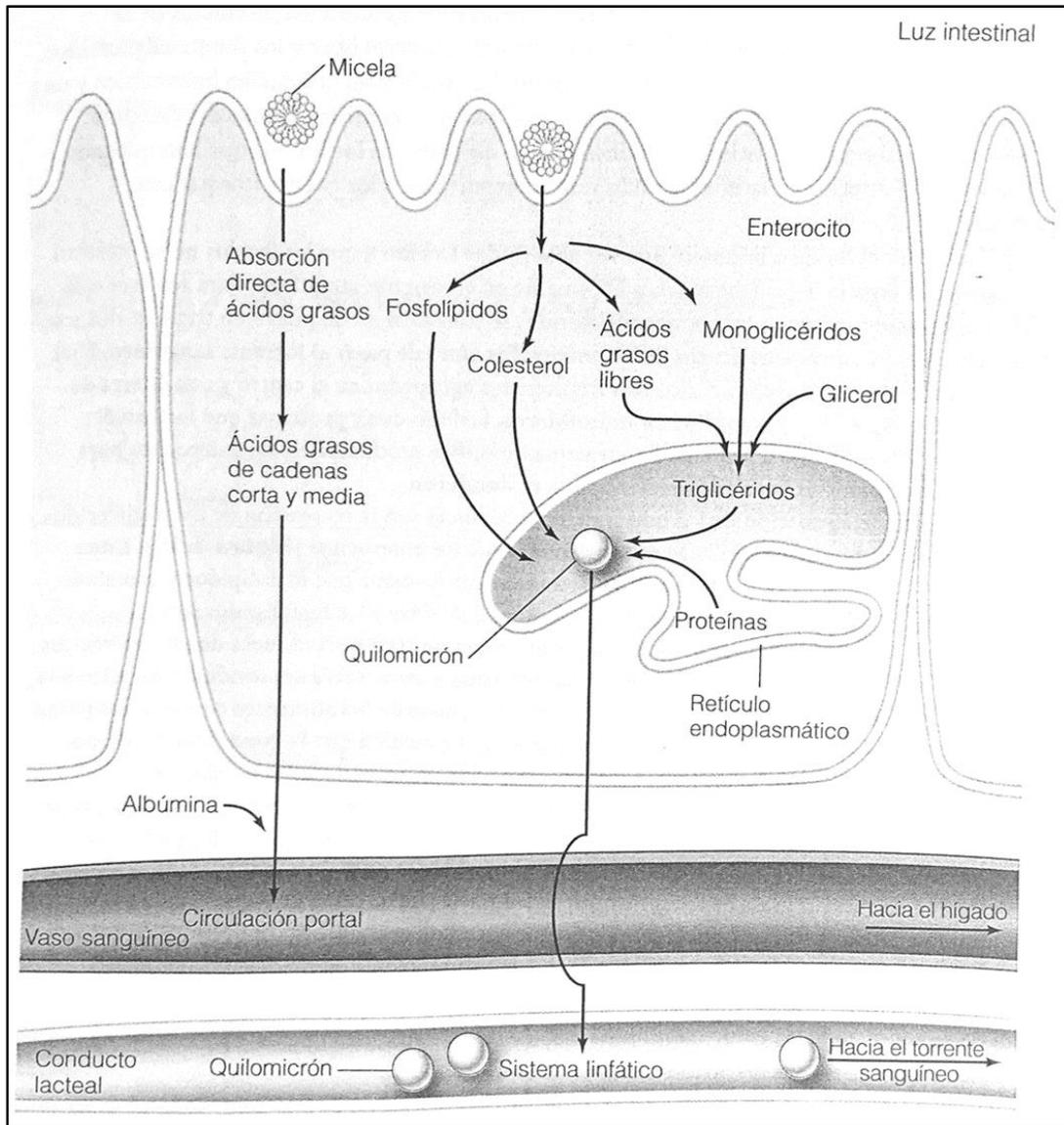


Figura 12: Ácidos grasos de cadena corta y media pasan directo al hígado.

FUENTE: Tomado de Thompson *et al.* 2008

En lactantes, las grasas de cadena corta y media, como las que se encuentran en la leche materna, se utilizan con mayor rapidez que las grasas de cadena larga, como las que contienen algunas fórmulas infantiles. Los ácidos grasos de cadena larga son el tipo más frecuente en la comida, pero a los lactantes más pequeños se les dificulta su utilización. Los ejemplos de ácidos grasos de cadena larga son C16-C18 e incluyen los ácidos palmíticos (C16:0), esteárico (C18:1) y linoleico (C18:2).

Tanto el aceite de coco como el aceite de semillas de palma cuya composición se pudo ver en la figura 8, tienen como ácido graso predominante al ácido láurico (C12:0). Webb (1995) indicó que la proporción de ácidos grasos saturados del aceite de coco, incluyendo grandes cantidades de saturados de cadena corta, podrían representar el 91 por ciento del aceite de coco mientras Bernardini (1981), en aquel año ya mencionaba la composición única del aceite de coco que contiene: 45-50 por ciento de ácido láurico y del 13 al 18 por ciento de ácido mirístico.

Por lo tanto, ambas fuentes como aceite de coco y aceite de semilla de palma pueden utilizarse como fuentes de triglicéridos de cadena media que pueden estabilizarse mediante secado por atomización para su mayor aprovechamiento en bebidas nutricionales.

3.6.5 CONSERVACIÓN Y EMPACADO DE ACEITES EN POLVO

Thompson *et al.* (2008) recalca que la grasa hace que los alimentos sepan bien, pero a su vez, los PUFA están expuestos a la oxidación, y si no se conservan en el lugar adecuado se estropean rápidamente. Por su parte López, citado por Elías (2012), menciona que la microencapsulación tiene como objetivo de impedir su pérdida, protegerlos de la reacción con otros compuestos presentes o impedir que sufran reacciones de oxidación. Por ende el proceso de secado por atomización ya es en sí una barrera protectora para los aceites.

Asimismo, el uso de antioxidantes según Madrid-Vicente *et al.* (1997), ayudará a impedir y retardar las oxidaciones catalíticas y enranciamientos naturales o provocados por la acción del aire, la luz, indicios metálicos, etc. En el anexo 3 se encuentra una lista referencial de antioxidantes utilizados en alimentos. Su uso es opcional y debe verificarse la permisibilidad según la legislación vigente del país donde se comercializará el producto final.

Los antioxidantes, pueden añadirse como parte del proceso de secado para lograr una mejor vida de anaquel del producto en polvo que se comercializa para las industrias B2B.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el envasado del producto cuando ya está deshidratado. Para que un envase sea apropiado según Colina (2010), debe ser capaz de:

- Proteger el producto de la contaminación por insectos, microorganismos o polvo (tierra).
- Proteger el producto de factores ambientales como luz, oxígeno y otros gases.
- Proteger el producto de daños mecánicos.
- Evitar que el producto absorba humedad.
- No interactuar con el alimento.
- Soportar el proceso de llenado, sellado, distribución y almacenamiento requeridos.
- Ser estético y funcional.
- Tener un costo moderado.
- Preferentemente, ser reciclable.

El cuadro 10 muestra algunos materiales usados por la industria de alimentos (Colina 2010):

Cuadro 10: Propiedades de algunos materiales usados para envasado de productos deshidratados

MATERIAL	PERMEABILIDAD			
	AGUA	GRASA	GASES	VOLÁTILES
Celulosa regenerada	Baja	Baja	Baja	Baja
Polietileno: - De baja densidad. - De alta densidad	Baja Baja	Media Media	Alta Media	Media Media
Polipropileno	Baja	Baja	Baja	Baja
Fluoroetileno	Baja	Baja	Baja	Baja

FUENTE: Tomado de Colina 2010

A nivel industrial se utiliza más sacos de polietileno de baja o alta densidad y papel *kraft* externo. La vida de anaquel que se consigue si las condiciones de secado fueron adecuadas, si la materia prima estuvo dentro sus características de calidad, si se siguieron las sugerencias de transporte y almacenamiento del fabricante, puede llegar a ser entre 9 y 12 meses sin inconvenientes. Es posible que pueda ser mayor el tiempo de vigencia, pero requiere de estudios que así lo sustenten acorde a las condiciones climatológicas del lugar de destino, su almacenaje o su cambio de empaque final como por ejemplo, latas con atmósfera modificada (nitrógeno con bajo residual de oxígeno).

IV. CONCLUSIONES

- El aceite de linaza y sacha inchi son potenciales fuentes de omega-3 de origen vegetal que pueden ser aprovechados para la industria de alimentos como alternativas no convencionales de ácidos grasos esenciales.
- Existen estudios realizados que sustentan la viabilidad de encapsular y secar por atomización los aceites de linaza y sacha inchi para su uso potencial en fórmulas nutricionales en polvo.

V. RECOMENDACIONES

- Investigar sobre la viabilidad de encapsular fuentes de Triglicéridos de cadena media (TCM) como el aceite de coco, para su potencial uso en bebidas nutritivas.
- Realizar ensayos de microencapsulamiento con almidones modificados y establecer los parámetros de proceso más óptimos para el secado por aspersión de aceites de diferentes fuentes.
- Evaluar la estabilidad de los aceites encapsulados en polvo con estudios de vida de anaquel.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ángeles, J. 2002. Determinación de la estabilidad del aceite crudo y semi-refinado de la semilla de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) sometido a temperaturas variables de almacenamiento. Tesis Ing. Lima, Perú, UNALM. 109 p.
- Bailey, AE. 1984. Aceites y grasas industriales. 2 ed. Barcelona, España, Editorial Reverté. 746 p.
- Barbosa-Cánovas, GV; Vega, H. 2000. Deshidratación de alimentos. Madrid, España, Editorial Acribia. 297 p.
- Bernardini, E. 1981. Tecnología de aceites y grasas. 1 ed. Madrid, España, Editorial Alhambra. 499 p.
- Brown, EJ. 2014. Nutrición en las diferentes etapas de la vida. 5 ed. Ciudad de México, México, Editorial McGraw-Hill. 600 p.
- Colina, ML. 2010. Deshidratación de alimentos. 1 ed. Ciudad de México, México, Trillas Editorial. 215 p.
- Elías, RV. 2012. Obtención de aceite de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) encapsulado y secado por atomización. Tesis Ing. Lima, Perú, UNALM. 62 p.
- Lawson, H. 1994. Aceites y grasas alimentarios: tecnología, utilización y nutrición. Madrid, España, Editorial Acribia. 333 p.

- Madrid-Vicente, A. Cenzano Del Castillo, I; Madrid-Cenzano, J. 1997. Manual de aceites y grasas comestibles. 1 ed. Madrid, España, Editorial A. Madrid Vicente.
- Martínez, J.; García, P. 2005. Nutrición humana. 1 ed. Ciudad de México, México, Editorial Alfaomega.
- Mazza, G. 1998. Alimentos funcionales: aspectos bioquímicos y de procesado. Zaragoza, España, Editorial Acribia.
- Moreno, R. 2000. Nutrición y dietética para tecnólogos en alimentos. 1 ed. Madrid, España, Editorial Díaz de Santos. 308 p.
- Thompson, JL; Manore, MM; Vaughn, LA. 2008. Nutrición. Madrid, España, Editorial Pearson. 1108 p.
- Webb, GP. 1995. Nutrición: una alternativa para promover la salud. Zaragoza, España, Editorial Acribia.
- Ziller, S. 1994. Grasas y aceites alimentarios. 7 ed. Zaragoza, España, Editorial Acribia.

VII. ANEXOS

ANEXO 1: EFECTO BIOLÓGICOS DEL ÁCIDO A-LINOLÉNICO DESCRITOS EN LA LITERATURA

<i>Efecto biológico</i>	<i>Referencia</i>
Modulación de la síntesis y metabolismo de eicosanoides derivados del ácido araquidónico	33
Reducción de la producción de leucotrienos de «serie 4»	34-36
Contribución a la reserva total de precursores de la lipogénesis para la síntesis de lípidos cerebrales	42, 43
Alivio de los síntomas clínicos neurológicos, incluyendo el entumecimiento, la visión borrosa y la parestesia	44
Protección contra las enfermedades cardiovasculares y los infartos de miocardio	45, 46
Reducción de la presión sanguínea alta en hipertensos y disminución de los niveles de triglicéridos y colesterol en plasma	47, 48
Reducción de la mortalidad por cáncer	51
Posibles efectos antitrombogénicos y antiarrítmicos	49
Inhibición de la proliferación de linfocitos, beneficiosa para individuos con enfermedades del sistema inmunológico	50
Retraso del crecimiento de tumores	51
Actividades antiparasíticas y antimaláricas	52
Esencial para el desarrollo neurológico óptimo en seres humanos	33

FUENTE: Tomado de Mazza 1998

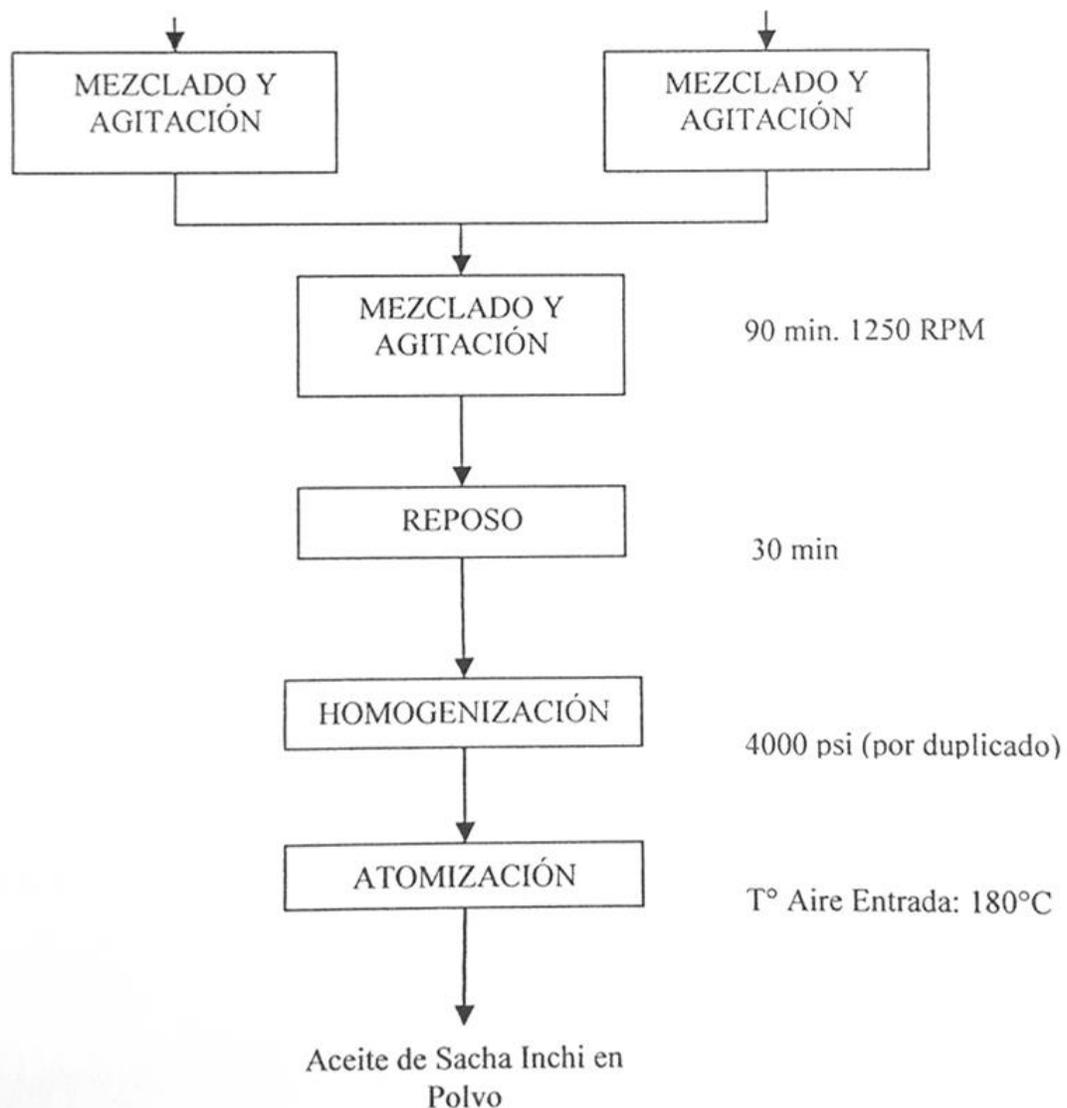
ANEXO 2: DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE DE SACHA INCHI

Fase Acuosa:

- Agua Tratada
- Encapsulante (A ó B, con dosis p1, p2 y p3)
- Maltodextrina

Fase Oleosa:

- Aceite de Sacha Inchi
- BHA
- BHT



FUENTE: Tomado de Elías 2012

ANEXO 3: ANTIOXIDANTES UTILIZADOS EN ALIMENTACIÓN (CONSULTAR LA LEGISLACIÓN DEL PAÍS ANTES DE UTILIZAR UN ANTIOXIDANTE)

	Número
<i>Productos que sólo tienen acción antioxidante:</i>	
Acido L-ascórbico	E-300
L-ascorbato sódico	E-301
L-ascorbato cálcico	E-302
(palmitato de ascorbilo)	E-304
Extractos de origen natural ricos en tocoferoles	E-306
Alfa-tocoferol	E-307
Gamma-tocoferol	E-308
Delta-tocoferol	E-309
Butil-hidroxi-anisol (BHA)	E-320
Butil-hidroxi-toluol (BHT)	E-321
Lecitina	E-322
<i>Productos con acción antioxidante, además de otras acciones:</i>	
Anhídrido sulfuroso	E-220
Sulfito sódico	E-221
Sulfito ácido de sodio (bisulfito sódico)	E-222
Disulfito sódico (metabisulfito sódico)	E-223
Disulfito potásico (metasulfito potásico)	E-224
Sulfito cálcico	E-226

FUENTE: Madrid-Vicente *et al.* 1997