



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
UNIDAD XOCHIMILCO

---

---

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

**COMPOSICIÓN DE LAS SEMILLAS DE CHÍA (*Salvia  
hispanica*) Y EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE SU  
ACEITE EN UN PRODUCTO CÁRNICO**

T E S I S

( I d ó n e a C o m u n i c a c i ó n  
d e R e s u l t a d o s )

Que para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

P R E S E N T A

**M A R Í A D E L O U R D E S R A M Í R E Z V E G A**

COMITÉ TUTORAL

DIRECTOR

**DR. SALVADOR VEGA Y LEÓN**

ASESORES

**DR. GILBERTO DÍAZ GONZÁLEZ**

**M. EN C. MARÍA GUADALUPE RAMOS ESPINOSA**

MÉXICO, D.F. DICIEMBRE 2009

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>Capítulo 1. ANTECEDENTES</b>	2
1.1 Semillas de chía	3
1.2 Grasas y aceites	4
1.2.1 Ácidos grasos	5
1.2.2 Ácidos grasos omega-3	5
1.3 Chorizo	7
1.4 Cromatografía	8
1.4.1 Historia de la cromatografía	8
1.4.2 Fundamento de la cromatografía gaseosa	8
1.4.3 Detector de ionización de flama	9
<b>Capítulo 2. METODOLOGÍA GENERAL</b>	10
2.1 Esquema general de la metodología	11
2.1.1 Toma de muestra y su almacenamiento	11
2.1.2 Extracción de grasa en equipo Soxhlet	11
2.1.3 Cromatografía de gases con detector de ionización de flama	12
<b>Capítulo 3. COMPOSICIÓN DE SEMILLAS DE CHÍA</b>	13
3.1 Introducción	14
3.2 Métodos y materiales	15
3.2.1 Análisis físicos	15
3.2.1.1 Impurezas	15
3.2.1.2 Peso hectolítrico	16
3.2.1.3 Tamaño de semilla	16
3.2.2 Análisis químicos	16
3.2.2.1 Preparación de las muestras	16
3.2.2.2 Materia seca y humedad	16
3.2.2.3 Extracto etéreo	17
3.2.2.4 Fibra	17
3.2.2.5 Proteína	18
3.2.2.6 Cenizas	18
3.2.2.7 Extracto libre de nitrógeno	19
3.2.2.8 Fibra detergente neutra (FDN)	19
3.2.2.9 Fibra detergente ácida (FDA) y porcentaje de hemicelulosa	19
3.2.2.10 Celulosa	20
3.2.2.11 Lignina	20
3.2.3 Análisis estadístico	20
3.3 Resultados y discusión	21
3.3.1 Análisis físicos de las semillas de chía	21

3.3.2	Análisis de la composición de la semilla de chía	23
3.4	Conclusiones	25
<b>Capítulo 4. PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN ACEITE DE CHÍA</b>		<b>26</b>
4.1	Introducción	27
4.2	Métodos y materiales	28
4.2.1	Preparación de ésteres metílicos y del estándar	29
4.2.2	Análisis de los cromatogramas	29
4.2.3	Análisis estadístico	29
4.3	Resultados y discusión	31
4.4	Conclusiones	33
<b>Capítulo 5. CHORIZO ADICIONADO CON ACEITE DE CHÍA</b>		<b>36</b>
5.1	Introducción	37
5.2	Métodos y materiales	38
5.2.1	Elaboración del chorizo	38
5.2.2	Maduración del producto	39
5.2.3	Análisis para evaluar la maduración del chorizo	40
5.2.3.1	Humedad	40
5.2.3.2	pH	40
5.2.3.3	Índice de acidez	41
5.2.3.4	Índice de peróxidos	41
5.2.4	Análisis estadístico	41
5.3	Resultados y discusión	42
5.4	Conclusiones	47
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>50</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

1.	Algunas propiedades de los ácidos grasos poliinsaturados	6
2.	Aspecto, impurezas, peso hectolítrico y tamaño de semillas de chía ( <i>Salvia hispanica</i> ) cultivadas en zonas diferentes de México	21
3.	Composición de las semillas de chía ( <i>Salvia hispanica</i> ) procedentes de diferentes zonas de México (g /100 g)	23
4.	Fracciones de fibra de semillas de chía ( <i>Salvia hispanica</i> )	24
5.	Ácidos grasos de cinco muestras de aceite de chía (g/100 g), relación omega-6/omega-3 comparada con otros datos publicados	31
6.	Cantidades de carne de cerdo, lardo y aceite para elaborar el chorizo (g/100 g de pasta)	39
7.	Fórmula para elaboración de chorizo	39
8.	Cantidades (g/100 g de pasta) de lardo y emulsión del aceite de chía usadas en la elaboración de los tres productos: testigo y tratamientos	42
9.	Cambios en humedad, pH, índices de acidez y peróxidos y grasa de chorizo con formulación tradicional y con sustitución de aceite de semilla de chía durante la maduración (testigo y tratamientos)	43
10.	Cambios del perfil en ácidos grasos (g/100 g), sumatorias de ácidos grasos saturados, ácidos grasos poliinsaturados y relación $\omega_6/\omega_3$ durante la maduración de chorizos (testigo y tratamientos)	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Metodología general	11
2.	Secuencia metodológica para la caracterización de semillas de chía	15
3.	Secuencia metodológica para determinar el perfil en ácidos grasos del aceite de semillas de chía	28
4.	Cromatograma del estándar de ácidos grasos (mezcla de 37 compuestos)	30
5.	Cromatograma de la muestra M3A	34
6.	Cromatograma de la muestra MCo	35
7.	Secuencia metodológica para evaluar el efecto de la inclusión de aceite de chía en la maduración del chorizo	38
8.	Cromatograma de una muestra testigo	48
9.	Cromatograma de una muestra tratamiento al 10%	49

## **ANEXOS**

1.	Materiales, equipos y reactivos usados en la metodología general	57
2.	Materiales, equipos y reactivos usados para cumplir el objetivo específico 1 (Composición de la semilla de chía)	58
3.	Materiales, equipos y reactivos usados para cumplir el objetivo específico 2 (Perfil de ácidos grasos en aceite de chía)	60
4.	Materiales, equipos, insumos y reactivos usados para cumplir el objetivo específico 3 (Chorizo adicionado con aceite de chía)	61

## **ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS**

1.	Equipo Soxhlet para extracción de grasa	12
2.	Cromatógrafo de gases con detector de ionización de flama	12
3.	Muestras de semilla de chía	14
4.	Evaporador rotatorio	28
5.	Preparación de ésteres metílicos de los ácidos grasos	28
6.	Aceite de chía para elaborar el chorizo	30
7.	Insumos para elaborar la emulsión	40
8.	Insumos para elabora el chorizo	40
9.	Chorizo testigo	42
10.	Chorizo tratamiento 10%	42
11.	Chorizo tratamiento 20%	43

## INTRODUCCIÓN

La semilla de chía (*Salvia hispanica*) era un alimento que se usaba en las culturas mesoamericanas y se preparaba de diferentes maneras. Luego de la conquista y durante la época colonial cayó en desuso, ya que los aztecas lo utilizaban como medicina y en rituales religiosos; pero se reinició y se intensificó su consumo en el siglo XX. Además se inició el estudio de sus propiedades nutrimentales como el contenido de ácidos grasos (AG) poliinsaturados  $\omega$ -3, proteína, fibra y antioxidantes (Ayerza, 2002). Además se incrementó el estudio de los beneficios que tienen los ácidos grasos poliinsaturados  $\omega$ -3 para la especie humana y varias estrategias para aprovechar este recurso natural no convencional.

Se ha utilizado la semilla de chía entera y su harina para elaborar algunos productos como bebidas, panes, pasteles, galletas, mermeladas y confites. Desde 2006, Langman *et al.*, han realizado experimentos para obtener carne de pollo con aroma agradable al consumidor mezclando el alimento para los pollos con semillas de chía y recientemente han obtenido buenos resultados en el perfil de ácidos grasos  $\omega$ -3.

Por otro lado se han elaborado productos alimenticios adicionados con ácidos grasos  $\omega$ -3 provenientes de fuentes como el aceite de pescados, linaza y otros granos. Ejemplos de algunos son: productos de panificación, derivados lácteos, cárnicos como jamón y salchicha.

En España se han desarrollado diversos productos adicionados con ácidos grasos poliinsaturados ( $\omega$ -3) incorporando fuentes como aceites de linaza y algas (Valencia *et al.*, 2006 y 2007), pero no de semillas de chía.

Se desconoce la composición química de variedades de chía (*Salvia hispanica*) originarias de la región Occidental y del Altiplano Mexicano, así como su posible aporte de ácido  $\alpha$ -linolénico para la dieta humana. Además de la aplicación como ingrediente del aceite de chía en productos cárnicos, que puede mejorar el perfil de ácidos grasos poliinsaturados como los ácidos grasos  $\omega$ -3 y la relación de ácidos grasos  $\omega$ -6/ $\omega$ -3, que lleve a obtener un nuevo producto que ofrezca beneficios para mantener la salud y prevenir enfermedades crónico-degenerativas en la población mexicana.

Si el contenido de ácido  $\alpha$ -linolénico ( $\omega$ -3) en muestras de semillas de chía procedentes de los estados de Jalisco, Puebla, Morelos y Distrito Federal se encuentra en los rangos informados por la literatura publicada y si su adición en un derivado cárnico como el chorizo no influye significativamente en sus características físicas y químicas entonces podría ofrecerse al consumidor un nuevo producto adicionado con ácidos grasos  $\omega$ -3.

Este trabajo tiene como objetivo principal determinar las características fisicoquímicas de cinco variedades de chía (*Salvia hispanica*) y el efecto de la adición de su aceite en la elaboración de chorizo.

**Capítulo 1**  
**ANTECEDENTES**

## 1.1 Semillas de chía

En tiempos precolombinos se generalizó la producción y consumo de semillas de chía. En los códices Mendocino y Matrícula de los Tributos del siglo XVI, se encuentra información acerca del uso de la semilla, tanto para consumo humano como una forma de pago de tributo en la antigua Tenochtitlan (Cahill, 2003), formó parte de la dieta de pueblos avanzados como el Azteca, Purépecha y Maya, entre otros (Thomas, 2004). Uno de los usos principales fue para hacer pinole o bien este mismo se preparaba posteriormente como atole (Cahill, 2003).

La chía es una planta anual de verano (cultivo cíclico). Ésta se distribuye en las áreas montañosas que se extienden desde el norte de México hasta el norte de Guatemala (Rose-Hulman Institute of Technology, 2002; Hentry *et al.*, 1990). Las variedades silvestres de semilla de chía en México crecen en bosques de juníperos, bosque mixto, pino, encino y pastizales; este tipo de planta se encuentra en clima templado subhúmedo con lluvias en verano (Beltrán-Orozco y Romero, 2003; Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2008).

La planta de la chía mide aproximadamente un metro de altura, tiene tallos cuadrangulares; sus hojas son ovaladas y dentadas y miden alrededor de 10 cm de largo. Las flores van de color azul a morado. Las semillas miden aproximadamente 2 mm de largo y son de color negro, café, blanco o gris (Rosado y Salazar, 2005; Fuentenatura.com, 2008).

El Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) de México del 2001 a 2003 reportó un incremento en el cultivo de la chía cercano a 900 toneladas en el estado de Jalisco. Sin embargo en el período de 2003 a 2005 comenzó a descender la producción, pero a partir del ciclo de 2005-2006 se inicia la recuperación de la misma (37,5 Ton).

En Puebla está considerado como un cultivo con potencial de producción (Edo. de Puebla, 2008) y en el Estado de Morelos esta semilla forma parte de una cadena productiva secundaria, sin embargo no se han encontrado estadísticas de producción recientes.

Estudios realizados en la Universidad de Tucson, Arizona, para variedades de chía originarias del sur de E. U. revelan los siguientes contenidos nutrimentales:

- \* Lípidos (32-39%)
- \* Proteínas (19-23%)
- \* Fibra (50-60%)
- \* Otros compuestos (antioxidantes, vitaminas y minerales) (Ayerza, 2002).

Se ha encontrado que la chía también contiene sustancias antioxidantes como los ácidos clorogénico y cafeínico, mircetina, quercetina y otros flavonoides. Estos antioxidantes pueden darle mayor estabilidad a las grasas y explica porque los Aztecas pudieron

comercializar semillas y harina por largos períodos de tiempo sin que hubiera rancidez en el producto (Cahill, 2003).

Algunos de los beneficios de la chía demostrados en estudios realizados por diversos investigadores son:

- Es el recurso vegetal terrestre más rico en AG  $\omega-3$
- A diferencia de los recursos de origen marino (pescado, algas y otros) no tiene olor objetable por los consumidores
- No contiene colesterol
- Su contenido en sustancias antioxidantes naturales impide su oxidación rápida
- Hasta ahora no se les han detectado sustancias antinutritivas o tóxicas
- El contenido en ácidos grasos saturados (mirístico, palmítico y esteárico) es muy bajo
- En la actualidad pueden considerarse dentro de los cultivos “sustentables y ecológicos”
- Se pueden almacenar por varios años sin alterarse
- Pueden adicionarse en forma de granos, harina o aceite en los alimentos (Ayerza y Coates, 2006; Bushway *et al.*, 1984).

## 1.2 Grasas y aceites

Las grasas y los aceites están constituidos por lípidos llamados triacilglicéridos, los que a su vez, son ésteres de ácidos grasos (AG) con glicerol. Se definen como sustancias naturales insolubles en agua, pero solubles en solventes no polares, sin embargo, se ha mantenido esta definición debido a que esta sustancia a pesar de sus diferencias químicas posee características comunes en lo referente a sus actividades biológicas (Badui, 1990; Coronado *et al.*, 2006).

Desde hace más de 50 años, se han introducido aceites vegetales en la dieta humana, la mayoría provenientes de granos (maíz, soya, cártamo, ajonjolí, algodón) ricos en AG  $\omega-6$  como el linoleico. La fracción más abundante en los aceites de los granos oleaginosos son los triglicéridos debido a que es la principal forma de almacenamiento de los lípidos. La producción de aceites en el siglo XX se volvió más eficiente y económica con el empleo de tecnologías como la hidrogenación y el uso de prensas (Vega *et al.*, 2007).

En un estudio realizado en cinco marcas de aceite comercializadas en la Cd. de México se encontró que ninguna es fuente de ácidos  $\omega-3$  (Vega *et al.*, 2007), pero en algunos aceites se encontraron AG  $\omega-9$ , que de acuerdo con Simopoulos (2002) se transforma mediante procesos bioquímicos celulares en AG  $\omega-3$  hasta en un 25%, tal es el caso del aceite de oliva que no es una fuente de AG  $\omega-6$ , sino del ácido oleico un ácido  $\omega-9$ , además es bajo en ácidos grasos saturados. El ácido oleico no compite con el ácido  $\alpha$ -linolénico ( $\omega-3$ ) durante los procesos bioquímicos celulares de desaturación y elongación, ni con la incorporación de ácidos  $\omega-3$  en los fosfolípidos de las membranas celulares (Simopoulos,

1999), por lo que dicho aceite se considera al igual que el  $\alpha$ -linolénico más saludable que los ácidos  $\omega$ -6.

Algunas de las principales fuentes de AG  $\omega$ -3 son: algas marinas, aceite de pescado, algunas semillas como linaza, soya y chía (Castro-González, 2002).

### 1.2.1 Ácidos grasos

Los ácidos grasos (AG) se definen cómo ácidos monocarboxílicos de cadena alifática generalmente con número par de átomos de carbono, que pueden ser saturados o insaturados, pero actualmente con las diferentes técnicas de análisis, se sabe que pueden ser cíclicos o ramificados, entre otros (Badui, 1990).

Los AG son unidades que forman las grasas y se clasifican dependiendo de las dobles ligaduras que tiene en su cadena. A los que no tiene dobles ligaduras se les conoce como AG saturados, a los que tiene una doble ligadura se les conoce como AG monoinsaturados y a los que tiene dos o más dobles enlaces se les conoce como AG poliinsaturados, a los que pertenecen los  $\omega$ -3, los cuales presentan una doble ligadura entre los carbonos 3 y el 4 (Coronado *et al.*, 2006; Castro-González, 2002).

Para determinar la composición de AG en un alimento, en primer lugar se hidroliza la grasa (saponificación) con una solución alcalina. Los ácidos grasos se liberan de sus sales (jabones) por acidificación. Resulta difícil la determinación de los distintos ácidos grasos de la mezcla mediante reacciones químicas, debido a la similitud de la mayoría de los ácidos. Solo existen reacciones específicas para unos pocos ácidos. Lo más adecuado resulta, entonces, el empleo de técnicas fisicoquímicas, como cromatografía gas-líquido (CGL) y cromatografía en capa delgada. Para ser sometidos al análisis por CGL, los AG de la mezcla deben convertirse primero en derivados más volátiles, generalmente ésteres metílicos (Badui, 1999).

### 1.2.2 Ácidos grasos omega 3

Los AG indispensables son un grupo de compuestos que no pueden ser sintetizados por el organismo humano y tiene que ser consumidos en los alimentos. Algunos de estos AG poliinsaturados son los ácidos  $\alpha$ -linolénico, ácido eicosapentaenoico (AEP) y ácido docohexaenoico (ADH). La tabla 1 muestra algunas propiedades de los AG  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6.

**Tabla 1**  
**Algunas propiedades de los ácidos grasos poliinsaturados**

Nombre sistemático	Nombre trivial	Símbolo corto	Peso molecular	PF (°C)
9,12 – octadecadienoico	Linoléico	18:2 (n-6)	280,4	- 5
9,12,15 – octadecatrienoico	$\alpha$ -linolénico	18:3 (n-3)	278,4	- 11
5,8,11,14,17 – eicosapentaenoico	EPA	20:5 (n-3)	302,5	- 54
4,7,10,13,16,19 – docohexaenoico	DHA	22:6 (n-3)	328,6	- 44

Fuente: Coronado *et al.*, 2006.

PF: Punto de fusión

El ácido  $\alpha$ -linolénico es considerado el precursor de la familia de los AG  $\omega$ -3, se encuentra principalmente en semillas y hortalizas. Se ha considerado benéfico para la salud humana (Ayerza, 2002) ya que varios estudios han mostrado que evita fallos cardiovasculares, disminuye la presión sanguínea en hipertensos y niveles de triglicéridos y colesterol sanguíneo. También se ha podido observar que disminuyen los procesos inflamatorios, la resistencia a la insulina, los problemas mentales (esquizofrenia, depresión) y es útil en la prevención de ataques cardíacos y de esclerosis múltiple (Evennett, 2000).

Logan (2003) demostró que en los últimos 100 años el aumento de la depresión en la población de los Estados Unidos está asociado con el bajo consumo de alimentos que contengan AG  $\omega$ -3. Aproximadamente el 20% del peso seco del cerebro son AG poliinsaturados y de éstos uno de cada tres son  $\omega$ -3. Algunos de los padecimientos asociados con la ausencia en AG  $\omega$ -3 en el cerebro son Alzheimer, déficit de atención, autismo, desorden bipolar, hostilidad y ansiedad. Además, en experimentos realizados con infantes prematuros se ha demostrado que la función retinal se ve afectada cuando hay deficiencia en la ingesta de AG  $\omega$ -3.

Desde hace unos años, se han buscado materias primas para incorporar AG  $\omega$ -3 en alimentos, principalmente para consumo humano. En el mercado pueden encontrarse pan, derivados de panadería, cereales para desayuno, galletas, aderezos y otros alimentos en los cuales se han incorporado semillas de linaza (*Linum usitatissimum L.*) y sus derivados (harinas y aceites) como fuentes de ácido  $\alpha$ -linolénico.

Otra vía para incorporar ácidos  $\omega$ -3 en los alimentos, es a través de la alimentación de los propios animales. Con ello se puede incorporar aceites de algas y pescados, pero también es posible rescatar alimentos tradicionales americanos no convencionales como las semillas de chía. Por ejemplo en el caso de gallinas ponedoras se puede incluir en la dieta aceite de chía que contiene ácido  $\alpha$ -linolénico y con ello adicionar este AG  $\omega$ -3 en huevos para consumo de la población mexicana (Vega *et al.*, 2007).

En diversos estudios se ha adicionado aceites de pescados diversos y de linaza en el alimento para las aves para aumentar la cantidad de AG  $\omega$ -3 en huevos de gallina (Ayerza, 2002). Solo que los aceites de pescado han presentado como inconvenientes que su composición no es uniforme y ésta puede variar de acuerdo con el tipo de organismo marino de procedencia, del grado de hidrogenación del aceite y también es afectado el contenido de AG de acuerdo con la estación del año y lugar de la pesca (Valenzuela, 1999).

También se sabe que cuando el aceite proviene de hígado de pescado, el alimento para aves contiene una mayor cantidad de vitamina A y que el exceso de ésta antagoniza el metabolismo de la vitamina E en pollos y otros animales (MacGuire *et al.*, 1997).

En varios informes se ha dado a conocer que si en el alimento para aves se incluye más de 1,5 % de aceite de pescado, disminuye la aceptación de huevos por parte del consumidor ya que el producto adquiere sabores y olores desagradables (Abril *et al.*, 2000; Ayerza y Coates, 2002 y 2006).

Es importante mencionar que los AG AEP y ADH forman hidroperóxidos, ya que se cree que éstos y sus productos de degradación secundaria son dañinos para las células (Shimada *et al.*, 1994). Por lo que el ADH y el AEP se oxidan más rápidamente que el ácido  $\alpha$ -linolénico y araquidónico y se convierten en productos de oxidación tóxicos.

En la dieta humana debe existir un equilibrio en el consumo de AG  $\omega$ -6 y  $\omega$ -3. La relación entre éstos debe ser 1:1, pero actualmente puede llegar hasta 20:1 dependiendo de la dieta que se tenga. La OMS recomienda una proporción de 5:1-10:1. Japón sugiere una relación 2:1 a 4:1 (Castro-González, 2002).

### **1.3 Chorizo**

El chorizo es un tipo de embutido, procedente de España, que es elaborado con carne y grasa de cerdo (lardo), que es uno de los componentes mayoritarios de éste tipo de embutidos, además de especias. En algunas ocasiones se menciona al chorizo como salchicha fermentada. Se tiene conocimiento que la elaboración de embutidos fue iniciada alrededor del año 1500 A.C. en el área Mediterránea (griegos, babilonios y romanos) (Franco *et al.*, 2004).

Se han realizado diversos estudios, principalmente en la Universidad de Navarra, donde se ha sustituido una porción de la grasa animal por aceite vegetal en la elaboración de diversos embutidos y se han evaluado los cambios que sufren dichos productos en sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales (Muguerza *et al.*, 2003).

Valencia *et al.*, (2006a) estudiaron la variación de las propiedades nutrimentales y sensoriales de salchichas secas fermentadas y salchichas convencionales al ser adicionadas con AG poliinsaturados  $\omega$ -3 provenientes de aceite de pescado. Ninguno de los derivados

de la oxidación de lípidos (dienos y trienos) se encontraron en algún tipo de salchichas, testigo o tratamientos. Además no se hallaron diferencias significativas en la evaluación sensorial de los productos.

Muguerza *et al.*, (2003) realizaron un estudio sustituyendo una parte de la grasa del chorizo (15, 20 y 25%) por aceite pre-emulsionado de soya y encontraron que no hubo diferencias significativas en la disminución del contenido de colesterol (92,96 mg/100 g en el control contra 87,71 mg/100 g en el tratamiento con 25% de sustitución); aumentó la cantidad de ácidos poliinsaturados de 15,22 mg/100 g del control a 23,96 g/100 g de AG totales en el tratamiento con sustitución del 25%. Por otro lado en el análisis del perfil de textura (dureza y elasticidad) así como la evaluación sensorial y el color no hubo diferencia significativa.

En otro estudio realizado por Muguerza *et al.*, (2004) donde elaboraron un producto control con 0,01 g de AEP y 0,03 g de ADH y los productos modificados con 0,15 g y 0,13 g para el rango inferior de adición y 0,33 g y 0,26 g, de AEP y ADH respectivamente, para rango alto de adición. Se encontró una disminución en la relación de ácidos  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 de 16,14 en el control a 7,78 en el lote A y 5,32 en el lote B; lo que demostró que dichos productos adicionados con ácidos grasos  $\omega$ -3 ofrecen, una relación más cercana a 5 definida como muy aceptable en la alimentación humana (Simopoulos, 1999).

## **1.4 Cromatografía**

### **1.4.1 Historia de la Cromatografía**

La cromatografía se originó en la época de los egipcios y mayas donde los sacerdotes seleccionaban sustancias coloridas, extraídas de los tallos de los girasoles y los papiros. Con el paso del tiempo esto se fue perdiendo. A principios del siglo XX resurgió la cromatografía por investigadores como Tsweet (1906) el cual utilizó una columna de alúmina para separar los pigmentos coloreados de las hojas y Talbot; en 1931 Kuhn redescubrió la técnica y Martin (1952) fue reconocido como el creador de la columna cromatográfica de gases y de la cromatografía de alta resolución ya que separó una mezcla de AG (Storch, 1974; Espinosa, 1988). En 1954 se comercializó el primer cromatógrafo de gases en el mercado; el cual, fue aceptado rápidamente como un instrumento para el análisis químico de sustancias tanto para la industria como en la investigación (Dabrio, 1979).

### **1.4.2 Fundamento de la cromatografía gaseosa**

El principio común de todas las técnicas cromatográficas es el siguiente: Un fluido circula a través de una fase estacionaria; cuando una mezcla de sustancias se conduce en el sistema, se produce una serie de equilibrios de distribución entre las dos fases, por lo regular de distinta magnitud para cada componente de la mezcla, y esto conlleva a que cada uno de ellos se desplace con diferente velocidad a lo largo del sistema; los

componentes más afines a la fase estacionaria permanecerán en el interior del sistema mayor tiempo que los compuestos menos afines, que eluirán del sistema más rápidamente (Dabrio, 1979; Noa *et al.*, 2005). La fase estacionaria puede ser un sólido o líquido viscoso. La fase móvil está integrada por la mezcla a separar contenida en un gas inerte que sirve para llevar en sí o empujar la mezcla y los componentes separados, que recibe el nombre de gas acarreador (Noa *et al.*, 2005).

#### **1.4.3 Detector de ionización de flama**

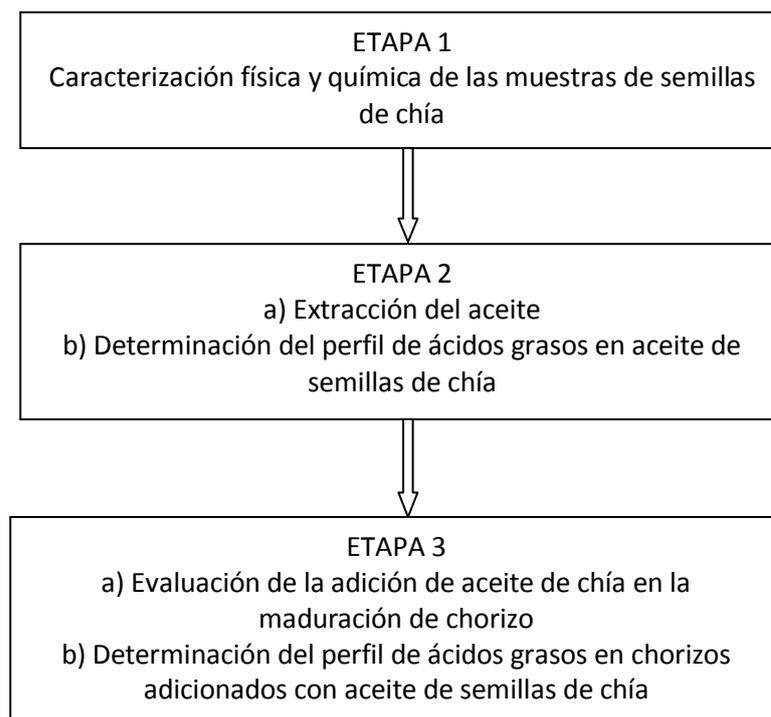
El detector de ionización de flama (FID por sus siglas en inglés) es un dispositivo que permite cambiar una propiedad física en una señal eléctrica. El FID responde ante los compuestos que sean capaces de producir iones al quemarse en una flama de hidrógeno-aire. Esto comprende a casi todos los compuestos orgánicos dentro de los cuales se incluyen a los AG poliinsaturados.

**Capítulo 2**  
**METODOLOGÍA GENERAL**

## 2.1 Esquema general de la metodología

En el trabajo experimental de la tesis se realizaron tres etapas: 1) Caracterización física y química de las muestras de la semilla de chía, 2) Determinación del perfil en ácidos grasos del aceite de chía y 3) Evaluación del efecto de adicionar aceite de chía en la maduración de chorizo. A continuación se presentan en un diagrama el trabajo experimental de esta investigación.

**Figura 1**  
**Metodología general**



### 2.1.1 Toma de muestras y su almacenamiento

Dos kilogramos de cada muestra de semilla de chía se consiguieron en mercados públicos de la Cd. de México, D.F., su procedencia de acuerdo a la información recabada con los comerciantes fue de los Estados de Puebla (M1), Morelos (M2), Jalisco (M3A y M3B) y el Distrito Federal (MCo). Una vez transportadas al laboratorio, se almacenaron en frascos de cristal limpios y libres de polvo.

### 2.1.2 Extracción de grasa en equipo Soxhlet

Se pesaron 10 g de muestra previamente preparada en un papel filtro Whatman No. 1, se cerró para formar un paquete. Se encendió el sistema de recirculación de agua. Se colocó en el tubo de extracción la muestra. En un matraz bola de 250 mL se adicionaron 200 mL

de éter de petróleo y se montó el sistema. Se encendió la parrilla y se tomó el tiempo de extracción (4 horas) a partir de que recirculó por primera vez el solvente. Transcurrido el tiempo se apagó y se dejó enfriar por 20 min. Se preparó un embudo con papel filtro y con 2 g de sulfato de sodio anhidro en donde se filtró la mezcla de éter con la grasa extraída. El filtrado se evaporó para eliminar la mayor cantidad de solvente posible y se pasó a un vial limpio con una pipeta Pasteur para luego almacenarse a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  (López *et al.*, 2005). Esta técnica se empleó para la extracción de grasa para cumplir las etapas 2 y 3 de este trabajo.

### 2.1.3 Cromatografía de gases con detector de ionización de flama

Para determinar el perfil de AG del aceite de semillas de chía y de la grasa de los chorizos se utilizó un cromatógrafo de gases Varian 3400 con detector de ionización de flama (FID) acoplado a un sistema de manejo de datos Galaxie Chromatography Workstation. La separación de los AG metilados se realizó en una columna VF-23 de  $60\text{ m} \times 0,25\text{ mm} \times 0,25\text{ mm}$ , empleando como gas acarreador nitrógeno a una presión de cabeza de la columna de 20 psi (0,136MPa). Las condiciones de operación del cromatógrafo de gases fueron:

Temperatura inicial:  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura final:  $260\text{ }^{\circ}\text{C}$

Tiempo de equilibrio: 2 min.

Tiempo inicial: 5 min.

Rango:  $4\text{ }^{\circ}\text{C} / \text{min}$ .

Tiempo total: 50 min.

**Nota:** En el anexo 1 se encuentra descrito el material, equipo y reactivos empleados para realizar cada una de las técnicas antes citadas.



Fotografía 1

Equipo Soxhlet para extracción de grasa



Fotografía 2

Cromatógrafo de gases con detector de ionización de flama

**Capítulo 3**  
**COMPOSICIÓN DE SEMILLAS DE CHÍA**

### 3.1 Introducción

En todo el mundo, el ser humano ha consumido granos como la cebada, arroz y trigo desde tiempos remotos. México no es la excepción, ya que desde tiempos precolombinos utilizaron el maíz y las semillas de chía, que son fuentes de nutrientes, compuestos bioactivos y en la actualidad tienen aplicación en el desarrollo de alimentos funcionales (Manríquez, 2008). Además es importante aprovechar los recursos naturales, que representan para los países con alta biodiversidad un punto fundamental en su desarrollo (Rosado y Salazar, 2005).

Por eso, ha aumentado el interés por estudiar la composición física y química de semillas no convencionales como la chía (*Salvia hispanica*) que es nativa de México, considerada como producto “nicho”, ya que se estima como una alternativa en la alimentación humana y animal. Actualmente se cultiva en países como Argentina, Bolivia y Estados Unidos (Rosado y Salazar, 2005). Para cultivarla se requiere de un clima tropical o subtropical con suelos arcillosos o arenosos; la planta resiste enfermedades, plagas y sequías (Beltrán y Romero, 2003). La chía ha tenido, además, varios usos (cosmético, alimenticio, artesanal), tanto la semilla completa como su aceite o harina.

Se conoce la composición química de las semillas de chía en variedades del sur de los Estados Unidos y Argentina. En nuestro país, sin embargo, no se han estudiado en muestras cultivadas en los Estados de Puebla, Morelos, Distrito Federal y Jalisco, por lo que este trabajo tiene por objetivo determinar las características fisicoquímicas de variedades de chía (*Salvia hispanica*), procedentes de esas regiones del país.

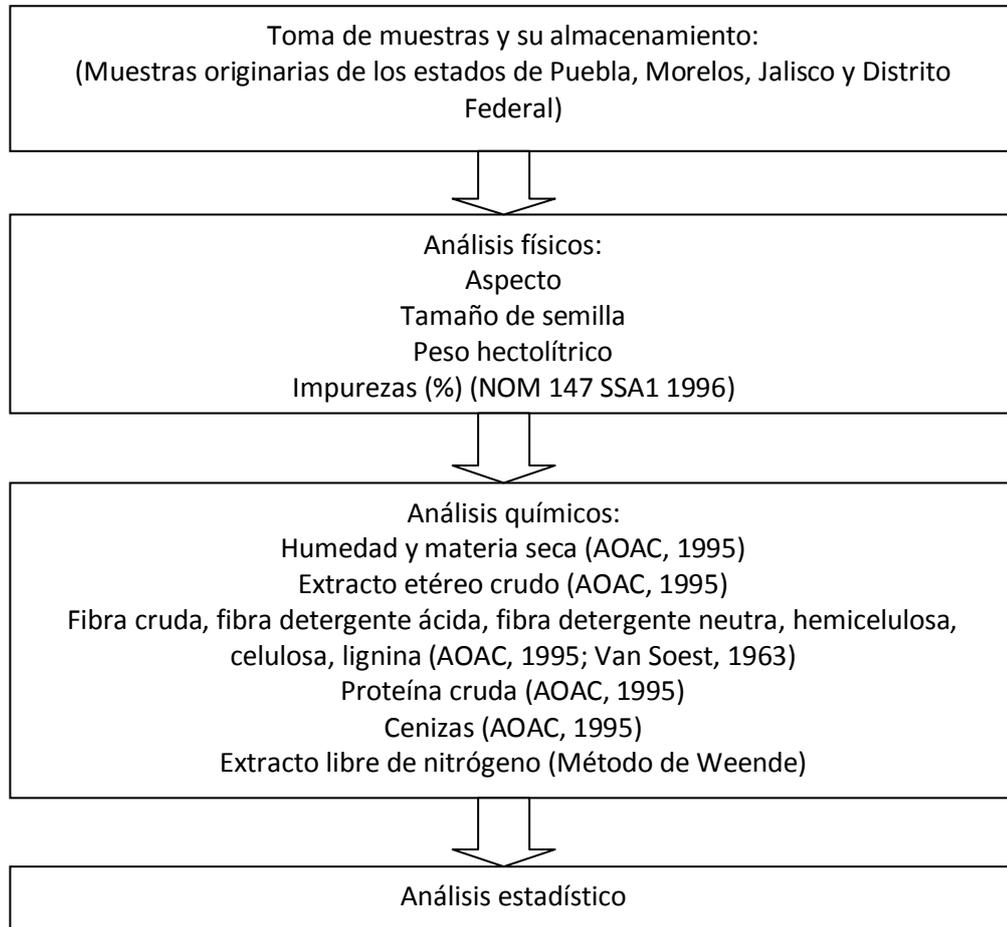


Fotografía 3  
Muestras de semilla de chía

### 3.2 Métodos y materiales

A continuación se presenta la secuencia metodológica para la caracterización fisicoquímica de las muestras de semilla de chía.

**Figura 2**  
**Secuencia metodológica para la caracterización de muestras de semillas de chía**



#### 3.2.1 Análisis físicos

A continuación se describen la técnica de cada uno de los parámetros que se estudiaron.

##### 3.2.1.1 Impurezas

Se pesaron en una balanza digital las muestras. Luego se procedió a determinar, mediante observación, características como color, presencia de impurezas y homogeneidad de las semillas. Se realizó la limpieza de las muestras, separando materias extrañas como piedras, hojas, varas, y algún otro cuerpo extraño que se encontraban en la muestra. Se

cuantificó por diferencia (gravimétricamente) el contenido y posteriormente el porcentaje de impurezas y de granos limpios (Álvarez *et al.*, 2008).

### **3.2.1.2 Peso hectolítrico**

Se pesaron 10 g de semillas de chíá por triplicado, se vertieron en una probeta de 25 mL y se observó el volumen que ocuparon. Los datos obtenidos se transformaron a las unidades Kg/ hL (AACC, 1995).

### **3.2.1.3 Tamaño de semilla**

Se pesaron por triplicado, 100 g de las muestras y se colocaron en cribas (No. 16, 18 y 20) y fondo de metal para ser tamizadas. Posteriormente se pesaron por separado cada una de las fracciones de semillas que quedaron en cada una de las mallas y el fondo (Pérez *et al.*, 2006).

## **3.2.2 Análisis químicos**

A continuación se describen cada una de las técnicas de los parámetros analizados (AOAC, 1995).

### **3.2.2.1 Preparación de las muestras**

Las muestras de semilla de chíá se trituraron en un molino. Posteriormente sub-muestras de 100 g se pesaron y se colocaron en cribas y fondo de metal para ser tamizadas. Después se pesaron en balanza digital las sub-muestra que quedaron sobre cada una de las cribas y el fondo.

### **3.2.2.2 Materia seca y humedad**

La muestra de 100 g se puso en una estufa a temperatura de 60°C, durante 24 horas. Se enfrió en un desecador por 20 minutos y se pesó en una balanza semianalítica. La muestra seca se almacenó en envases plásticos etiquetados. Las fórmulas para realizar los cálculos de humedad y de materia seca fueron:

$$Paev = Pchmi - Pchmf$$

Donde:

Paev: Peso del agua evaporada (g)

Pchmi: Peso de la charola con muestra inicial (g)

Pchmf: Peso de la charola con muestra final (g)

$$\% \text{ Humedad} = [\text{Peso del agua evaporada (g)}] / [\text{Peso de la muestra (g)}] \times 100$$

$$\% \text{ Materia seca} = 100 - \% \text{ Humedad}$$

### 3.2.2.3 Extracto etéreo

Se pesaron 2 g de la muestra seca que se empacó cuidadosamente en papel filtro. Se colocó el paquete de muestra dentro del cartucho, se adicionaron 40 mL de éter de petróleo. Se realizó la extracción durante 4 horas, luego se evaporó el éter de petróleo sobrante y posteriormente fue secado en estufa a una temperatura de 100 °C por 5 min. Se enfrió el vaso en un desecador. Se pesó el vaso y se procedió a obtener los cálculos siguientes:

$$\text{Peso grasa (g)} = [\text{Peso vaso c/ grasa (g)}] - \text{Peso vaso vacío (g)}$$

$$\% \text{ Grasa cruda (bs)} = [\text{Peso grasa (g)} / \text{Peso muestra (g)}] \times 100$$

$$\% \text{ Grasa cruda (bh)} = [\% \text{ Grasa (bs)} \times \% \text{ Materia seca}] / 100$$

bs: base seca

bh: base húmeda

### 3.2.2.4 Fibra

De la muestra desgrasada y seca se pesó, por triplicado, un gramo en papel copia, se colocó en el vaso Berzelius y se agregaron 200 mL de ácido sulfúrico al 0,255 N y se colocó en el digestor por 30 min. Posteriormente se filtró la muestra usando agua caliente. Se colocó la muestra en el vaso nuevamente y se agregaron 200 mL de hidróxido de sodio 0,313 N. Se dejó por 30 min., se filtró sobre tela de algodón la muestra y se dobló dos veces a la mitad para secarla en estufa a 60 °C por 12 horas. Se enfriaron las muestras en desecador, se pasaron a un crisol, se pesaron y después se metieron a mufla por 1 hora y 30 min., a una temperatura de 600 °C. Se dejó enfriar, se pesó y se procedió a calcular lo siguiente:

$$\text{Peso fibra (g)} = [\text{P crisol c / muestra antes (g)}] - [\text{P crisol c/ muestra después}]$$

$$\% \text{ FCSyD} = [\text{Peso fibra (g)} / \text{Peso muestra (g)}] \times 100$$

$$\% \text{ Fibra cruda (bs)} = [\% \text{ FCSyD} \times (100 - \% \text{ Grasa bs})] / 100$$

$$\% \text{ Fibra cruda (bh)} = [\% \text{ Fibra cruda (bs)} \times \% \text{ Materia seca}] / 100$$

P: Peso

FCSyD: Fibra cruda seca y desgrasada

bs: base seca

bh: base húmeda

### 3.2.2.5 Proteína

Submuestras de un gramo se pesaron por triplicado, se envolvieron y colocaron en un matraz Kjeldahl, se adicionaron 10 g de mezcla catalizador, 25 mL de ácido sulfúrico concentrado y cinco perlas de vidrio. Se colocaron en el digestor hasta que la solución se tornó color verde brillante transparente. Se dejó enfriar el matraz en una campana, se adicionaron 300 mL de agua destilada, 0,5 g de zinc y 100 mL de hidróxido de sodio al 33 %. Se colocó el matraz al digestor y se calentó hasta colectar en un matraz Erlenmeyer con 30 mL de ácido bórico al 4 % y 3 gotas de indicador de proteínas, un volumen de 250 mL. Se tituló el destilado con ácido clorhídrico 0,1 N hasta que la solución viró a color rosa. Los cálculos fueron los siguientes:

$$\% \text{ Nitrógeno} = (V) (N) (m \text{ eq}) (100) / \text{Peso muestra (g)}$$

$$\% \text{ Proteína (bs)} = (V) (N) (m \text{ eq}) (\text{Factor}) (100) / \text{Peso muestra (g)}$$

Donde:

V = volumen gastado de ácido clorhídrico en la titulación

N = Normalidad real del ácido clorhídrico

m eq = miliequivalentes del nitrógeno (0,014)

Factor = Factor del nitrógeno para convertir a proteínas

= 6,25 para la mayoría de los alimentos

= 5,70 para trigo y granos varios

$$\% \text{ Proteína cruda (bh)} = [\% \text{ Proteína cruda (bs)} \times \% \text{ Materia seca}] / 100$$

### 3.2.2.6 Cenizas

En un crisol a peso constante se pesó un gramo de muestra por triplicado, y se colocaron en mufla a 600 °C por 2 horas 30 min. Se enfrió el crisol en desecador para finalmente pesarlo y se realizaron los siguientes cálculos:

$$\text{Peso cenizas} = \text{Peso crisol con cenizas} - \text{Peso crisol vacío}$$

$$\% \text{ Cenizas (bs)} = [\text{Peso cenizas} \times 100] / \text{Peso muestra}$$

$$\% \text{ Cenizas (bh)} = [\% \text{ Cenizas bs} \times \% \text{ Materia seca}] / 100$$

$$\% \text{ Materia orgánica} = 100 - \% \text{ Cenizas (bs)}$$

### 3.2.2.7 Extracto libre de nitrógeno

Se obtuvo a través de un cálculo matemático.

$$\% \text{ ELN (bs)} = 100 - (\% \text{ PC} + \% \text{ GC} + \% \text{ F} + \% \text{ C})$$

$$\% \text{ ELN (bh)} = [\% \text{ ELN (bs)} \times \% \text{ Materia seca}] / 100$$

Donde:

ELN (bs) = Extracto libre de nitrógeno base seca

% PC = Proteína cruda en base seca

% GC = Grasa cruda en base seca

% F = Fibra en base seca

% C = Cenizas en base seca

bh = base húmeda

### 3.2.2.8 Fibra detergente neutra (FDN)

Una muestra de 0,5 g se pesó y colocó en un vaso digestor, se le adicionaron 50 mL de solución detergente neutra y se puso a hervir durante una hora, después se filtró la muestra usando agua caliente y se secó en la estufa a 60 °C por 12 horas. Se enfrió la muestra en un desecador y se procedió a pesar y a realizar los siguientes cálculos:

$$\% \text{ Paredes celulares} = (\text{Peso muestra seca final}) \times (100) / \text{Peso muestra inicial}$$

$$\% \text{ Contenido celular} = 100 - \% \text{ Paredes celulares}$$

### 3.2.2.9 Fibra detergente ácida (FDA) y porcentaje de hemicelulosa

Se pesaron 0,3 g de muestra, se colocaron en un tubo digestor y se añadieron 30 mL de solución detergente ácida. Se calentó el tubo durante una hora, después se filtró la muestra en el crisol Goch. Éste se colocó en la estufa a 100 °C por 12 horas. Se enfrió y se pesó. Los cálculos fueron los siguientes:

$$\text{Peso fibra final} = \text{Peso crisol más muestra final} - \text{Peso crisol inicial}$$

$$\text{Fibra detergente ácida} = (\text{Peso fibra final}) \times (100) / \text{Peso de la muestra inicial}$$

$$\% \text{ Hemicelulosa} = \text{Fibra detergente neutra} - \text{Fibra detergente ácida}$$

### 3.2.2.10 Celulosa

Cada crisol Goch de la técnica anterior, se colocó en un recipiente con agua y se le adicionó ácido sulfúrico al 72 % en cantidad suficiente cubriendo completamente la muestra por tres horas. Se agitó cada hora adicionando reactivo para mantener el nivel. Se filtró la muestra y el crisol se colocó en la estufa a 100 °C por 12 horas. Posteriormente se enfrió en un desecador y se pesó para realizar los cálculos siguientes:

Peso muestra seca final = [Peso crisol c/ muestra inicial] – [Peso crisol c/ muestra final]

% Celulosa = [(Peso muestra seca final) X (100)] / Peso muestra inicial

### 3.2.2.11 Lignina

El crisol usado en la técnica anterior, se puso en la mufla a una temperatura de 550 °C durante 2 horas y 30 min., posteriormente se dejó enfriar para pesarlo. Finalmente el crisol se lavó y se colocó en la estufa para ponerlo a peso constante. Los cálculos fueron los siguientes:

Peso lignina = Peso crisol inicial – Peso crisol final

% Lignina = [(Peso lignina) X (100)] / Peso muestra inicial

**Nota:** En el anexo 2 se encuentra descrito el material, equipo y reactivos empleados para realizar cada una de las técnicas antes citadas.

### 3.2.3 Análisis estadístico

Después de obtener los resultados de cada uno de los parámetros se procedió a realizar un análisis de varianza y posteriormente prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), utilizando el software SPSS versión 15,0.

### 3.3 Resultados y discusión

#### 3.3.1 Análisis físico de las semillas de chíá

El aspecto, porcentaje de impurezas, peso hectolítrico y el tamaño de las semillas de chíá se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2**  
**Aspecto, impurezas, peso hectolítrico y tamaño de las semilla de chíá (*Salvia hispanica*) cultivadas en zonas diferentes de México**

	MUESTRAS				
	M1	M2	M3A	M3B	MCo
Aspecto	Ovalada, café oscuro con manchas grisáceas	Ovalada, café rojizo con manchas negras	Ovalada, grisácea con manchas negras	Ovalada, grisácea con manchas negras	Ovalada, grisácea con manchas negras
Impurezas (%)	0,36	1,57	1,92	2,58	0,40
Peso hectolítrico (Kg/hL)	145,3 <sub>c</sub>	150,0 <sub>a</sub>	146,7 <sub>bc</sub>	148,7 <sub>ab</sub>	146,0 <sub>c</sub>
Tamaño de semillas (%)					
Malla # 16	12,13 <sub>a</sub>	11,37 <sub>a</sub>	7,27 <sub>b</sub>	9,20 <sub>ab</sub>	2,83 <sub>c</sub>
Malla # 18	71,00 <sub>bc</sub>	74,90 <sub>b</sub>	72,80 <sub>b</sub>	67,13 <sub>c</sub>	86,50 <sub>a</sub>
Malla # 20	16,07 <sub>bc</sub>	13,43 <sub>cd</sub>	19,67 <sub>ab</sub>	23,40 <sub>a</sub>	10,20 <sub>d</sub>
Fondo	0,80 <sub>a</sub>	0,30 <sub>a</sub>	0,27 <sub>a</sub>	0,27 <sub>a</sub>	0,47 <sub>a</sub>

Medias con distinta letra en una fila son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0,05$ )

Malla # 16: Tamiz de 1,19 mm de abertura

Malla # 18: Tamiz de 1,00 mm de abertura

Malla # 20: Tamiz de 0,84 mm de abertura

Las muestras presentaron formas y colores similares. Las variaciones en las tonalidades del color dependen de la procedencia de la muestra. El porcentaje de impurezas fue diferente para todas las muestras en un rango de 0,36 a 2,58 %. La muestra con mayor cantidad de impurezas (polvo, restos de vegetales y residuos minerales) fue la M3B procedente de Jalisco, que sobrepasa el límite (2,0 %) marcado por la norma mexicana para cereales (NMX-FF-036-1996). No se detectó en las muestras materia extraña como excremento de roedores e insectos señalada por la norma mexicana (NMX-147-SSA1-1996), por lo que se considera que su proceso de almacenamiento previo a la obtención de las muestras fue adecuado. Desde el punto de vista industrial, si se comprara una tonelada de semillas de chíá procedentes de cada una de las zonas de estudio se tendrían que separar 3,6, 15,7, 19,2, 25,8 y 4,0 Kg de impurezas respectivamente previo al

procesado industrial, lo cual implicaría incrementos en el costos, principalmente en las muestras colectadas en los estados de Jalisco y Morelos.

El precio en pesos mexicanos (2007) de las muestras procedentes de Puebla, Morelos y Jalisco fue de \$100,00 el kilogramo de semilla en mercados públicos por lo que si se eliminan las impurezas encontradas y se ajusta el precio, el valor de una tonelada de semillas de chíá limpia provenientes de los estados de Puebla, Morelos y Jalisco, sería de \$100'361,30, \$101'553,78, \$101'957,58 y \$102'648,32 respectivamente. La muestra MCo, conseguida en el Distrito Federal, se obtuvo empacada y el precio por kilogramo fue de \$300,00, por lo que una tonelada de semilla limpia costaría \$301'204,82.

El análisis de varianza para el tamaño de las semillas mostró diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). Todas las muestras presentaron mayor porcentaje de semillas con tamaño de 1-1,19 mm (67,13-86,50 %) que fue diferente a la literatura consultada que indica un tamaño de semilla de 2 mm (Beltrán-Orozco *et al.*, 2008).

Con respecto al peso hectolítrico, las muestras presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ). El valor mayor de 150 Kg/ hL, correspondió a la muestra M2 y el menor a la muestra M1 (145,3 Kg/ hL). Lo anterior implica, a nivel industrial, una mejora en el rendimiento en harinas y probablemente en aceite ya que mientras mayor sea el peso hectolítrico del producto, aumentará la proporción de éstos derivados. También es un indicativo de homogeneidad y sanidad del grano (menor cantidad de impurezas, granos quebrados y dañados).

### 3.3.2 Análisis de la composición de la semilla de chía

Para los análisis químicos de las cinco muestras, se molieron las semillas de chía hasta lograr un tamaño de partícula menor a 0,84 mm, lo cual favoreció las determinaciones. Los resultados del análisis de la composición de las semillas de chía se encuentran expresados en la tabla 3. Solo se encontró diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre el contenido de proteínas de las muestras, pero no en los demás parámetros estudiados.

**Tabla 3**  
**Composición de las semillas de chía (*Salvia hispanica*) procedentes de diferentes zonas de México (g/100g)**

	MUESTRAS				
	M 1	M 2	M 3A	M 3B	M Co
Humedad	5,85 <sub>a</sub>	5,47 <sub>a</sub>	5,65 <sub>a</sub>	5,88 <sub>a</sub>	5,80 <sub>a</sub>
Proteína (N x 5.7)	19,31 <sub>ab</sub>	17,24 <sub>c</sub>	19,89 <sub>a</sub>	17,58 <sub>bc</sub>	19,36 <sub>ab</sub>
Grasa	27,55 <sub>a</sub>	27,99 <sub>a</sub>	27,90 <sub>a</sub>	29,21 <sub>a</sub>	32,63 <sub>a</sub>
Fibra	18,68 <sub>a</sub>	20,22 <sub>a</sub>	18,94 <sub>a</sub>	17,97 <sub>a</sub>	18,52 <sub>a</sub>
Cenizas	3,60 <sub>a</sub>	3,99 <sub>a</sub>	4,10 <sub>a</sub>	3,34 <sub>a</sub>	3,66 <sub>a</sub>
ELN	30,86 <sub>a</sub>	30,55 <sub>a</sub>	29,17 <sub>a</sub>	31,89 <sub>a</sub>	25,83 <sub>a</sub>

ELN: Extracto Libre de Nitrógeno

Medias con distinta letra en una fila son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0,05$ ).

La humedad se mantuvo en un rango de 5,47-5,88 %, por debajo de lo reportado por Rosado y Salazar (2005) de 7,87 %. En comparación con otras semillas oleaginosas como algodón, colza o lino (Yúfera, 1982), la semilla de chía tiene un menor contenido de humedad, lo que favorece su manejo durante el almacenamiento ya que impide el crecimiento de especies de hongos, algunos toxogénicos como *Aspergillus flavus*.

El rango de proteína encontrado en las muestras fue de 17,2-19,8 %, por debajo de lo reportado por Ayerza (1996) y Rosado y Salazar (2005), que fue de 19 a 23 %. A las semillas de chía se le puede considerar como una fuente importante de proteína cuando se le compara con granos como el trigo (14 %), maíz (12 %) y arroz (8,5 %) (Beltrán y Romero, 2003).

El contenido de grasa determinado fue de 27,55-32,63 %, donde las muestras M1, M2 y M3A están ligeramente debajo de lo informado por Bautista *et al.*, (2007), Rosado y Salazar (2005) y Ayerza (2002) de aproximadamente 29 a 32 %; sin embargo la M3B y MCo están dentro del rango reportado. Comparada con granos oleaginosos como soya (18 %) y girasol (24 %) las semillas de chía estudiadas presentaron mayor contenido de grasa (27,55-32,63 %) que estas semillas, lo que sugiere mayor rendimiento en la extracción de su aceite.

La fibra cruda no presentó diferencias significativas entre las muestras, sin embargo fue menor al 25,21 % reportado por Rosado y Salazar (2005) y del 24,9 % informado por Bautista *et al.*, (2007). Si se compara la fibra cruda de las semillas de chía (17,97-20,22 %) con granos como girasol (7,7 %), ajonjolí (6,3 %), cereales como maíz (12,2 %) y oleaginosas como soya (12 %), la semilla de chía tiene un mayor contenido de fibra lo que la hace una fuente importante de ésta para la alimentación humana (Beltrán-Orozco *et al.*, 2008). Reyes-Caudillo *et al.*, (2008) reportan una relación entre la fibra dietaria insoluble y la soluble mayor a lo recomendado por la American Dietetic Assosiation, considerándola como excelente fuente de fibra.

Los valores de cenizas se encontraron en el rango es de 3,34 a 4,10 %, inferior a lo encontrado por Rosado y Salazar (2005) de 4,26 %. El contenido del extracto libre de nitrógeno calculado (aproximadamente igual al total de almidones y azúcares) varió de 29,17-31,89 %. El rango sobrepasa el límite superior de lo reportado en la literatura de 12–23 % (Rosado y Salazar, 2005).

En la actualidad existen discrepancias sobre la veracidad de la técnica de Weende para la determinación de la fibra cruda de un alimento. Mediante esta técnica, la fibra cruda mide una porción de pared celular de alimentos que sobrevive a las digestiones ácida y alcalina, donde se recupera una porción de celulosa y de lignina, pero tiene el inconveniente de que no determina el contenido de hemicelulosa. Para completar y definir correctamente el contenido de los diversos componentes de la fibra se procedió a determinar la fibra detergente neutra (FDN) que mide la fracción del alimento completamente indigerible, la fibra detergente ácida (FDA) que determina una porción de las paredes celulares e incluye la celulosa y la lignina y las cantidades variables de xilanos y otros componentes (Segura *et al.*, 2007, Colombatto, 2003).

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos en la determinación de fracciones de fibra siguiendo el método de Van Soest.

**Tabla 4**  
**Fracciones de fibra de semillas de chía (*Salvia hispanica*)**

	MUESTRAS				
	M1	M2	M3A	M3B	M Co
FDN (%)	47,23 <sub>b</sub>	47,05 <sub>b</sub>	45,91 <sub>b</sub>	46,47 <sub>b</sub>	57,67 <sub>a</sub>
FDA (%)	33,47 <sub>a</sub>	34,55 <sub>a</sub>	36,22 <sub>a</sub>	33,20 <sub>a</sub>	35,33 <sub>a</sub>
Hemicelulosa (%)	13,76 <sub>bc</sub>	15,82 <sub>b</sub>	9,70 <sub>c</sub>	13,28 <sub>bc</sub>	22,35 <sub>a</sub>
Celulosa (%)	20,09 <sub>a</sub>	20,41 <sub>a</sub>	20,63 <sub>a</sub>	18,66 <sub>a</sub>	20,44 <sub>a</sub>
Lignina (%)	16,28 <sub>a</sub>	16,31 <sub>a</sub>	15,80 <sub>a</sub>	16,64 <sub>a</sub>	17,73 <sub>a</sub>

Medias con distinta letra en una fila son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0,05$ )

FDN: Fibra Detergente Neutra; FDA: Fibra Detergente Ácida

Se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en el contenido de la FDN y en el de hemicelulosa pero no en el porcentaje de FDA, celulosa y lignina. Los porcentajes de FDN varían de 45,91 a 57,67, siendo la muestra M3A procedente de Jalisco la que menos FDN presentó y la que tuvo el valor superior fue la MCo conseguida en el Distrito Federal. También en el caso de la hemicelulosa la muestra MCo presentó el mayor porcentaje (22,35) mientras que la muestra M3B procedente de Jalisco se encontró menor porcentaje de esa fracción de fibra. Hasta el momento no se ha encontrado literatura que reporte alguno de estos valores en semillas de chíá. Pero sí en avena (FDA: 38,7%; FDN: 49,4%), trigo (FDA: 37,5%; FDN: 48,4%) y cebada (FDA: 35,5%; FDN: 47,8%) (Elizalde y Menéndez, 2004).

### **3.4 Conclusiones**

Los resultados obtenidos en los análisis físicos de las muestras de semillas de chíá analizadas, pueden ser valores que la industria utilice para obtener mejor rendimiento y bajos costos de producción en la elaboración de sus productos.

En la composición química de las cinco muestras de semillas de chíá estudiadas, a pesar de proceder de regiones diferentes de México y probables condiciones de cultivo, cosecha y almacenamiento diferentes solo se encontraron diferencias significativas en el contenido de proteína, en la fibra detergente neutra y la hemicelulosa, además permiten corroborar que la semilla de chíá es fuente de fibra, proteínas y de grasa vegetal; lo que conlleva a proponer la elaboración de productos que contengan a dicha semilla para aprovechar todos sus beneficios.

**Capítulo 4**  
**PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS EN ACEITE DE CHÍA**

## 4.1 Introducción

Un recurso importante en la alimentación humana son los aceites comestibles. Se conoce que la composición de los aceites no es igual, porque varía de acuerdo al tipo de AG que contenga. La tendencia de emplear aceites refinados y puros, ha favorecido en el mundo occidental una alimentación con ingesta alta de AG  $\omega$ -6 y baja de  $\omega$ -3. Sin embargo se hacen esfuerzos por encontrar aceites más completos desde el punto de vista nutricional (Valenzuela, *et al.*, 2002).

Algunas de las fuentes de ácidos  $\omega$ -3 más estudiadas son los tejidos de ciertos pescados, canola (*Brassica napus L.*), nuez (*Junglans regia*), cártamo (*Carthamus tinctorius L.*) y semilla de lino (*Linum usitatissimum*). Ésta última es una semilla oleaginosa producida principalmente en Canadá, China, Estados Unidos e India. Es rica en ácido  $\alpha$ -linolénico ( $\omega$ -3), lignanos, polisacáridos diferentes al almidón y tiene alto contenido en proteína, lo que hace a la linaza un alimento muy atractivo y de carácter funcional en el siglo XXI (Figuerola *et al.*, 2008). Sin embargo, algunas variedades contienen compuestos antinutricionales como ácido fítico y glucósidos cianogénéticos, lo que la limita en su uso en la industria alimentaria.

Uno de los beneficios de los AG  $\omega$ -3 es la ayuda en el desarrollo del sistema nervioso y visual de los fetos y recién nacidos, ya que el ácido  $\alpha$ -linolénico constituye entre un 75 % a 80 % de los AG  $\omega$ -3 de la leche materna por lo que se recomienda que las madres gestante y durante el post parto consuman alimentos o suplementos que contengan éstos AG (Valenzuela y Nieto, 2003; Morris, 2009).

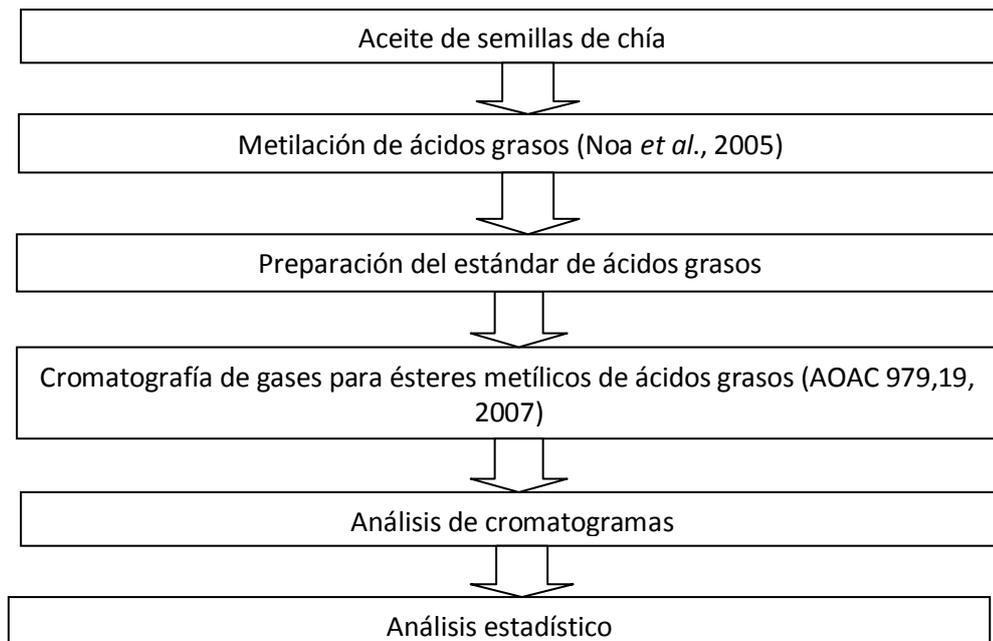
Los AG  $\omega$ -3 en el sistema cardiovascular tiene efectos antitrombóticos y antiarrítmicos, aumentan el tiempo de sangrado evitando la adherencia de plaquetas en las arterias, disminuyen el colesterol total y el VLDL-C (Simopoulos, 1999; Connor, 2000).

En este trabajo se determinó el perfil en ácidos grasos particularmente el contenido de ácido  $\alpha$ -linolénico de aceites obtenidos a partir de muestras de chía (*Salvia hispanica*) provenientes del Occidente y del Altiplano Mexicano.

## 4.2 Métodos y materiales

A continuación se presenta la secuencia metodológica para determinar el perfil en ácidos grasos del aceite de semillas de chía.

**Figura 3**  
**Secuencia metodológica para determinar el perfil de ácidos grasos en aceite de semillas de chía**



Fotografía 4  
Evaporador rotatorio



Fotografía 5  
Preparación de ésteres metílicos de ácidos grasos

#### **4.2.1 Preparación de ésteres metílicos y del estándar**

50 mg de aceite de semillas de chía se disolvieron en 0,90 mL de éter de petróleo, se adicionó 0,10 mL de metóxido de sodio en metanol (0,5 N). El frasco se agitó en Vortex durante 5 segundos. Se dejó en reposo para inyectarla al cromatógrafo de gases con detector de ionización de flama (Noa *et al.*, 2005).

El estándar usado para la identificación de los ácidos grasos fue una mezcla de 37 ácidos grasos metilados (Supelco 47885-U), ver figura 4.

#### **4.2.2 Análisis de los cromatogramas**

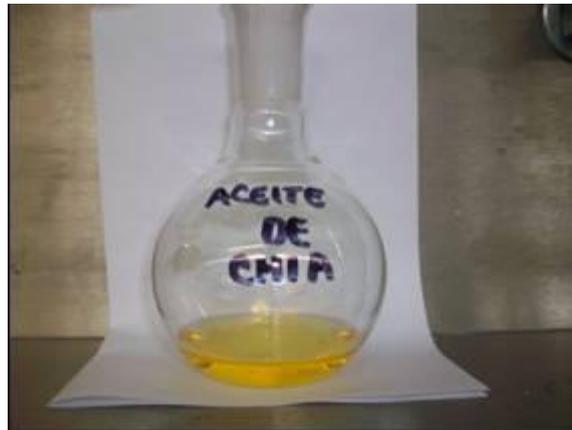
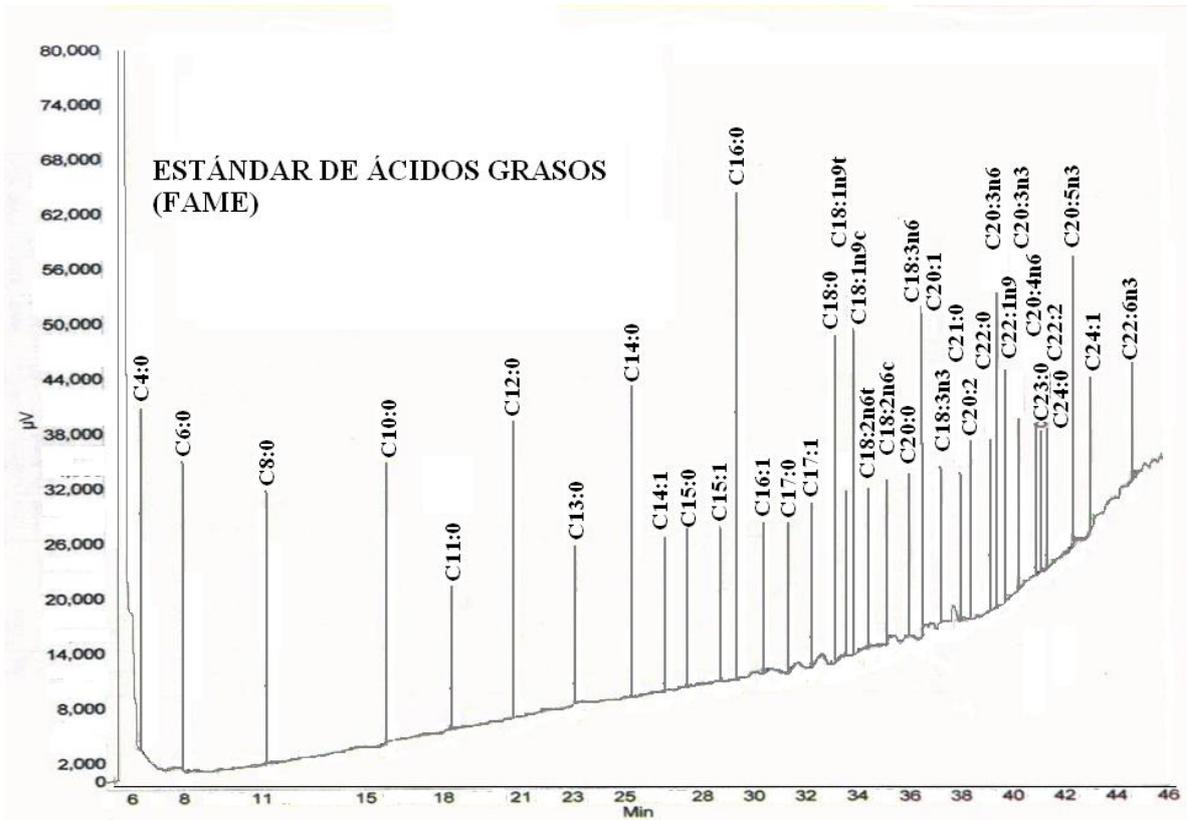
Se utilizó el método de área porcentual para la cuantificación de cada componente.

**Nota:** En el anexo 3 se encuentra descrito el material, equipo y reactivos empleados para realizar cada una de las técnicas antes citadas.

#### **4.2.3 Análisis estadístico**

Después de obtener la concentración de cada uno de los ácidos grasos determinados se procedió a realizar el análisis de varianza y posteriormente la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) utilizando el software SPSS versión 15,0.

**Figura 4**  
**Cromatograma del estándar de ácidos grasos (mezcla de 37 compuestos)**



**Fotografía 6**  
**Aceite de chía extraído para elaborar el chorizo**

### 4.3 Resultados y discusión

En la tabla 5 se presentan los resultados obtenidos del perfil en ácidos grasos del aceite de chía.

**Tabla 5**  
**Ácidos grasos de cinco muestras de aceite de chía (g/ 100 g), relación omega 6/ omega 3 comparada con otros datos publicados**

Ácidos Grasos	MUESTRAS					Álvarez <i>et al</i> (2008)		Rosado y Salazar (2005)
	M1	M2	M3A	M3B	MCo	A	B	
<b>C16:0</b>	8,13 <sub>ab</sub>	8,27 <sub>a</sub>	7,04 <sub>b</sub>	7,94 <sub>ab</sub>	7,09 <sub>b</sub>	6,30	6,20	6,40
<b>C18:0</b>	3,78 <sub>a</sub>	3,76 <sub>a</sub>	3,63 <sub>ab</sub>	3,39 <sub>b</sub>	3,87 <sub>a</sub>	3,10	3,00	2,50
<b>Σ AGS</b>	11,91 <sub>ab</sub>	12,04 <sub>a</sub>	10,67 <sub>b</sub>	11,33 <sub>ab</sub>	10,96 <sub>ab</sub>	9,40*	9,20*	8,90*
<b>C18:1</b>	8,05 <sub>ab</sub>	7,52 <sub>b</sub>	7,50 <sub>b</sub>	7,53 <sub>b</sub>	8,40 <sub>a</sub>	7,50	8,20	6,50
<b>C18:2</b>	20,10 <sub>ab</sub>	18,97 <sub>c</sub>	20,39 <sub>a</sub>	20,17 <sub>ab</sub>	19,94 <sub>b</sub>	19,90	19,80	20,70
<b>C18:3</b>	57,98 <sub>bc</sub>	59,20 <sub>ab</sub>	60,54 <sub>a</sub>	59,77 <sub>a</sub>	57,46 <sub>c</sub>	61,90	63,40	63,00
<b>Σ AGP</b>	78,08 <sub>bc</sub>	78,17 <sub>bc</sub>	80,93 <sub>a</sub>	79,94 <sub>ab</sub>	77,40 <sub>c</sub>	81,80*	83,20*	83,70*
<b>Σ AGI</b>	86,13 <sub>b</sub>	85,69 <sub>b</sub>	88,43 <sub>a</sub>	87,46 <sub>ab</sub>	85,81 <sub>b</sub>	89,30*	91,40*	90,20*
<b>ω6/ω3</b>	0,35 <sub>a</sub>	0,32 <sub>a</sub>	0,34 <sub>a</sub>	0,34 <sub>a</sub>	0,35 <sub>a</sub>	0,32	0,31	0,33

AGS: Ácidos grasos saturados; AGP: Ácidos grasos poliinsaturados. AGI: Ácidos grasos insaturados.

Medias con distinta letra en una fila son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0,05$ ).

A: muestra procedente de Jalisco, México.

B: muestra procedente de Sinaloa, México.

\*Cálculos realizados por la autora de éste trabajo.

En las muestras analizadas se encontraron los siguientes AG en orden descendente: C18:3 ( $\alpha$ -linolénico), C18:2 (linoleico), C18:1 (oleico), C16:0 (palmítico) y C18:0 (esteárico); solo en este último no se encontró diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre los valores de los ácidos grasos.

La muestra M3A (figura 5) presentó el menor contenido de AG saturados. La suma de los AG saturados encontrada en las cinco muestras estudiadas fue mayor a lo informado por Álvarez *et al.*, (2008) y Rosado y Salazar (2005) para muestras originarias de México. Se confirmó que la semilla de chía contiene una proporción muy baja de ácidos grasos saturados (10,67- 12,03 g/100g) que se sabe pueden ser un factor de riesgo para la salud cardiovascular (Simopoulos, 1999).

Las muestras que presentaron mayor y menor concentración de ácido oleico fueron la MCo (figura 6) y M3A (8,40 y 7,50 % respectivamente), con diferencia significativa entre ellas y con concentraciones superiores a las reportadas por Rosado y Salazar (2005); pero similares a lo informado por Álvarez *et al.*, (2008).

La muestra M2 presentó menor contenido de ácido linoleico, mostrando diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) con respecto a las otras tres muestras, y se encuentra por debajo de

lo informado por Álvarez *et al.*, (2008) y Rosado y Salazar (2005). El contenido de ácido  $\alpha$ -linolénico ( $\omega$ -3) fue menor en la muestra MCo, todas las muestras presentaron diferencias significativa ( $p \leq 0,05$ ) de este AG entre sí. Los valores encontrados están por debajo a los reportados previamente en la literatura (Álvarez *et al.*, 2008; Rosado y Salazar, 2005).

Los resultados confirman que el aceite de semilla de chía hasta el momento es la fuente de origen vegetal con mayor contenido de ácido  $\alpha$ -linolénico (57,46-60,54 %) a diferencia de semillas de lino y la perilla (*Solandra guttata*) que se informa tienen 54 y 53 % respectivamente (Ayerza, 2002).

La sumatoria de los AG poliinsaturados de las muestras estudiadas también difirieron significativamente entre sí ( $p \leq 0,05$ ) aunque están ligeramente por debajo a lo informado por la literatura (Álvarez *et al.*, 2008; Rosado y Salazar, 2005). El contenido de los AG insaturados fue de 7 a 8 veces mayor que el de los ácidos saturados por lo que al aceite de chía se le debe considerar como un aceite secante.

La relación entre los AG  $\omega$ -6 y  $\omega$ -3 no mostró diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre las muestras analizadas, siendo la muestra M2 la que tuvo el menor valor. Se ha informado que mientras más baja la cantidad ingerida mediante la dieta de ácidos  $\omega$ -6 con respecto a los  $\omega$ -3, será mejor para el organismo humano ya que habrá una mayor conversión de ácido  $\alpha$ -linolénico en los ácidos docohexaenoico y eicosapentaenoico, ambos AG indispensables para el organismo humano y además ácidos  $\omega$ -3 (Simopoulos, 1999).

#### **4.4 Conclusiones**

La semilla de chía tiene un alto contenido de AG poliinsaturados y muy bajo de AG saturados, por lo que se debe considerar como una fuente de AG indispensables, principalmente del ácido  $\alpha$ -linolénico ( $\omega$ -3) aproximadamente en 60 %. La relación  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 fue menor a lo recomendado por la OMS, por lo que el aceite de semillas de chía puede ser un candidato a utilizarse como ingrediente en la elaboración de productos alimenticios para incrementar la cantidad de AG  $\omega$ -3 que se ha indicado son benéficos para la salud humana.

**Figura 5**  
**Cromatograma de la muestra M3A**

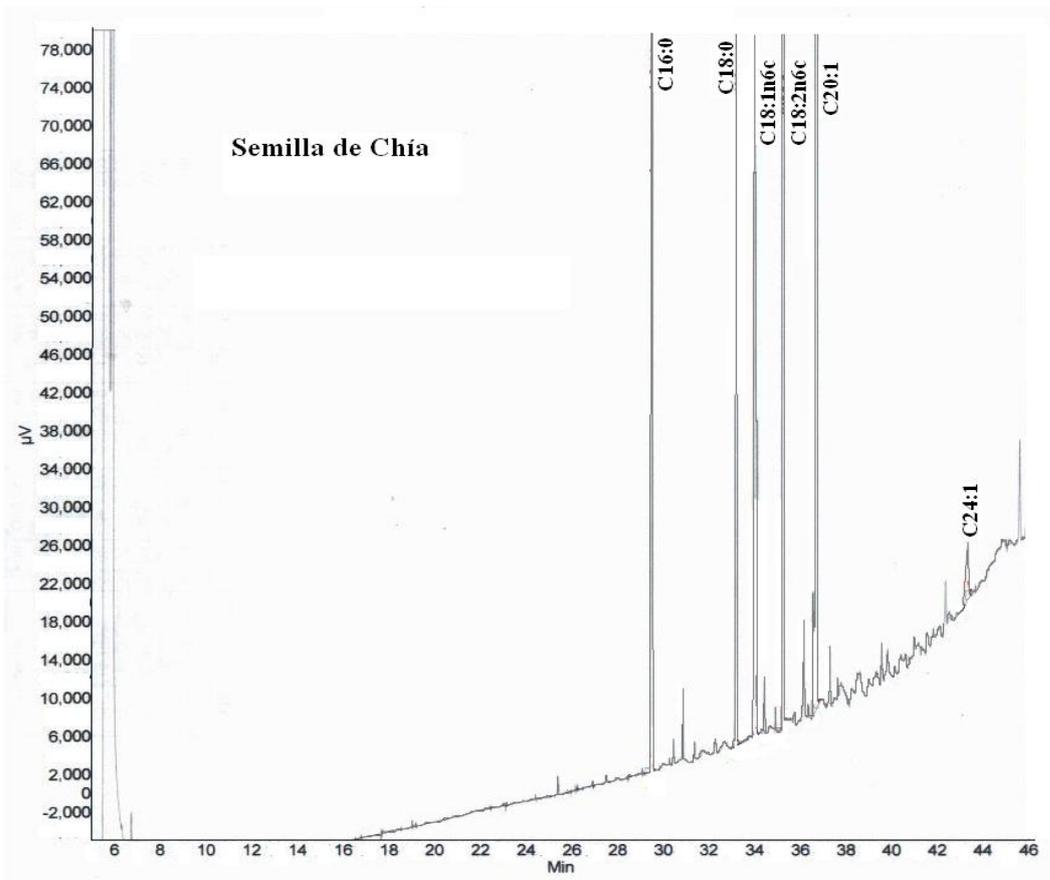
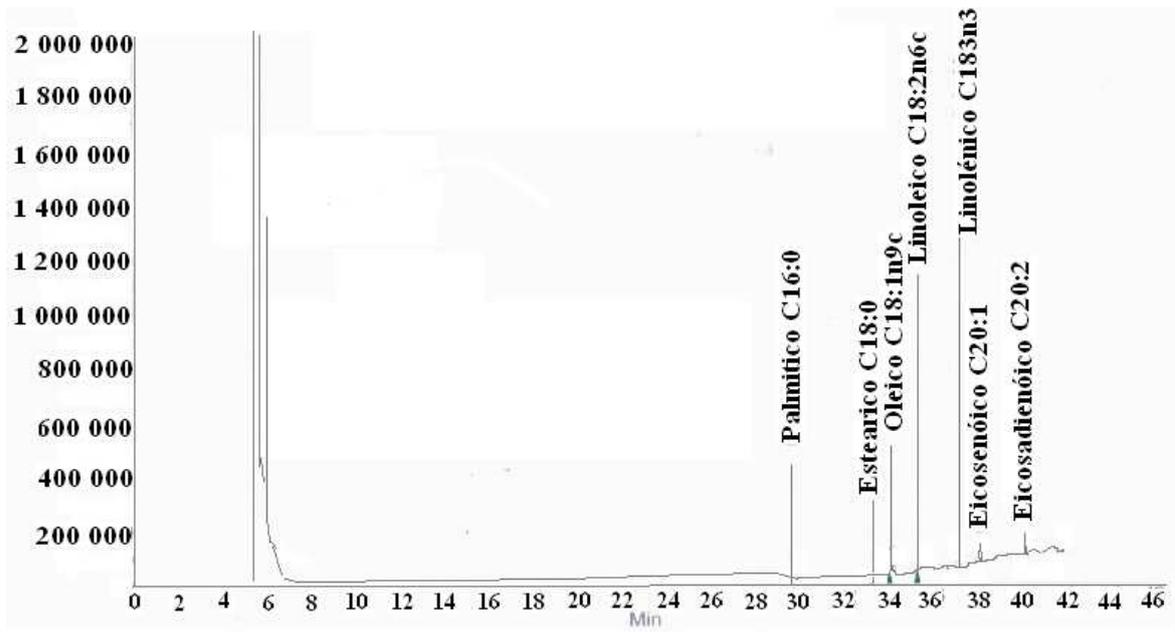


Figura 6  
Cromatograma de la muestra MCo3



**Capítulo 5**  
**CHORIZO ADICIONADO CON ACEITE DE CHÍA**

## 5.1 Introducción

En los últimos años se han registrado cambios en los hábitos alimenticios de los consumidores donde se ha impulsado la elaboración de productos fortificados, enriquecidos y adicionados con ingredientes funcionales como los ácidos  $\omega$ -3.

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (NOM-213-SSA-2002) un producto cárnico curado es aquel al que se le agrega por vía húmeda o seca, sal o azúcar, nitratos o nitritos, independientemente de que sean sometidos o no a algún tratamiento térmico o a maduración; y un producto madurado es aquel sometido a deshidratación parcial, pudiendo ser ahumado o no, sometido durante cierto tiempo a la acción de cultivos microbianos, enzimas o microorganismos propios de la carne y su acción sobre azúcares añadidos. Por lo que el chorizo es un producto cárnico crudo curado que es fabricado por selección, troceado, picado, embutido, madurado y secado de la grasa y carne de cerdo, adicionando especias, condimentos y aditivos (Nuevas normas de calidad de los alimentos, 2001).

El riesgo sanitario y la estabilidad de este tipo de embutidos se fundamenta en el descenso en los valores del potencial de hidrógeno generado por la fermentación microbiana de los hidratos de carbono; la disminución de la actividad acuosa a causa de los ingredientes añadidos, y la deshidratación producida en el proceso de maduración; la adición de nitritos y nitratos ayuda a prevenir el aumento de microorganismos patógenos; y además algunas especias tienen actividad antimicrobiana (Marcos, 2007).

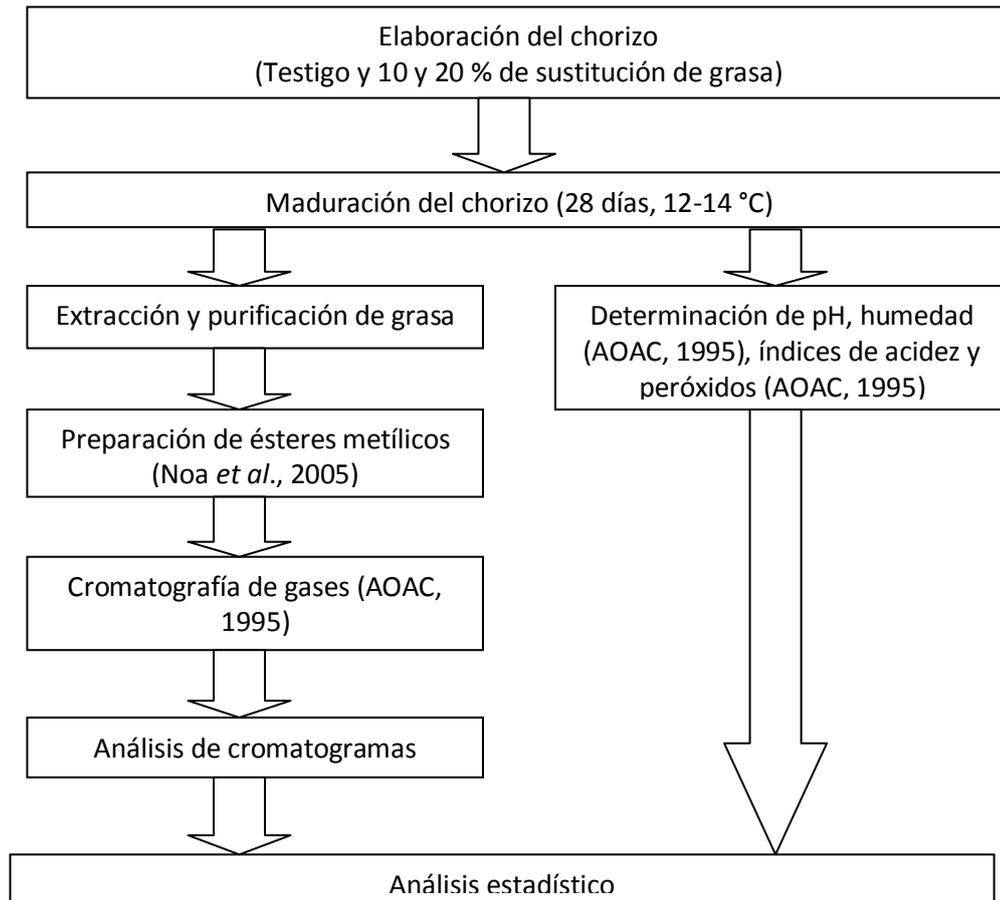
Los lípidos son parte fundamental del chorizo ya que ocupa el 30% del total del producto y son los precursores de algunos compuestos aromáticos característicos de estos productos. La lipólisis es la degradación parcial o total de los enlaces éster de los fosfolípidos y triglicéridos por acción de las lipasas. Cierta grado de lipólisis contribuye a la formación del aroma y sabor típico de los embutidos. Cuando se sobrepasan los límites de los compuestos volátiles, éstos proporcionan un sabor y olor desagradable para el consumidor (Marcos, 2007).

Las semillas de chía se han empleado para elaborar bebidas, harinas y confites, además de extraer su aceite para fines no alimentarios, pero no hay información sobre el uso de este último, en la elaboración de productos cárnicos como el chorizo. Hoy en día, la industria de los alimentos está desarrollando productos alimenticios adicionados con diferentes tipos de AG  $\omega$ -3, por lo que fue objetivo de este experimento evaluar el efecto de la adición de aceite de chía en la maduración del chorizo.

## 5.2 Métodos y materiales

A continuación se presenta la secuencia metodológica para evaluar el efecto de maduración del chorizo adicionado con aceite de chía.

**Figura 7**  
**Secuencia metodológica para evaluar el efecto de la inclusión de aceite de chía en la maduración del chorizo**



### 5.2.1 Elaboración del chorizo

Para elaborar el producto se aplicaron los Procedimientos Operativos Estandarizados de Saneamiento (POES) para asegurar la inocuidad del producto, antes, durante y después del proceso de elaboración. En la tabla 6 se presentan las cantidades de carne y grasa de cerdo y aceite de chía utilizada en cada uno de los tres productos elaborados: 1 testigo (T) y 2 tratamientos (T 10 y T 20).

**Tabla 6**  
**Cantidades de carne de cerdo, lardo y aceite para elaborar el chorizo (g/100 g de pasta)**

	Testigo	Tratamientos	
		10 %	20 %
Carne de cerdo	75	75	75
Lardo	25	22,5	20
Aceite de chía		2,5	5,0

El aceite de chía fue emulsionado con proteína aislada de soya. La emulsión se preparó mezclando durante 2 minutos, agua caliente (42,1 %) y proteína aislada de soya (5,4 %) y luego se adicionó el aceite de chía (52,5 %) por otros 3 minutos. Esta emulsión fue adicionada al resto de los ingredientes.

La carne y la grasa de cerdo fueron picadas a un tamaño de partícula de 3 mm y posteriormente mezcladas con los siguientes ingredientes (tabla 7) por kilo de pasta:

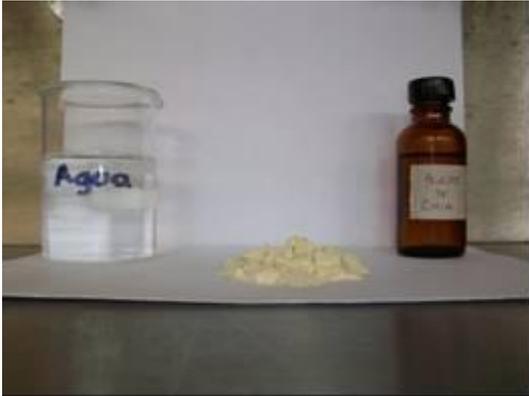
**Tabla 7**  
**Fórmula para elaboración de chorizo**

Ingrediente	Cantidad (Kg)
Ajo en polvo	0,0030
Pimiento rojo (paprika)	0,0300
Lactosa	0,0100
Concentrado de leche en polvo	0,0120
Cerelesa dextrosa	0,0050
Ascorbato de sodio	0,0005
Caseinato de sodio	0,0100
Nitrito de sodio	0,0001
Nitrato de sodio	0,0001
Citrato de sodio	0,0005
Cloruro de sodio	0,0300
Polifosfato	0,0020

La pasta fue colocada en fundas de colágeno marca Naturin (No. 36 x 35). Se formaron chorizos de aproximadamente 10 cm de largo.

### **5.2.2 Maduración del producto**

Se realizó en una cámara frigorífica Tyler modelo 7400265 SD especialmente acondicionada para mantener la temperatura entre 12-14 °C, durante 28 días.



Fotografía 7  
Insumos para preparar la emulsión



Fotografía 8  
Insumos para elaborar el chorizo

### 5.2.3 Análisis para evaluar la maduración del chorizo

A continuación se describen cada una de las técnicas de los parámetros analizados para evaluar la maduración del producto en proceso y al final de la maduración.

#### 5.2.3.1 Humedad

Se pesaron por triplicado 20 g de muestra en una balanza analítica, se colocaron en la estufa de 16 a 18 horas a 100 °C. Se enfriaron las muestras en un desecador y se pesaron. Se calculó la humedad y materia seca con las siguientes fórmulas:

$$Paev = Pchmi - Pchmf$$

Donde:

Paev: Peso del agua evaporada (g)

Pchmi: Peso de la charola con muestra inicial (g)

Pchmf: Peso de la charola con muestra final (g)

$$\% \text{ Humedad} = [\text{Peso del agua evaporada (g)}] / [\text{Peso de la muestra húmeda (g)}] \times 100$$

$$\% \text{ Materia seca} = 100 - \% \text{ Humedad}$$

#### 5.2.3.2 pH

Se pesó un gramo de alimento en un vaso de precipitados y se le adicionaron 9 mL de agua destilada, se agitó para homogeneizar la mezcla y se colocó el electrodo del potenciómetro Conductronic pH 20 (previamente calibrado) en dicha mezcla y se tomó la lectura que presentó la pantalla (display). Cada muestra se analizó por triplicado.

### 5.2.3.3 Índice de acidez

Se pesaron 10 g de muestra, en un vaso de precipitados y se adicionó una mezcla de volúmenes iguales de etanol al 96 % y éter dietílico neutralizada con hidróxido de sodio al 0,1 N. Se tituló mientras se agitaba con hidróxido de sodio 0,1 N usando fenolftaleína como indicador hasta que cambió a color rosa y éste se mantuvo por 15 segundos. Cada muestra se analizó por triplicado. Se calculó el índice con la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de Acidez} = (40,0 \times \text{mL NaOH} \times \text{N NaOH}) / \text{Peso muestra}$$

NaOH= Hidróxido de sodio

### 5.2.3.4 Índice de peróxidos

Se pesaron 5 g de muestra en un matraz Erlenmeyer, se agregaron 30 mL de disolución de ácido acético y cloroformo (2:1 v/v) y se agitaron. Se añadieron 0,5 mL de solución saturada de yoduro de potasio, se agitaron y se dejaron reposar por un minuto en obscuridad. Se agregaron 30 mL de agua destilada, se volvió a agitar. Se valoró con solución de tiosulfato de sodio 0,1 N, hasta un ligero color amarillo. Después se agregaron 0,5 mL de solución indicadora de almidón, se continuaron valorando hasta la desaparición del color azul en la fase acuosa. Se hizo una prueba testigo. Se anotaron en cada caso el gasto de tiosulfato de sodio. Los cálculos para esta técnica fueron:

$$\text{I.P} = (A - B) C \times 1000 / P$$

Donde:

I.P: Índice de peróxidos

A: mL de tiosulfato de sodio gastados en la muestra

B: mL de tiosulfato de sodio gastados en el testigo.

C: Normalidad del tiosulfato de sodio

P: Peso de muestra (g)

**Nota:** En el anexo 4 se encuentra descrito el material, equipo insumos y reactivos empleados para elaborar el chorizo y realizar cada una de las técnicas, antes descritas.

### 5.2.4 Análisis estadístico

Análisis de varianza y prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) utilizando el software SPSS versión 15,0.

### 5.3 Resultados y discusión

Las características generales durante el proceso de maduración de los productos fueron homogéneas ya que su color, textura al tacto, no presentaron pérdida de líquidos.

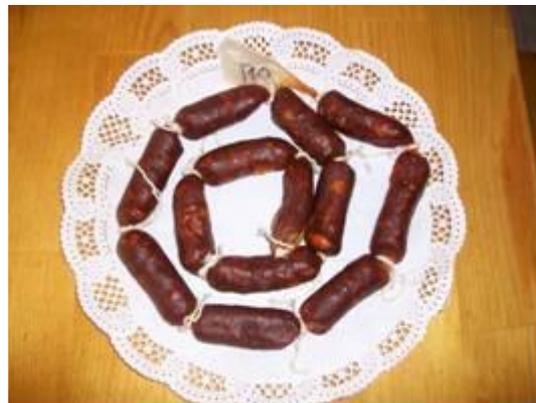
La tabla 8 muestra las cantidades de grasa animal, aceite de chía y proteína aislada de soya y agua usadas en la manufactura del chorizo. La grasa animal fue reducida de 25 a 20 % y el aceite de chía aumentó de 1,31 a 2,63 g/100g de mezcla de pasta.

**Tabla 8**  
**Cantidades (g/100 g pasta) de lardo y emulsión del aceite de chía usadas en la elaboración de los tres productos: testigo y tratamientos**

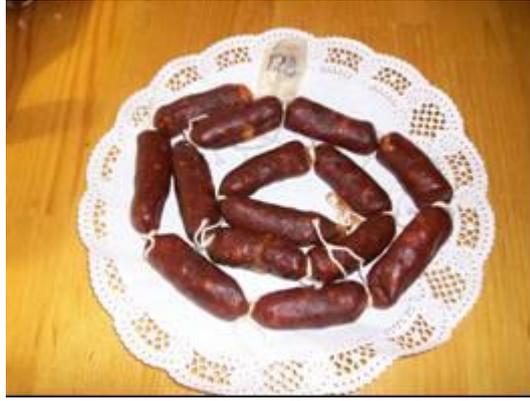
	Testigo	Tratamientos	
		10 %	20 %
Grasa de cerdo	25	22,50	20,00
<i>Emulsión</i>	---	2,50	5,00
Aceite de chía	---	1,31	2,63
Proteína aislada de soya	---	0,14	0,27
Agua	---	1,05	2,10



Fotografía 9  
Chorizo testigo



Fotografía 10  
Chorizo tratamiento 10%



Fotografía 11  
Chorizo tratamiento 20%

Los resultados de los cambios de humedad, pH, índices de acidez y peróxidos, así como el contenido final de la grasa del chorizo se muestran en la tabla 9:

**Tabla 9**  
**Cambios en humedad, pH, índices de acidez y peróxidos, y grasa de chorizo con formulación tradicional y con sustitución de aceite de semilla de chía durante la maduración (testigo y tratamientos)**

Humedad	Testigo	Tratamientos	
		T 10%	T 20%
<b>Día</b>			
<b>Inicial</b>	<b>54,9<sub>a</sub></b>	<b>53,9<sub>a</sub></b>	<b>53,7<sub>a</sub></b>
Día 7	44,1 <sub>a</sub>	46,0 <sub>a</sub>	45,0 <sub>a</sub>
Día 14	42,3 <sub>a</sub>	44,6 <sub>a</sub>	43,2 <sub>a</sub>
Día 21	41,9 <sub>a</sub>	39,3 <sub>a</sub>	38,2 <sub>a</sub>
<b>Día 28</b>	<b>31,7<sub>a</sub></b>	<b>35,2<sub>a</sub></b>	<b>32,8<sub>a</sub></b>
<b>pH</b>			
<b>Inicial</b>	<b>5,9<sub>a</sub></b>	<b>5,8<sub>a</sub></b>	<b>5,7<sub>a</sub></b>
Día 7	5,2 <sub>a</sub>	5,3 <sub>a</sub>	5,4 <sub>a</sub>
Día 14	5,0 <sub>a</sub>	5,1 <sub>a</sub>	5,2 <sub>a</sub>
Día 21	5,0 <sub>a</sub>	5,0 <sub>a</sub>	5,0 <sub>a</sub>
<b>Día 28</b>	<b>4,6<sub>a</sub></b>	<b>4,5<sub>a</sub></b>	<b>4,5<sub>a</sub></b>
<b>Índice de acidez (mg NaOH/g grasa)*</b>	3,16 <sub>c</sub>	4,19 <sub>b</sub>	4,56 <sub>a</sub>
<b>Índice de peróxidos (meq O<sub>2</sub>/Kg grasa)*</b>	n. d.	n. d.	n. d.
<b>Grasa *</b>	18,6 <sub>a</sub>	20,4 <sub>b</sub>	21,4 <sub>b</sub>

Medias con distinta letra en una fila son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0,05$ )

T 10: Tratamiento con sustitución del 10 %

T 20: Tratamiento con sustitución del 20 %

n. d.: no detectado

\*Parámetros analizados al final del proceso de maduración

Durante el proceso de maduración del chorizo (28 días), no se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre la pérdida de peso del testigo y los tratamientos, similar a lo informado por Muguerza *et al.*, (2003). El testigo perdió 23,2 % de su peso inicial, mientras que los tratamientos perdieron 18,7 % y 20,9 % respectivamente. La pérdida de peso corresponde con la disminución de humedad en los productos (testigo y tratamientos) que debe oscilar entre un 20 y 40% (Prieto y Carballo, 1997), y esto conlleva a una mayor vida de anaquel (Dalla Santa *et al.*, 2008). La NOM-145-SSA1-1995 menciona que la humedad máxima de un producto cárnico curado y madurado debe ser de 45 %, mientras que la norma de calidad española para el chorizo Pamplona indica un rango de 30 a 35 %, por lo que, tanto el testigo como los tratamientos se encuentran dentro de dicho rango.

El pH inicial de una pasta antes de embutir debe estar entre 5,8 a 6,0, dependiendo de la composición grasa de dicha pasta (Prieto y Carballo, 1997). Durante la maduración de los productos, el pH descendió del rango de 5,7-5,9 al 4,5-4,6, no encontrando diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre el testigo y los tratamientos. Muguerza *et al.*, (2003) informaron que el pH es necesario mantenerlo bajo para evitar riesgo de putrefacción; ayuda a la desnaturalización de las proteínas y por ende, disminuye la capacidad de retención de agua, además de regular la formación de color. Los autores antes citados encontraron disminución del pH entre el testigo y los tratamientos en las primeras semanas de la maduración de chorizo adicionado con aceite de soya, luego el valor ya no varió, diferente a lo encontrado en este experimento ya que de la tercera a la cuarta semana, el pH descendió hasta 4,6 en el testigo y 4,5 en lotes experimentales.

El índice de acidez se relaciona con la oxidación de la porción grasa del chorizo. El rango del índice de acidez al final de la maduración fue de 3,16 a 4,56 mg NaOH/ g grasa, encontrando diferencias significativas entre el testigo y los tratamientos. Este índice representa una medida de los ácidos grasos libres producidos durante la lipólisis. En este estudio, el índice de acidez tuvo un valor mayor en los tratamientos que en el testigo, se infiere que en los primeros hubo mayor cantidad de ácidos grasos libres que en el testigo debido a la adición del aceite de chía. Comparado con lo reportado por Muguerza *et al.*, (2003) (10,23-10,86 mg KOH/ g grasa), lo obtenido en este estudio está por debajo, lo cual muestra menor tendencia a la lipólisis.

Con respecto al índice de peróxidos, que es una medida de los componentes iniciales del proceso de oxidación de los lípidos, no fue detectado la presencia de éstos compuestos en las muestras de chorizo elaboradas y maduras por 28 días (12-14°C). Lo que sugiere que a pesar de la presencia de ácidos grasos poliinsaturados, éstos al combinarse con antioxidantes de la fórmula como el ascorbato de sodio inhibieron las reacciones de oxidación (Marcos, 2007).

El rango de grasa encontrado al final de la maduración fue de 18,6-21,4 g/100 g de producto, con diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento. Mugerza *et al.*, (2003) informó un contenido de grasa final, luego de la maduración de 31,2-34,4 g/100 g de producto. La grasa de cerdo es el componente más variable en su composición debido a factores como sexo y composición de la grasa en la dieta (Franco *et al.*, 2004; Prieto y Carballo, 1997).

El perfil de ácidos grasos en chorizo elaborado con formulación tradicional y con sustitución de la grasa animal por aceite de semilla de chía se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 10**  
**Cambios del perfil de ácidos grasos (g/ 100 g), sumatorias de ácidos grasos saturados, poliinsaturados y relación  $\omega 6/\omega 3$  durante la maduración de chorizos (testigo y tratamientos)**

Ácido Graso	Testigo	Tratamientos	
		T 10%	T 20%
C16:0	21,07 <sub>b</sub>	21,54 <sub>b</sub>	23,51 <sub>a</sub>
C18:0	12,91 <sub>a</sub>	12,64 <sub>a</sub>	11,45 <sub>a</sub>
C18:1	41,78 <sub>a</sub>	41,94 <sub>a</sub>	40,75 <sub>a</sub>
C18:2	9,82 <sub>a</sub>	10,86 <sub>a</sub>	13,09 <sub>a</sub>
C18:3	0,34 <sub>b</sub>	3,77 <sub>a</sub>	4,64 <sub>a</sub>
$\Sigma$ AGS	33,97 <sub>a</sub>	34,17 <sub>a</sub>	34,96 <sub>a</sub>
$\Sigma$ AGP	10,96 <sub>b</sub>	14,62 <sub>ab</sub>	17,73 <sub>a</sub>
$\omega 6/\omega 3$	30,95 <sub>a</sub>	3,34 <sub>b</sub>	2,84 <sub>b</sub>

AGS: Ácidos grasos saturados

AGP: Ácidos grasos poliinsaturados

Medias con distinta letra en una fila son estadísticamente diferente ( $p \leq 0,05$ )

En las muestras de chorizo analizadas se encontraron los siguientes AG en orden decreciente: C18:1 (oleico), C16:0 (palmítico), C18:0 (esteárico), C18:2 (linoleico) y C18:3 ( $\alpha$ -linolénico), similar al perfil de ácidos grasos de la grasa de cerdo (Mateos *et al.*, 1996; Archile *et al.*, 1997) aunque con proporciones mayores de AG poliinsaturados.

El rango del AG palmítico fue 21,07-23,51, presentando diferencia significativa entre el tratamiento con 20 % de sustitución y el testigo y el tratamiento con 10 % de sustitución. Comparando con lo informado por Mugerza *et al.*, (2003) (18,80-23,71 g/ 100 g de AG totales) los valores encontrados en este trabajo entran dentro de dicho rango.

El ácido esteárico presentó una disminución conforme fue aumentando la proporción de sustitución de la grasa animal por el aceite, sin embargo no se encontró diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre el testigo y los tratamientos. El rango encontrado fue de 11,45-12,91 g/ 100 g, y al compararse con lo reportado por Mugerza *et al.*, (2003), se observó que los valores fueron similares (11,70-12,08 g/ 100 g de AG totales).

Para el ácido oleico, tampoco se presentó diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre testigo y tratamientos. Muguerza *et al.*, (2003) informaron un rango de 40,12 a 42,85 g/100 g de ácido oleico que es similar a lo encontrado en este experimento.

Conforme fue aumentando la proporción de sustitución, se fue incrementando el contenido de ácido linoleico, con un rango de 9,82 a 13,09 g/ 100 g, que si se compara con la proporción de éste AG en el lardo (2-2,6 %) (Badui, 1990; Mateos *et al.*, 1996) se observa una variación importante para el tratamiento T 20 lo que permite inferir que la adición presentó efecto benéfico al presentar éstos valores. Si se compara con lo reportado por Muguerza *et al.*, (2003) (13,93–21,82 g/ 100 g de AG totales) se presenta un rango menor, que puede ser debido a que dichos autores trabajaron con aceite de soya, que contiene una mayor proporción de ácido linoleico que el aceite de chía.

Con respecto al ácido  $\alpha$ -linolénico, al aumentar el porcentaje de sustitución se incrementó el contenido de éste AG en un rango de 0,34 a 4,64 g/ 100 g, encontrando diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre el testigo y los tratamientos. Si se coteja con la información de Muguerza *et al.*, (2003) se puede deducir que el aceite de chía es mejor fuente de ese AG  $\omega$ -3 (C18:3) ya que mientras esos autores reportaron un rango de 1,05 a 1,82 lo encontrado en este trabajo es aproximadamente de dos a tres veces mayor.

La suma de los AGS aumentó ligeramente en el tratamiento con sustitución del 20 % (34,96 g/ 100 g), consecuente con la mayor cantidad encontrada en ese tratamiento. Muguerza *et al.*, (2003) informaron valores similares (32,81-37,83 g/ 100 g de AG totales). En estudios metabólicos, se han mostrado que diferentes AGS tienen efectos diversos sobre el plasma lipídico y niveles de lipoproteínas (Muguerza *et al.*, 2003). Como se ha mencionado en el capítulo cuatro de este trabajo, la disminución de los AGS es benéfica al ser humano ya que puede prevenir la aparición de padecimientos cardiacos.

La sumatoria de los AGP, presentó incremento conforme se varió el porcentaje de sustitución; las muestras mostraron un rango de 10,96-17,73, con diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre el tratamiento al 20 % y el testigo. Muguerza *et al.*, (2003) encontraron un rango de 15,22 a 23,96 g en 100 g de AG totales. Es importante mencionar que dichos autores consideraron otros AGP que no se detectaron en este trabajo. Con base en los resultados obtenidos en esta investigación, el aceite de chía contiene aproximadamente 60 % de ácido  $\alpha$ -linolénico, por lo que al ser adicionado al chorizo éste incrementó su contenido.

La relación  $\omega$ 6/ $\omega$ 3 en el testigo fue nueve y diez veces más alta que en los tratamientos y presentó diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ) con respecto a los tratamientos, que se encuentran dentro de lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (5:1-10:1). El rango informado por Muguerza *et al.*, (2003) fue de 10,39 a 11,76, lo que muestra un importante reducción en los productos realizados con aceite de chía.

#### **5.4 Conclusiones**

Los parámetros químicos analizados en productos elaborados (testigo y tratamientos) indican que el proceso de maduración se realizó adecuadamente, y que no presentó hasta el final de la maduración indicios de algún proceso de oxidación.

Se observó una disminución de los ácidos grasos saturados y un aumento en los insaturados, particularmente en el C18:3 que influyó en el valor de la relación de los AG  $\omega 6/\omega 3$ . Al disminuir ese valor se aportan ventajas nutricionales y de salud a los consumidores.

**Figura 8**  
**Cromatograma de una muestra Testigo**

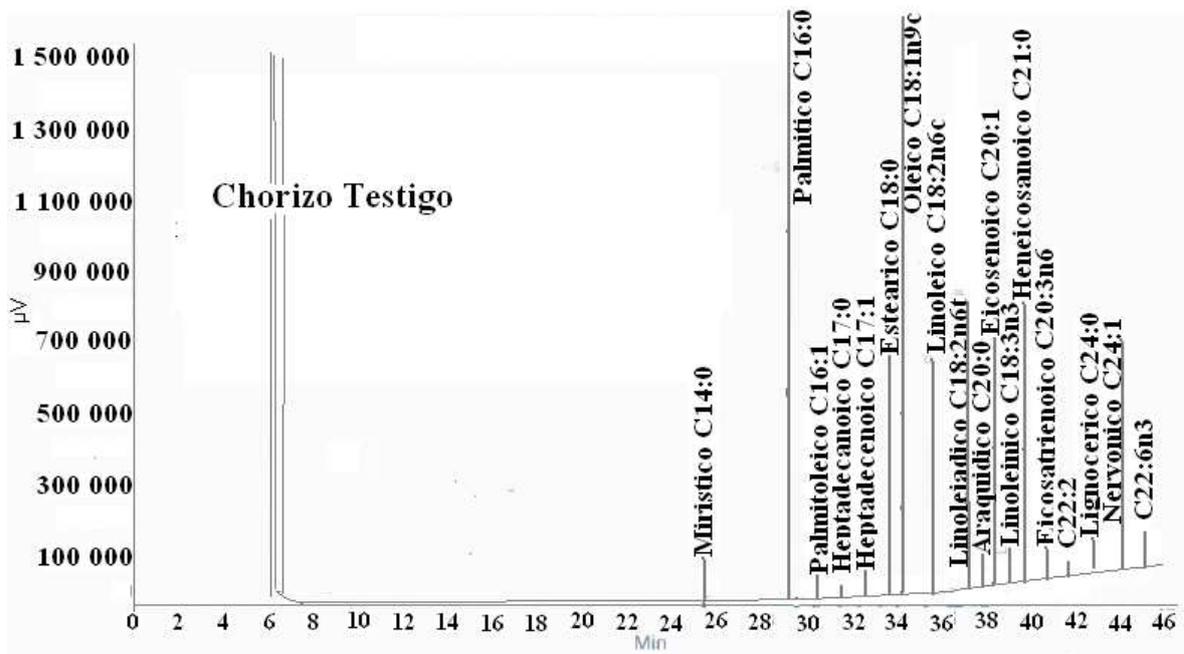
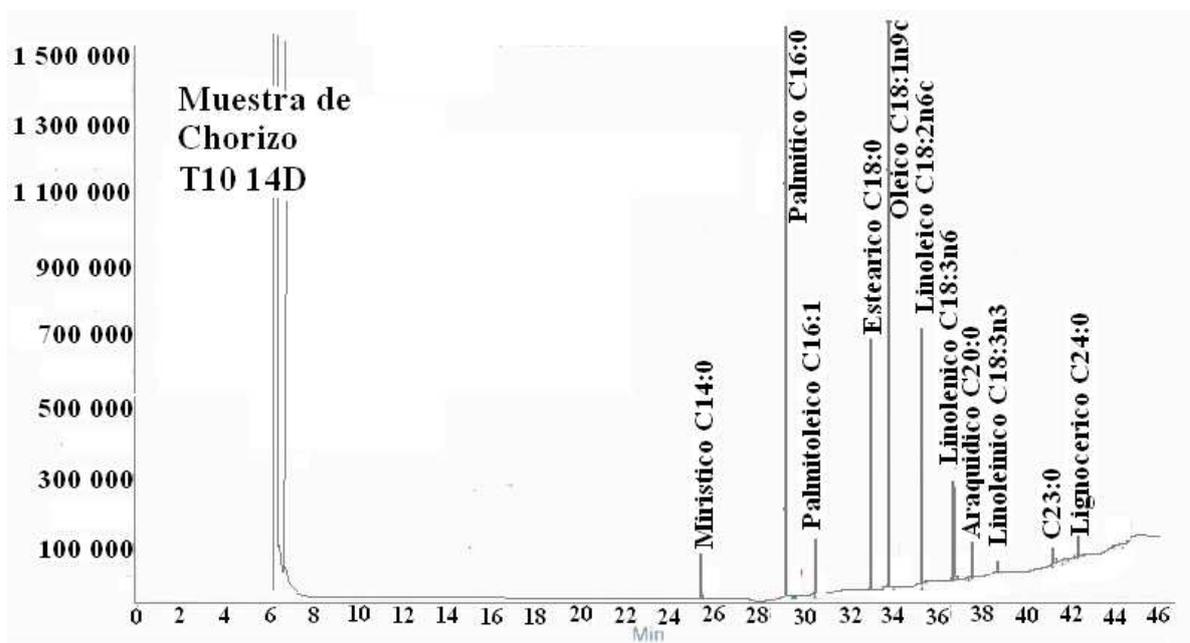


Figura 9  
Cromatograma de una muestra tratamiento al 10 %



## BIBLIOGRAFÍA

AACC (1995). Approved Methods of Analysis. (9<sup>th</sup> ed.). *Am. Assoc. Cereal Chem.* St. Paul, MN., USA.

Abril, J., Barclay, W. y Abril, P. (2000). "Safe use of microalgae (DHA GOLD) in laying hen feed for the production of DHA enriched eggs". CAB International 2000. Wallingford, Oxon, United Kingdom: 197- 202.

Álvarez, C. M., Valdivia, L. M. A. y Aburto, J. M. L., Tecante, C. A. (2008). "Chemical characterization of the lipid fraction of Mexican chia seed (*Salvia hispanica*)". *International Journal of Food Properties*. 11: 687-697.

AOAC. (1995). Solids (Total) and moisture in flour. 925.09. In *Official methods of analysis* (16<sup>th</sup> ed.) Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

AOAC. (1995). Fat (crude) or ether extract in flour. 920.85. In *Official methods of analysis* (16<sup>th</sup> ed.) Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

AOAC. (1995). Protein total in flour. 920.87. In *Official methods of analysis* (16<sup>th</sup> ed.) Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

AOAC. (1995). Ash of flour. 923.03. In *Official methods of analysis* (16<sup>th</sup> ed.) Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

AOAC. (1995). Fiber (crude) in flour. 920.86. In *Official methods of analysis* (16<sup>th</sup> ed.) Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

AOAC. (1995). Moisture in meat. 950.46. In *Official methods of analysis* (16<sup>th</sup> ed.) Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

AOAC. (1995). Fat (crude) or ether extract in meat. 960.39. In *Official methods of analysis* (16<sup>th</sup> ed.) Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

AOAC. (1995). Peroxide value of oils and fats. 965.33. In *Official methods of analysis* (16<sup>th</sup> ed.) Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

AOAC. (1995). Gas chromatography of fatty acids methyl esters. 963.22. In *Official methods of analysis* (16<sup>th</sup> ed.) Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.

Archile, A., Benítez, B., Rangel, L., Izquierdo, P., Huerta-Leidenz, N. y Márquez, E. (1997). "Perfil de ácidos grasos de las principales grasas y aceites disponibles para consumo en la Ciudad de Maracaibo" *Revista Científica, FCV-LUZ*. 7(3): 169-174.

Ayerza, R. (1996). "Fatty acid composition, protein and oil content of chia (*Salvia hispanica* L.) grown in Columbia and Argentina". Third European Symposium on Industrial Grains and Products, Reims, France.

Ayerza, R. (2002). "Omega-3 fatty acid enriched eggs: advantage of chia over other raw materials". Symposium on: Omega-3 fatty acids, evolution and human health. Washington, D.C. September, 23 – 24.

Ayerza, R. y Coates, W. (2002). "Dietary levels of chia: influence on hen weight, egg production and egg sensory quality" *British Poultry Science*. 43(2): 283-290.

Ayerza, R. y Coates, W. (2006). "Contenido total de ácidos grasos omega-3 de algunos alimentos". The University of Arizona.

Badui, D. S. (1990). "*Química de los alimentos*". Ed. Alhambra Mexicana. 2ª. Edición. México.

Bautista J. M., Castro, A., Camarena, E., Wrobel, K., Wrobel, K., Alanís, G., Gamiño, Z. y Da Mota, V. (2007). "Desarrollo de pan integral con soya, chia, linaza y ácido fólico como alimento funcional para la mujer". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 57(1): 78-84.

Beltrán-Orozco, M. C. y Romero, M. R. (2003) "La chía, alimento milenario". *Industria Alimentaria*. Septiembre-octubre. Pp. 20-29.

Beltrán-Orozco, M. C., Salgado C. M. P. y Cedillo, L. D. C. (2005). "Estudio de las propiedades de la semilla de chía (*Salvia hispanica*) y de la fibra dietaria obtenida de la misma". Memorias del VII Congreso Nacional de Ciencias de los Alimentos y Tercer Foro de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Guanajuato, Gto.: 358-366.

Beltrán-Orozco, M. C., Ramírez, M. L., Pineda, S. Cruz, T. y Victoria, M. T. (2008). "Incorporación de harina de semillas de chía en la elaboración de un pan dirigido a niños escolares". En sitio web: [www.alfa-editores.com/web/index](http://www.alfa-editores.com/web/index), consultada en Marzo de 2009.

Bushway, A., Wilson, A., Houston, L. y Bushway, J. (1984). "Selected properties of the lipid and protein fractions from chia seed". *Journal of Food Science*. 49: 555 – 557.

Cahill, J. (2003). "Ethnobotany of chia, *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae)". *Economic Botany*. 57(4): 604-618.

Castro-González, M. I. (2002). "Ácidos grasos omega 3: beneficios y fuentes". *Interciencia*. 27(3): 23

Chicharro, M. "Cromatografía: principios y aplicaciones" en: [www.profeonline.com/laboratorioquimico/mod12](http://www.profeonline.com/laboratorioquimico/mod12)

Coates, W. y Ayerza, R. (1998). "Commercial production of chia in Northwestern Argentina". *Journal of American Chemist's Society*. 75 (10): 1417–1420.

Colombatto, D. (2003). "Análisis de alimentos: Aplicaciones prácticas". Memorias de la 3ª. Jornada Abierta de Lechería. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

Connor, W. (2000). "Importance of n-3 fatty acids in health and disease". *American Journal of Clinical Nutrition*. 71: 171S-175S.

Coronado, M., Vega y León, S., Díaz, G., Gutiérrez, R., Urbán, G. y Schettino, B. (2006) "Actualidad sobre ácidos omega 3 y omega 6 en la industria y en la alimentación humana". *Industria Alimentaria*. 27(4): 16-27.

Dabrio, M. B. (1979). "Cromatografía de gases". Ed. Alhambra. España. 1-17.

Dalla Santa, O. R., Coelho, F. A., Freitas, J. R. S., Dalla Fanta, H. S. y Terra, N. N. (2008). "Características de salamis fermentados producidos sin adición de cultivo iniciador" *Carnilac Industrial*. 23(5): 22-36.

Elizalde, V. H. F. y Menéndez, V. A. M. (2004). "Evaluación de ensilajes de cereales de grano pequeño, sobre la producción de leche de vacas overo colorado". *Agro Sur*. 32(2): 54-59.

Espinosa, Ch. G. (1988). "Técnicas analíticas modernas empleadas en la industria alimentaria". *Industria Alimentaria* 10(4): 3-5.

Evennett, A. (2000). "The health benefits of omega -3 fatty acids". *Nutraceuticals Now*. : 4.

Figuerola, F., Muñoz, O. y Estévez, A. M. (2008). "La linaza como fuente de compuestos bioactivos para la elaboración de alimentos". *Agro Sur*. 36(2): 49-58.

Franco, I., Iglesias, S., Prieto, B. y Carballo, J. (2004). "Perfiles de ácidos grasos totales y libres en embutidos crudo-curados tradicionales de Galicia". *Grasas y Aceites*. 55(3): 273-281.

Garrido, F. A., Arrebola, L. F. J., Egea, G. F. y Martínez, V. J. L. (2003) "Análisis de residuos de plaguicidas en muestras vegetales de carácter graso mediante técnicas cromatográficas de gases y de líquidos con sistema de detección de espectrometría de masas". Memorias de: Foro de la tecnología oleícola y la calidad. Depto. de Química Analítica, Universidad de Almería.

Hentry, H. S., Mittleman, M. y McCrohan, P. R. (1990). *Introducción de la chía y la goma de tragacanto en los Estados Unidos*. p. 252-256. En: J. Janick y J.E. Simon (eds.), *Avances en Cosechas Nuevas*. Prensa de la Madera, Portland, O. Hortipler Plant Database (2002). Sitio en Internet: [www.hortiplerplantdatabase.com/plants/p1/gw1036063.html](http://www.hortiplerplantdatabase.com/plants/p1/gw1036063.html).

Langman, L., Carduza, F. J., Irurueta, M., Grigioni, G., Gallinger, C.I. (2006). "Efecto de la incorporación de semilla de chía (*Salvia hispanica*) en la dieta de pollos sobre el perfil de aroma de la carne" congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Córdoba, Argentina. 345-346.

Logan, A. C. (2003). "Neurobehavioral aspects of omega-3 fatty acids: possible mechanics and therapeutic value in mayor depression". *Alternative Medicine Review*. 8 (4), 410-425.

López, S. M., Triana, M. J., Pérez, G. F. J., Torres, P. M. E. (2005). "Métodos físicos de separación y purificación de sustancias orgánicas". Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. España. ISBN 84-689-1114-3.

MacGuire, S., Alexander, D., Fritsche, K. (1997). "Fish oil source differentially effects rat immune cell  $\alpha$ -tocopherol concentration". *Journal of Nutrition*. 127: 1388-1394.

Manríquez, C. S. C. (2008). "Análisis proximal de semillas no comunes: palma chilena (*Jubaea chilensis*), cilantro (*Coriandrum sativum*), mora (*Rubus glaucus*), rosa mosqueta (*Rosa aff. rubiginosa*) y caracterización de su aceite. Tesis. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile.

Marcos, M. B. (2007). "Mejora de la seguridad alimentaria en productos cárnicos listos para el consumo mediante la aplicación combinada de tecnologías de conservación emergente" Tesis Doctoral. Universitat de Girona.

Mateos, G.G., Rebollar, P.G. y Medel, P. (1996). "Utilización de grasas y productos lipídicos en alimentación animal: grasa pura y mezclas" XII Curso de especialización FEDNA. Madrid.

Morris, D. (2009) "Metabolismo del ácido alfa-linolénico" en el sitio Web: [www.flaxcouncil.ca/files/web/metabolismodelacidoalfalinolénico/](http://www.flaxcouncil.ca/files/web/metabolismodelacidoalfalinolénico/), consultada en febrero de 2009.

Muguerza, E., Gimeno, O., Ansorena, D., Bloukas, J. G. y Astiasarán, I. (2001). "Effect of replacing pork backfat with pre-emulsified olive oil on lipid fraction and sensory quality of Chorizo de Pamplona - a traditional Spanish fermented sausage - ". *Meat Science*. 59: 251-258.

Muguerza, E., Ansorena, D. y Astiasarán, I. (2003). "Improvement of nutritional properties of chorizo de Pamplona by replacement of pork backfat with soy oil". *Meat Science*. 55(4): 1361 – 1367.

Muguerza, E., Ansorena, D. y Astiasarán, I. (2004). "Functional dry fermented sausages manufactured with high levels of n-3 fatty acids: nutritional benefits and evaluation of oxidation". *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 84: 1061-1068.

Noa, M., Pérez, N., Díaz, G. y Vega, S. (2005). "Cromatografía de gases y de líquidos de alta resolución: Aplicación en el análisis de alimentos". Ed. UAM. México

Norma Oficial Mexicana NMX-FF-036-1996. Productos alimenticios no industrializados- Cereales-Trigo. Dirección General de Normas. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. México

Norma Oficial Mexicana NOM-145-SSA1-1995. Bienes y servicios. Productos de la carne. Productos cárnicos troceados y curados. Productos cárnicos curados y madurados. Especificaciones sanitarias.

Norma Oficial Mexicana NOM-147-SSA1-1996, Bienes y servicios. Cereales y sus productos. Harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Dirección General de Calidad Sanitaria de Bienes y Servicios. Secretaría de Salud. México.

Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2002. Productos y Servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.

Nuevas Normas de Calidad de Alimentos (2001). AMV Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.

Pérez, M. C., Hernández, L. A., González, C. F. V., García, S. G., Carballo, C. A., Vázquez, R. T. R. y Tovar, G. M. R. (2006). "Tamaño de la semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje" *Agricultura Técnica en México*. 32(3): 341-352.

Prieto, B. y Carballo, J. (1997). "El control analítico de la calidad en los productos cárnicos crudos-curados" *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 1(5): 112-120.

Reyes-Caudillo, E., Tecante, A., Valdivia-López, M. A. (2008). "Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispánica* L.) seeds". *Food Chemistry*. 107: 656-663.

Rosado, R. J. G. y Salazar, M. I. (2005). "Rescatando a la chía". Facultad de Ingeniería Química Universidad Autónoma de Yucatán, México.

Rose-Hulman, Institute of Technology (2002). Latin American Studies Program. Sahagún, B (1579). Historia General de las Cosas de Nueva España, School of American Research, Santa Fe, USA.

Segura, S. F., Echeverri, F. R., Patiño, L. A. y Mejía, G. A. I. (2007). "Descripción y discusión acerca de los métodos de análisis de fibra y del valor nutricional de forrajes y alimentos para animales". *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*. Universidad de Medellín, Colombia. 14(1): 72-81.

Shimada, Y., Maruyama, K., Okazaki, S., Nakamura, M., Sugihara, A. y Tominaga, Y. (1994). "Enrichment of polyunsaturated fatty acids with *Geotrichum candidum* lipase". *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 71 (9): 951-954.

Simopoulos, A. P. (1999). "Essential fatty acids in health and chronic disease". *The American Journal of Clinical Nutrition*. 70 (suppl): 560S-569S.

Simopoulos, A. P. (2002). "Omega-3 fatty acids in inflammation and autoimmune diseases". *Journal of the American College of Nutrition*. 21(6): 495-505.

[www.semarnat.gob.mx/pfnm/SalviaHispanica.html](http://www.semarnat.gob.mx/pfnm/SalviaHispanica.html) (2008).

[www.fuente-natura.com/chia/html](http://www.fuente-natura.com/chia/html) (2008).

[www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espa%F1ol/metodologias/censos/cepafo](http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espa%F1ol/metodologias/censos/cepafo) (2008)

[www.puebla.gob.mx](http://www.puebla.gob.mx), 2008

Storch, G. J. M. (1974). "Fundamentos de cromatografía de gases" Ed. Alhambra. España pp 4-15.

Thomas, H. (2004). *La conquista de México*. Ed. Planeta. Madrid, España.

Valencia, I., Ansorena, D. y Astiasarán, I. (2006a). "Nutritional sensory properties of dry fermented sausages enriched with n-3 PUFAs". *Meat Science*. 72: 727-733.

Valencia, I., Ansorena, D. y Astiasarán, I. (2006b). "Stability of linseed oil and antioxidants containing dry fermented sausages: A study of the lipid fraction during different storage conditions". *Meat Science*. 73: 269-277.

Valencia, I., Ansorena, D. y Astiasarán, I. (2007). "Development of dry fermented sausage rich in docosahexaenoic acid with oil from the microalgae *Schizochytrium* sp.: Influence on nutritional properties, sensorial quality and oxidation stability". *Food Chemistry*. 104: 1087-1096.

Valenzuela, A. (1999). "Consumption pattern of dietary fats in Chile: n-6 and n-3 fatty acids". *International Journal of Food Science and Nutrition*. 50(2): 127-133.

Valenzuela, B. A., Sanhueza, C. J. y Nieto, K. S. (2002). "¿Es posible mejorar la calidad nutricional de los aceites comestibles?" *Revista Chilena de Nutrición*. 29 (1). 174-180.

Valenzuela, B. A. y Nieto, K. S. (2003). "Ácidos grasos omega 6 y omega 3 en la nutrición perinatal: su importancia en el desarrollo del sistema nervioso y visual". *Revista Chilena de Pediatría*. 74(2): 149-157.

Van Soest, P. J. (1963). "Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of the fiber and lignin". *J. Assoc. Offic. Anal. Chem.* 46: 829

Vega, S., Coronado, M., Gutiérrez, R., Díaz, G., Schettino, B., Salas, H., Ramírez, A. y Ramírez, L. (2007) "Ácidos grasos omega 3 en aceites vegetales comestibles y en otros recursos no convencionales como los granos de chía". *Industria Alimentaria*. 29(4): 34-39.

Yúfera, P. E. (1982) "Química agrícola III. Alimentos" Ed. Alhambra. 1ª. Reimpresión. España. 30-46.

## ANEXO 1

### Materiales, equipos y reactivos usados en la metodología general

#### Materiales

Agitador de cristal  
Cuchara  
Embudo de cristal  
Espátula  
Frascos de cristal  
Jeringa de cristal de 1 mL  
Manguera de conexión  
Matraz bola de 250 mL  
Papel filtro delgado por pliego  
Papel filtro Whatman No. 1  
Pipeta Pasteur  
Refrigerantes  
Vial de cristal ámbar de 30 mL

#### Equipos

Aparato de extracción Soxhlet Multiunit extraction heater Lab line  
Balanza digital Sartorius TE2101  
Balanza analítica Sartorius A210P  
Balanza Ohaus Adventurer Pro  
Baño de agua Büchi B-480  
Columna VF-23 de 60 m x 0,25 mm x 0,39 mm (CP8824)  
Cromatografo de gases Varian 3400  
Congelador Nieto  
Detector de ionización de flama  
Evaporador rotativo Büchi R-114  
Parrilla de calentamiento Lab-line  
Recirculador de agua Polystat  
Sistema de manejo de datos Galaxie Chromatography Workstation

#### Reactivos

Éter de petróleo  
Nitrógeno  
Sulfato de sodio anhidro

## ANEXO 2

### Materiales, equipos y reactivos usados para cumplir con el objetivo específico 1 (Composición de semillas de chía)

#### Materiales

Agitador de cristal  
Bolsas plásticas transparentes de ½ y 1 Kg  
Bureta  
Cartulina blanca  
Cartucho de papel filtro  
Charolas de aluminio, varios tamaños  
Criba de metal (malla 16 con abertura de 1,19 mm)  
Criba de metal (malla 18 con abertura de 1,00 mm)  
Criba de metal (malla 20 con abertura de 0,84 mm)  
Crisol de porcelana  
Crisol Goch  
Dedal recuperador de solvente  
Desecador de cristal  
Embudo buchner de cerámica  
Espátulas de metal  
Fondo de metal con tapa  
Jarra con resistencia de calentamiento  
Jeringa de plástico  
Manguera de conexión  
Matraz Erlenmeyer de 500 mL  
Matraz Kitazato de 1000 mL  
Matraz Kjeldahl  
Papel copia  
Perlas de vidrio  
Pinzas de metal  
Pipetas  
Porta cartucho  
Probetas de 25, 50, 100, 250 y 500 mL  
Pisetas de plástico  
Tapones de hule  
Tela de algodón  
Tubos digestores  
Vasos de precipitados de 100, 250 y 500 mL  
Vaso digestor Berzelius

**Equipos**

Balanza digital Ohaus  
Balanza analítica Sartorius A210P  
Bomba de vacío Feli Welch, modelo 1402  
Campana de extracción Lux Lab  
Estufa GCA/ Precision Thelco modelo 28  
Estufa Stabiltherm Blue M, gravity oven  
Estufa Riossa, modelo HSCF  
Equipo para determinar proteína sin marca  
Equipo Goldfisch de grasa Labconco, No. serie 62304  
Equipo Labconco de fibra, No. de serie 82130  
Horno Represa s/ modelo  
Molino Hsiangtai Modelo SW-2  
Mufla Caisa Hupper

**Reactivos**

Ácido bórico 4%  
Ácido clorhídrico 0,1N  
Ácido sulfúrico concentrado  
Ácido sulfúrico 0,255N  
Ácido sulfúrico 72%  
Agua corriente  
Agua destilada  
Éter de petróleo  
Hidróxido de sodio 0,313N  
Hidróxido de sodio 33%  
Indicador de proteínas  
Mezcla catalizadora de proteínas  
Solución detergente neutra  
Solución detergente ácida  
Zinc

### **ANEXO 3**

#### **Materiales equipos y reactivos usados para cumplir el objetivo específico 2 (Perfil de ácidos grasos en aceite de chía)**

##### **Materiales**

Jeringa de vidrio para cromatógrafo

Micropipetas

Pipetas Pasteur

Viales de 3 mL con tapón hermético

##### **Equipos**

Balanza Ohaus Adventurer Pro

Vortex

##### **Reactivos**

Estándar de ésteres metílicos de ácidos grasos Supelco (código 47885-U)

Hexano grado HPLC

Solución de metóxido de sodio/metanol 0,5N

## ANEXO 4

### Materiales, equipos, insumos y reactivos para cumplir con el objetivo específico 3 (Chorizo adicionado con aceite de chía)

#### Materiales

Bolsas de plástico de 0,5 y 1 Kg  
Cajas de plástico  
Cuchillos  
Envases de plástico con tapa  
Matraz Erlenmeyer con tapón esmerilado  
Pipeta volumétrica  
Tablas para picar  
Vasos de precipitados 250 mL

#### Equipos

Balanza analítica Sartorius A210P  
Báscula PLS 2000  
Cámara frigorífica Tyler modelo 7400265 SD  
Desecador de cristal  
Estufa Riossa, modelo HSCF  
Mesa de trabajo con cubierta de acero inoxidable  
Molino para carne TOR-REY M22R, con aditamentos para embutir  
Parrilla Sibron Thermolyne tipo 1000 Stir plate  
Potenciómetro Conductronic pH 20

#### Insumos

Aceite de chía  
Agua potable  
Ajo en polvo (Lote 100109, caducidad 10/01/2010)  
Ascorbato de sodio (son lote, sin caducidad)  
Carne de cerdo magra  
Caseinato de sodio (Lote 932286, sin caducidad)  
Cerelesa dextrosa (Lote KDCMN, caducidad 29/07/2011)  
Citrato de sodio (Lote UJ-813, caducidad 01/03/2011)  
Cloruro de sodio (Lote J58 108, caducidad 27/02/2013)  
Concentrado de leche en polvo (Lote 291206, sin caducidad)  
Funda de colágeno Naturin (No. 36X35)  
Hilo cáñamo  
Lactosa (Lote 10393675, sin caducidad)  
Lardo de cerdo  
Nitrato de sodio granulado blanco (Lote 17021180, sin caducidad)  
Nitrito de sodio (Caducidad 4 meses)  
Paprika (Lote 50655095, caducidad 28 /10/2010)  
Polifosfato (Lote 2230-29192, caducidad 5 años)

Proteína aislada de soya (Lote 081217, caducidad 17/12/2009)

**Reactivos**

Agua destilada

Etanol 96%

Éter dietílico neutralizado con hidróxido de sodio 0,1%

Hidróxido de sodio 0,1N

Solución de ácido acético y cloroformo (2:1 v/v)

Solución de almidón

Solución de fenolftaleína

Solución saturada de yoduro de potasio

Tiosulfato de sodio 0,1N

