

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA  
SALUD ANIMAL

Evaluación en el desempeño productivo y propiedades  
físico químicas en carne de conejo de engorda Nueva  
Zelanda Blanco, con diferentes niveles de inclusión de  
Chia (*Salvia hispanica L.*).

## TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS  
PRESENTA

ALEJANDRO NERI HERNÁNDEZ

TUTOR: FRANCISCO A. CASTREJÓN PINEDA

COMITÉ TUTORAL: ERNESTO AVILA GONZÁLEZ  
FERNANDO PEREZ GIL ROMO



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **DEDICATORIA**

### **A mi familia:**

Las dos mujeres que me impulsan en la vida contra todas las adversidades, Abigail la compañera de mi vida que me ha dado el mayor de los tesoros y Dara la personita por quien estamos luchando.

### **A mis padres y hermanos:**

Gracias por todo su apoyo incondicional y cariño que nos brindan, me he esmerado para ser uno de sus logros.

### **A Don Manuel, la Señora Carmen y Tere:**

Gracias por apoyarnos y este logro también es de ustedes.

## AGRADECIMIENTOS

AL Dr. Ernesto Ávila González por su apoyo, enseñanza y sobre todo su dedicación para poder concluir mi tesis, le estoy muy agradecido.

Al Dr. Francisco Castrejón gracias por aceptar ser mi tutor y sobre todo su tiempo y dedicación que siempre me ha tenido.

Al Dr. Fernando Pérez Gil gracias por el apoyo que ha brindado y su colaboración para concluir este trabajo.

A los Drs. Silvia Buntinx Dios y Carlos Gutiérrez Olvera, su tiempo y las aportaciones brindadas para la culminación de mi tema de tesis.

Al personal del CEIEPAPv, por las facilidades otorgadas, su compañía hizo el trabajo más ameno, especialmente al MC. Arturo Cortez y la MVZ. Hilda Jandete.

A la MVZ. Marisela Juárez gracias por su apoyo incondicional y su amistad, desde el inicio de mi carrera.

Al MC Benjamín Fuente gracias por siempre apoyarnos cuando más lo necesitamos, y sobre todo gracias por su amistad.

Al Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Subirán por su colaboración para realizar las pruebas de ácidos grasos, en especial a la Química Rosa María Castillo por contar con su asesoría.

Al Doctor Manuel Álvarez de la empresa Degussa por el análisis de aminoácidos de la semilla de chía.

A los amigos quienes a lo largo de la carrera compartimos experiencias agradables, especialmente a Mireya, Alfredo, Paola, Wendy, Yony, Miguel, Lalo e Isaias.

## INDICE

	PÁGINA
ÍNDICE DE CUADROS .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	IX
RESUMEN .....	X
REVISIÓN DE LA LITERATURA .....	1
Chía ( <i>Salvia hispanica</i> L.) .....	3
Clasificación de los ácidos grasos .....	8
Elongación y desaturación de la cadena de ácidos grasos $\omega$ -6 y $\omega$ -3.....	11
Funciones biológicas de los ácidos grasos omega- 3.....	14
Estructura de la membrana .....	14
Gestación y crecimiento .....	16
Formación de eicosanoides y sus efectos en la respuesta inmune .....	16
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	25
<b>HIPÓTESIS</b> .....	26
<b>OBJETIVOS</b> .....	26
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	28
Animales y alojamiento.....	28
Dietas experimentales.....	28
Variables productivas.....	31
Características fisicoquímicas de la carne.....	32
Coloración .....	32
Pérdida por cocción y fuerza de corte .....	33
Lípidos y perfil de ácidos grasos .....	34

Diseño experimental .....	34
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	37
Análisis químico proximal, fracciones de fibra, perfil de aminoácidos y perfil de ácidos grasos de la semilla de chía ( <i>Salvia hispanica L.</i> ).....	37
Análisis químico proximal, fracciones de fibra, perfil de aminoácidos y perfil de ácidos grasos de las dietas experimentales.....	40
Variables productivas .....	42
Características fisicoquímicas de la carne .....	45
Coloración .....	45
Pérdida por cocción y fuerza de corte .....	52
Lípidos totales y perfil de ácidos grasos en <i>Biceps femoris</i> y grasa perirrenal .....	53
<b>CONCLUSIONES</b> .....	60
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	61
<b>ANEXO 1</b> .....	69

<b>Cuadro 1.</b> NOMBRE COMÚN Y CIENTÍFICO DE ESPECIES QUE CONSERVAN EL NOMBRE CHÍA.....	4
<b>Cuadro 2.</b> CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA (PC), EXTRACTO ETÉREO (EE) Y ÁCIDOS GRASOS OLEICO, LINOLEICO Y LINOLÉNICO (%) EN LA SEMILLA DE CHÍA.....	7
<b>Cuadro 3.</b> NOMENCLATURA UTILIZADA PARA LOS ÁCIDOS GRASOS.....	9
<b>Cuadro 4.</b> ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE LOS EICOSANOIDES DERIVADOS DEL ÁCIDO ARAQUIDONICO (AA) Y EICOSAPENTAENOICO (EPA).....	21
<b>Cuadro 5.</b> EFECTO MODULADOR DE LOS EICOSANOIDES FORMADOS A PARTIR DE LOS ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3.....	22
<b>Cuadro 6.</b> EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3 EN PACIENTES CON ENFERMEDAD INFLAMTORIA INTESTINAL.....	23
<b>Cuadro 7.</b> EJEMPLOS DE LA MEJORA EN CONDICIONES CLÍNICAS CON LA SUPLEMENTACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES.....	24
<b>Cuadro 8.</b> COMPOSICIÓN DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES (kg).	30
<b>Cuadro 9.</b> REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES PARA CONEJOS DE ENGORDA DE 35 A 70 DÍAS.....	31
<b>Cuadro 10.</b> COMPOSICIÓN DE AMINOÁCIDOS (g/100 g DE PROTEÍNA BRUTA) DE LA SEMILLA DE CHÍA DE JALISCO Y SINALOA.....	38

<b>Cuadro 11.</b> ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL(AQP), FRACCIONES DE FIBRA (FF), PERFIL DE AMINOÁCIDOS (PAA) Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS (PAG) DE LA SEMILLA DE CHÍA ( <u>Salvia hispanica L.</u> ).....	39
<b>Cuadro 12.</b> ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL(AQP), FRACCIONES DE FIBRA (FF), PERFIL DE AMINOÁCIDOS (PAA) Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS (PAG) DE LA SEMILLA DE CHÍA ( <u>SALVIA HISPANICA L.</u> ).....	41
<b>Cuadro 13.</b> EFECTO EN LAS VARIABLES PRODUCTIVAS DE DIFERENTES NIVELES DE INCLUSIÓN DE CHÍA ( <i>Salvia hispanica L.</i> ) EN LA DIETA.....	43
<b>Cuadro 14.</b> CONSUMO TOTAL DE DIFERENTES FRACCIONES DURANTE 35 DÍAS, EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS EXPERIMENTALES.....	43
<b>Cuadro 15.</b> DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE LUMINOSIDAD (L*), ROJOS (a*) Y AMARILLOS (b*) A LA ALTURA DE LA SÉPTIMA VÉRTEBRA LUMBAR.....	47
<b>Cuadro 16.</b> DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE LUMINOSIDAD (L*), ROJOS (a*) Y AMARILLOS (b*) EN <i>BICEPS FEMORIS</i> .....	48
<b>Cuadro 17.</b> DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE LUMINOSIDAD (L*), ROJOS (a*) Y AMARILLOS (b*) EN GRASA PERIRRENAL.....	50
<b>Cuadro 18.</b> EFECTO EN PERDIDA POR COCCIÓN Y FUERZA AL CORTE DE LA CANAL CON DIFERENTES NIVELES DE INCLUSIÓN DE CHÍA ( <u>Salvia hispanica L.</u> ) EN LA DIETA.....	52

<b>Cuadro 19.</b> DETERMINACIÓN DE LÍPIDOS TOTALES Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS (%) EN <i>BICEPS FEMORIS</i> CON DIFERENTES NIVELES DE INCLUSIÓN DE CHÍA.....	55
<b>Cuadro 20.</b> CONTENIDO CALCULADO (mg/100g) DE ÁCIDOS GRASOS PERTENECIENTES A LAS FAMILIAS OMEGA 3 Y 6 EN <i>BÍCEPS FEMORIS</i> SEGÚN EL TRATAMIENTO.....	57
<b>Cuadro 21.</b> PERFIL DETERMINADO DE ÁCIDOS GRASOS (%) EN GRASA PERIRRENAL CON DIFERENTES NIVELES DE INCLUSIÓN DE CHÍA ( <i>Salvia hispanica L.</i> ).....	58

## Índice de figuras

Página

<b>Figura 1.</b> PRINCIPALES ESTRUCTURAS MORFOLOGICAS DE LA SEMILLA DE CHÍA ( <i>Salvia hispanica</i> L.).....	6
<b>Figura 2.</b> NOMENCLATURA DE LOS ÁCIDOS GRASOS.....	10
<b>Figura 3.</b> MECANISMO DE LA ENZIMA 9-DESATURASA.....	11
<b>Figura 4.</b> CONVERSIÓN DE LINOLEATO EN ARAQUIDONATO.....	12
<b>Figura 5.</b> CONVERSIÓN METABÓLICA DE LOS PRINCIPALES GRUPOS DE ÁCIDOS GRASOS.....	13
<b>Figura 6.</b> FORMACIÓN DE EICOSANOIDES DE ACUERDO CON EL TIPO DE SUSTRATO.....	18

## RESUMEN

**NERI HERNÁNDEZ ALEJANDRO. Evaluación en el desempeño productivo y propiedades físico químicas en carne de conejo de engorda Nueva Zelanda Blanco, alimentados con diferentes niveles de inclusión de Chia (*Salvia hispanica L.*).** Se elaboraron tres dietas experimentales con la finalidad de evaluar la inclusión de la semilla de chía en dietas para conejos de engorda de 35 a 70 días de edad sobre las variables productivas y propiedades fisicoquímicas de la carne de conejo. Se emplearon 20 conejos por tratamiento distribuidos al azar en tres tratamientos (0, 10 y 20% de inclusión de chía). Las dietas experimentales se ofrecieron en forma de pellet, a las cuales se les realizó un análisis químico proximal, y análisis de Van Soest. Se determinaron lípidos totales y perfil de ácidos grasos de la semilla de chía, de las dietas experimentales, de *Biceps femoris* y de la grasa perirrenal. El color se registró utilizando un colorímetro de reflectancia, los días 1, 4, 8 y 12 de almacenamiento en *Biceps femoris*, *Longissimus dorsi* y grasa perirrenal, tomando en cuenta los valores de L\*, a\* y b\*. Se realizó la prueba de fuerza en la zona de *Longissimus dorsi*. La semilla de chía contiene porcentajes altos de proteína (19.61%), fibra (20.58%) y extracto etéreo (35.76%), además de un alto contenido en ácido alfa-linolénico (ALA) (62.22%), seguido de linoleico (19.90%). No se observó diferencia estadística significativa en las variables productivas, ganancia diaria de peso, consumo de alimento, peso final, mortalidad y peso de la canal ( $P > 0.05$ ). La conversión alimenticia y rendimiento de la canal mejoraron al incluir 10% y 20% de chía ( $P < 0.05$ ). El color no mostró diferencias entre tratamientos pero sí en los días de almacenamiento; la luminosidad aumentó, los rojos disminuyeron y la coloración amarilla incrementó con el tiempo. El total de lípidos contenidos en *Biceps femoris* fue mayor en los animales alimentados con 10 y 20% de semilla de Chía ( $P < 0.05$ ). La fuerza de corte disminuyó en los tratamientos con 10 y 20% de chía ( $P < 0.05$ ). La mayoría de los ácidos grasos presentes en la zona de *Biceps femoris* fueron modificados por el

tipo de dieta ( $P < 0.05$ ), a excepción de los ácidos esteárico, Dihomoglinolénico y Docosaheptaenoico, donde su valor no fue afectado por el tratamiento ( $P > 0.05$ ). El perfil en *Biceps femoris* aumentó en las cantidades de alfa-linolénico (ALA) conforme se incluyó la semilla de Chia en la dieta. En el caso del ácido Eicosapentaenoico la concentración en las dietas con 10 y 20% de chía aumentaron 3.3 y 3.7 veces en comparación con la dieta testigo. Los resultados de grasa perirrenal indicaron un comportamiento similar a lo encontrado en *Bíceps femoris*, solo los ácidos EPA y DHA no mostraron diferencias entre tratamientos ( $P > 0.05$ ).

La inclusión de la semilla de chía en dietas para conejo no ocasionó efectos negativos en las variables productivas, incluso se observó mejoría en la conversión alimenticia. Lo mismo ocurrió en la carne, que fue más suave en los tratamientos que incluyeron semilla de chía y tuvieron una mayor concentración de lípidos intramusculares.

**PALABRAS CLAVE: CONEJOS, CHÍA, CARNE**

## REVISIÓN DE LITERATURA

Con el crecimiento de la población humana día con día, cubrir necesidades básicas como la alimentación es cada vez más difícil. El proveer de alimentos nutritivos se complica sobre todo en países y zonas rurales que no son tan favorecidas por falta de capacitación, los altos costos de producción y el difícil acceso a la tecnología, limitando así la producción animal de especies tradicionales. Una alternativa adecuada como fuente de nutrientes de origen animal para la población en México puede ser la cunicultura. La producción mundial de conejo se estimó en alrededor de 1'614,000 toneladas<sup>1</sup>. Entre los principales países productores de carne de conejo se encuentran Italia, Francia, Ucrania, China y España. Se estima que México produjo 15 mil toneladas y el consumo per cápita fue de 182 gramos<sup>1,2,3</sup>.

La especie ofrece una alta prolificidad, ciclo reproductivo corto, requiere de poco espacio y presenta elevada rusticidad. Su carne posee un elevado valor nutritivo: el contenido de proteína oscila entre 18 y 21%, valores altos comparados con carne de cordero o cerdo, con una cantidad mayor de aminoácidos totales<sup>4</sup>. El porcentaje de grasa es menor al de otras especies; la mayor cantidad está situada en el riñón. Entre los músculos individuales la cantidad de grasa puede variar; por ejemplo, se pueden encontrar porcentajes de 1 a 2 % en el músculo *Longissimus dorsi*, a 3-4 % en miembros posteriores. Estos porcentajes representan una ventaja al tratar de disminuir el consumo de grasas<sup>5,6,7</sup>.

La alimentación de los conejos se basa principalmente en forrajes, permitiendo una menor dependencia de fuentes proteínicas y energéticas, especialmente en países en vías de desarrollo. Sin embargo, los forrajes presentan una gran variación de nutrimentos; algunos exceden los requerimientos del conejo, mientras que otros son deficientes en energía y proteína y, por ello, es necesario utilizar otras fuentes alternativas de ingredientes para cubrir las necesidades nutricionales que la especie requiere<sup>5,6</sup>.

Con base en lo anterior, se empleó la semilla de chíá (Salvia hispanica L.) como un ingrediente en dietas para conejo de engorda, ya que su contenido de proteína bruta (10.05-26.5%), extracto etéreo (24.3-38.5%), fibra bruta (19-21%) y aporte de ácidos grasos esenciales, la colocan como un ingrediente óptimo en dietas para conejo<sup>8,9,10,11</sup>.

### **Chía (Salvia hispanica L.)**

La utilización de diferentes cultivos por las sociedades humanas tiene una larga historia, reconociendo que los vegetales cubren diferentes necesidades, como la alimentación. En el lenguaje náhuatl se usaba la palabra Chía o Chían para designar aquellas especies cuyas semillas mostraban un alto contenido de aceite y mucílago, características que eran utilizadas con fines alimenticios, medicinales y ceremoniales. La clasificación náhuatl de las plantas y semillas se basa en las características esenciales de la planta, clasificándolas de dos formas; 1) por una morfología similar o 2) por su función o utilidad y se podía incluir: forma de la flor, color, tamaño de la semilla o su hábitat de crecimiento<sup>8</sup>.

Se menciona un amplio número de especies que siguen conservando el nombre de chía, con características similares a la planta mencionada, la mayoría perteneciente a la familia Labiata (Cuadro 1)<sup>8,10,12</sup>.

El mayor número de formas de chía silvestre se encuentra en la vertiente del Pacífico, en concreto en la zona de transición ecológica ubicada entre los 500 y 1700 msnm. Las especies Salvia hispanica L. e Hyptys suaveolens son las más distribuidas; la primera es propia de regiones templadas y la segunda de climas cálidos. Salvia privoides y S. tiliaefolia se encuentran en el Valle de México y S. Columbariae es común en la región occidente de Estados Unidos de Norteamérica<sup>8</sup>.

#### **Cuadro 1. NOMBRE COMÚN Y CIENTÍFICO DE ESPECIES QUE CONSERVAN EL NOMBRE CHÍA**

Nombre científico	Nombre común
<i>Hyptys suaveolens</i>	Chía grande
<i>Salvia polystachya</i>	Chía del Valle de México y Guerrero
<i>Salvia tiliaefolia</i>	Chía del valle de México
<i>Salvia angustifolia</i>	Chía cimamona
<i>Salvia cyanea</i>	Chía azul grande
<i>Salvia columbariae</i>	Chía de California
<i>Salvia hispanica L.*</i>	Chía o Chian

\*Variedad de semilla usada en la presente investigación Fuente: Hernández<sup>8</sup>

En el presente trabajo se hablará de la especie Salvia hispanica L. o semilla de chía. Esta semilla constituyó uno de los tributos más importantes que los pueblos del Sur y Centro de México pagaban al imperio azteca. La ciudad de Tenochtitlán recibía cada año de los pueblos conquistados un mínimo de 6360 toneladas de maíz, 4410 toneladas de frijoles, 4410 toneladas de Chía y 3780 toneladas de amaranto <sup>8,9,10</sup>.

La semilla tenía fines ceremoniales, alimenticios y medicinales; hay escasa información sobre el uso ceremonial. Consumían agua de chia y en algunas fiestas usaban el aceite para decorar jícaras o recipientes utilizados para las ofrendas. Como alimento, el fruto se tostaba y molía para elaborar una harina o *chianpinolli*, que se mezclaba con harina de maíz, disolviéndose en jugo hervido de maguey el cual contenía un poco de chile. A esta bebida se le llamaba *chiantzotzolatolli*. En forma de harina

se utilizaba como alimento para largas travesías o para consumirlo a lo largo del año.

Por sus características mucilaginosas y la acción de su aceite, medicinalmente era muy importante. El fruto o la harina mezclada con agua o cocida se tomaban en atole y era eficaz contra la fiebre, diarrea, estreñimiento y para la regulación de la secreción biliar<sup>8</sup>. Se desarrollaron dos variedades; semillas blancas (*chiantzotzotl*) para preparar bebidas y la otra una semilla moreno-grisáceo (*tlilticchien*), utilizada para la extracción de aceite<sup>8</sup>.

Lo anterior explica la importancia que la semilla ha tenido en nuestra cultura. A pesar de ello, existen pocas investigaciones y gran una variación entre muestras sobre el valor nutricional de la semilla de chía.

La semilla de chía proviene de una herbácea anual de un metro de altura. La Figura 1 muestra sus principales estructuras morfológicas. Es una especie nativa de México de hábito terrestre; crece en bosques de juníperos, encino, pino, pino-encino y otras coníferas.

En el territorio nacional se encuentra distribuida en los estados de Sonora, Nayarit, Jalisco, Campeche y Yucatán. Su rendimiento por hectárea es variado, Hernández<sup>8</sup> menciona un rendimiento de una tonelada por hectárea sin embargo Reyes (2006) cita un rendimiento de tres toneladas por hectárea; con un costo por tonelada de \$2700.00 MN para el año 2005.

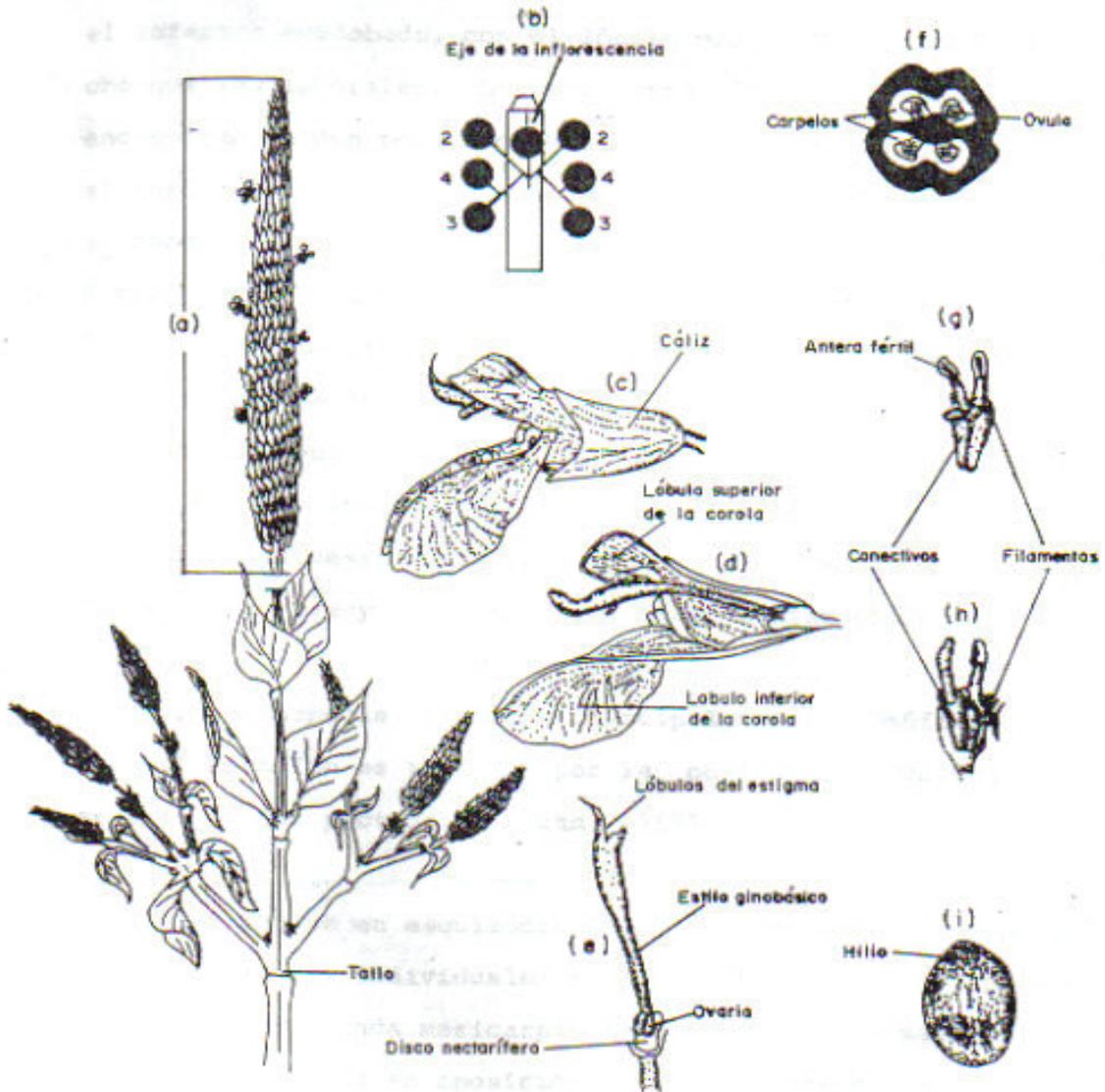


FIG. 1 . PRINCIPALES ESTRUCTURAS MORFOLOGICAS DE LA CHIA (*Salvia hispanica* L.)  
 (a) Inflorescencia terminal (Verticilastro) ; (b) Cima dicotómica axilar. las flores están numeradas por orden de aparición ; (c) Vista lateral de la flor ; (d) corte longitudinal de la flor ; (e) Gineceo ; (f) Corte transversal del ovario, mostrando los dos carpelos y los cuatro lóculos ; (g) Vista anterior de los estambres ; (h) Vista posterior de los estambres ; (i) Cara ventral del fruto (mericarpio) .

Figura 1. PRINCIPALES ESTRUCTURAS MORFOLOGICAS DE LA SEMILLA DE CHÍA (*Salvia hispanica* L.).

En lo que respecta a su valor nutricional, el Cuadro 2 muestra una recopilación de la concentración de proteína cruda, aceite, ácidos grasos saturados y ácidos grasos oleico, linoleico y linolénico<sup>8</sup>. Las semillas analizadas eran provenientes de Olinalá, Temalacatzingo y Tlapala, Guerrero, y de los mercados de Jamaica, DF y Tepalcingo, Morelos.

**Cuadro 2. CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA (PC), EXTRACTO ETÉREO (EE) Y ÁCIDOS GRASOS OLEICO, LINOLEICO Y LINOLÉNICO (%) EN LA SEMILLA DE CHÍA**

ESPECIE	PC	EE	OLEICO	LINOLEICO	LINOLÉNICO
<i>Salvia hispanica</i> L.	ND	34.0	0.7	45.2	39.3
<i>Salvia hispanica</i> L.	22.8	24.3	4.0	26.0	54.1
<i>Salvia hispanica</i> L.	ND	ND	4.3	28.2	58.8
<i>Salvia hispanica</i> L.	ND	25.0	0.8	48.6	42.2
<i>Salvia hispanica</i> L.	ND	31-38	ND	ND	58.1
<i>Salvia spp.</i>	10.05	26.4	ND	ND	ND
<i>Salvia hispanica</i> L.	26.5	38.5	9.0	18.4	61.6

ND: no determinado

Fuente: Hernández<sup>8</sup>

La semilla de chía es una excelente fuente de ácidos grasos esenciales, en especial de ácido alfa-linolénico (ALA), precursor de la familia omega-3. Sin embargo, la calidad y concentración de nutrientes pueden variar de acuerdo con el lugar de origen de la semilla. Al estar influidos por la localidad, en ocasiones la cantidad de ácidos grasos insaturados puede aumentar y servir para proteger a la planta de cambios ambientales<sup>8,10,11</sup>. Los ácidos grasos insaturados tienden a sufrir una mayor oxidación, lo que puede producir sabores desagradables a los productos. La oxidación en la semilla es reducida por la presencia de antioxidantes naturales como son la miricetina, quercetina, el kaemperol y el ácido cafeico<sup>10,13,14</sup>.

Debido a la importancia que ha tenido la semilla y a sus características nutricionales, se propone como un ingrediente para dietas de crecimiento en conejos. Sin embargo, un enfoque especial en esta investigación es su perfil de ácidos grasos, especialmente los pertenecientes a la familia omega-3. Se espera que el consumo de estos ácidos aumente su cantidad en la carne y en los depósitos de grasa y, así, ayudar a que la carne de conejo pueda considerarse como un alimento funcional. Un alimento funcional se define como cualquier alimento, modificado o no, que dentro de su composición presenta moléculas que pueden proveer beneficios a la salud más allá de aquéllos relacionados con el contenido nutrimental tradicionalmente descrito en los alimentos<sup>15</sup>. Para comprender la importancia de los ácidos grasos omega 3, se requiere de una breve revisión de la clasificación de los ácidos grasos y de su función como constituyente de tejidos y de los beneficios en el organismo.

### **Clasificación de los ácidos grasos**

La nomenclatura de uso frecuente designa a los ácidos grasos de acuerdo con el tipo de saturación. Así, los ácidos saturados (no presentan dobles enlaces) terminan en oico y los insaturados (uno o más dobles enlaces), en enoico<sup>16,17,18</sup>.

Los átomos de carbono de un ácido graso se numeran desde el grupo carboxilo. El alfabeto griego se utiliza para indicar los diferentes átomos de carbono. El carbono  $\alpha$  es adyacente

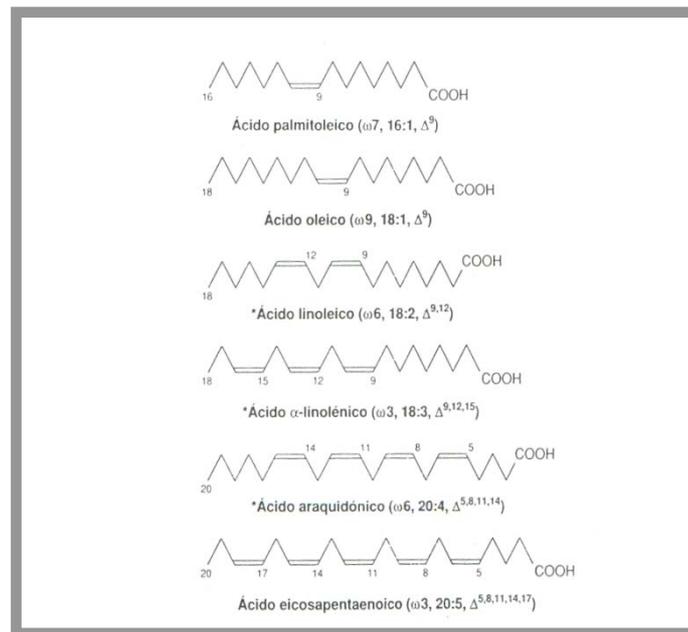
al grupo carboxilo y al carbono metilo terminal se le conoce como  $\omega$  o  $n$  <sup>16,17</sup>. Para indicar el número y la posición de enlaces dobles se utiliza la convención  $\Delta$ . Así,  $\Delta 9$  indica un enlace doble entre los carbonos 9 y 10; pero  $\omega 9$  indica un enlace doble en el noveno carbono contando desde el grupo metilo terminal (Cuadro 3) <sup>16,17,18,19</sup>.

**Cuadro 3. NOMENCLATURA UTILIZADA PARA LOS ÁCIDOS GRASOS**

NOMBRE COMUN	NOMBRE SISTEMICO	ABREVIATURA	FORMULA
Linoleico	Cis-9,12,- octadecadienoico	18:2 $\omega 6$	C <sub>18</sub> -H <sub>32</sub> -O <sub>2</sub>
$\Gamma$ -linolénico	Cis-6,9,12- octadecatrienoico	18:3 $\omega 6$	C <sub>18</sub> -H <sub>30</sub> -O <sub>2</sub>
Dihomoglinolénico	Cis-8,11,14- eicosatrienoico	20 :3 $\omega 6$	C <sub>20</sub> - H <sub>34</sub> - O <sub>2</sub>
Araquidónico (AA)	Cis-5,8,11,14- eicosatetraenoico	20 :4 $\omega 6$	C <sub>20</sub> -H <sub>32</sub> - O <sub>2</sub>
Adrénico	Cis-7,10,13,16- docosatetraenoico	22 :4 $\omega 6$	C <sub>22</sub> -H <sub>36</sub> - O <sub>2</sub>
Osmond	Cis-4,7,10,13,16- docosapentaenoico	22 :5 $\omega 6$	C <sub>22</sub> - H <sub>34</sub> - O <sub>2</sub>
$\alpha$ -linolénico (ALA)	Cis-9,12,15- octadecatrenoico	18 :3 $\omega 3$	C <sub>18</sub> -H <sub>30</sub> - O <sub>2</sub>
Estearidónico	Cis-6,9,12,15- octadecatetraenoico	18 :4 $\omega 3$	C <sub>18</sub> -H <sub>28</sub> -O <sub>2</sub>
Timnodónico (EPA)	Cis-5,8,11,14,17- eicosapentaenoico	20 :5 $\omega 3$	C <sub>20</sub> -H <sub>30</sub> -O <sub>2</sub>
Clupanodónico(DPA)	Cis-7,10,13,16,19- docosapentaenoico	22 :5 $\omega 3$	C <sub>22</sub> -H <sub>34</sub> -O <sub>2</sub>
Cervónico (DHA)	Cis- 4,7,10,13,16,19- docosahexaenoico	22 :6 $\omega 3$	C <sub>22</sub> -H <sub>32</sub> -O <sub>2</sub>

\*Adaptado de varios autores<sup>16,17,18 y 19</sup>

Los ácidos grasos insaturados pueden contener un solo doble enlace (monoinsaturado) o más de un doble enlace (poliinsaturados) (Figura 2). Los mamíferos y los vegetales tienen ácidos mono y poliinsaturados, mientras que las bacterias solo tienen monoinsaturados. La oxidación de los dobles enlaces por el oxígeno ambiental se conoce como peroxidación lipídica. Una forma de protegerse contra esta oxidación es tener dobles enlaces cada tres átomos de carbono<sup>16,19</sup>.



**Figura 2. NOMENCLATURA DE LOS ÁCIDOS GRASOS**

Fuente: Murria et al.<sup>16</sup>

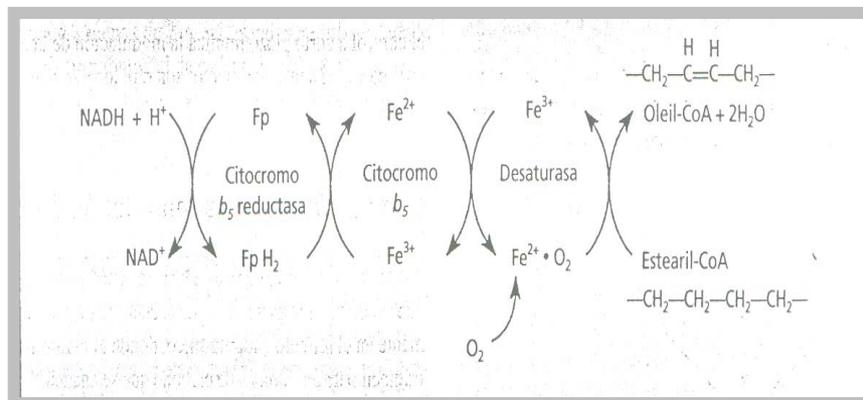
Existen ácidos grasos que no pueden ser sintetizados por los animales, debido a que no pueden introducir dobles enlaces más allá del carbono 9, por ello se denominan ácidos grasos esenciales. Los ácidos linoleico y linolénico son los dos ácidos grasos esenciales y deben obtenerse a través de la dieta; sin embargo, una vez obtenidos, por medio de procesos de elongación y desaturación el organismo

puede sintetizar toda la familia de ácidos grasos omega 3 y 6<sup>16,17,18,19</sup>.

### Elongación y desaturación de la cadena de ácidos grasos $\omega$ -6 y $\omega$ -3.

Al extremo carboxilo de una cadena de ácido graso ya existente, como puede ser el ácido graso linoleico o el linolénico, pueden añadirse unidades de acetato, función realizada principalmente por el retículo endoplásmico, donde la malonil CoA aporta los dos átomos de carbono<sup>16,17</sup>.

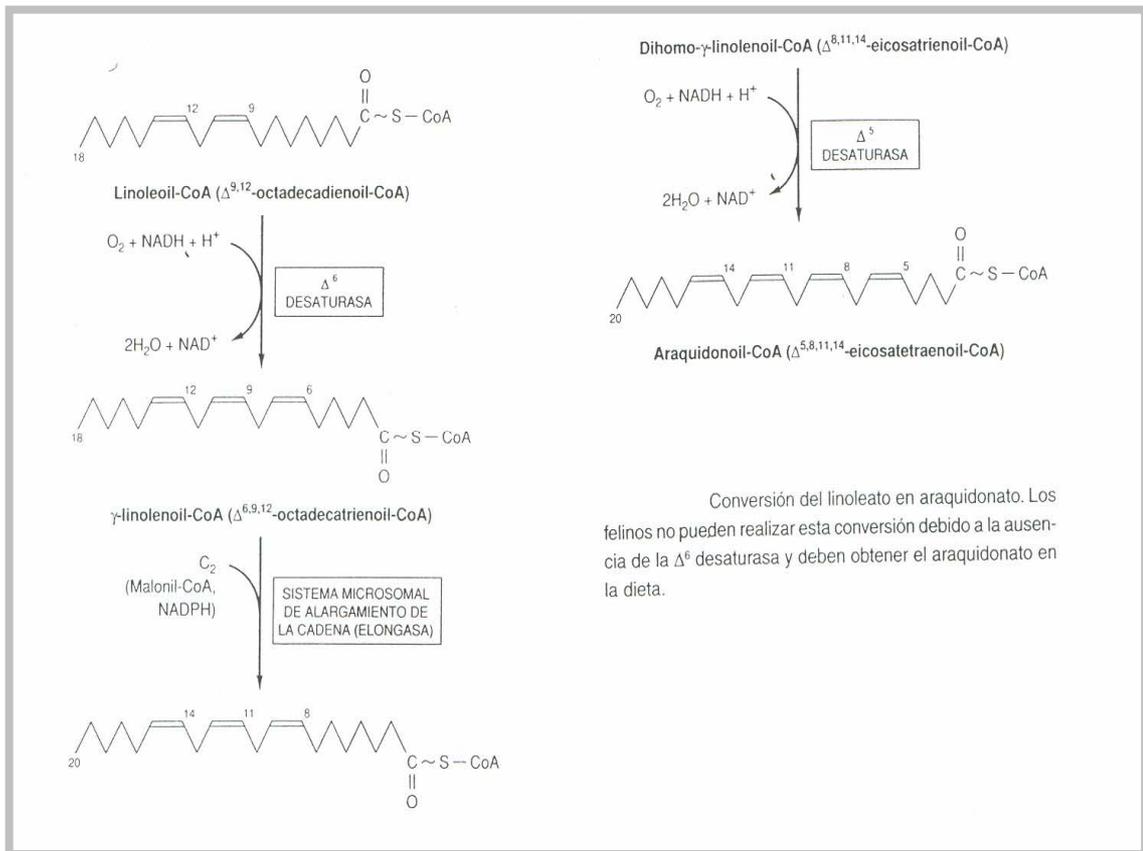
En los ácidos grasos pueden introducirse dobles enlaces mediante enzimas desaturantes que necesitan  $O_2$  y NADH. Siempre se produce una configuración *cis* alrededor del doble enlace. Para llevar a cabo la elongación y desaturación del ácido graso se necesita del citocromo b5, de la citocromo b5 reductasa y de una desaturasa unida a la membrana. Se oxida el NADH+H y el ácido graso, transfiriéndose dos pares de electrones al  $O_2$  para formar  $2H_2O$ . Estas reacciones constituyen parte de la denominada cadena transportadora de electrones microsómica (Figura 3)<sup>16</sup>.



**Figura 3. MECANISMO DE LA ENZIMA 9-DESATURASA.**

Fuente: Montgomery et al.<sup>17</sup>.

Las enzimas desaturasas utilizan como sustrato acil-CoA, tanto los ácidos grasos saturados como los insaturados dependen de su especificidad. Existen tres diferentes desaturasas: 5, 6 y 9 ácido graso desaturasa, designadas según la posición de la cadena acil-CoA que desaturan.



**Figura 4. CONVERSIÓN DE LINOLEATO EN ARAQUIDONATO**

Fuente: Murria et al.<sup>16</sup>

Por ejemplo, la 9 desaturasa (también llamada estearil-CoA desaturasa) introduce dobles enlaces entre los carbonos 9 y 10, contando desde el grupo carboxilo y sólo puede utilizar sustratos saturados; en cambio, las otras dos utilizan sustratos insaturados<sup>16,17</sup>.

El último paso es una retroconversión, con lo cual se acorta la longitud de un ácido graso al retirar dos átomos de carbono del extremo carboxilo. Esta última reacción se lleva a cabo en los peroxisomas, a través de un ciclo de  $\beta$ -oxidación peroxisómica (Figura 5)<sup>16</sup>.

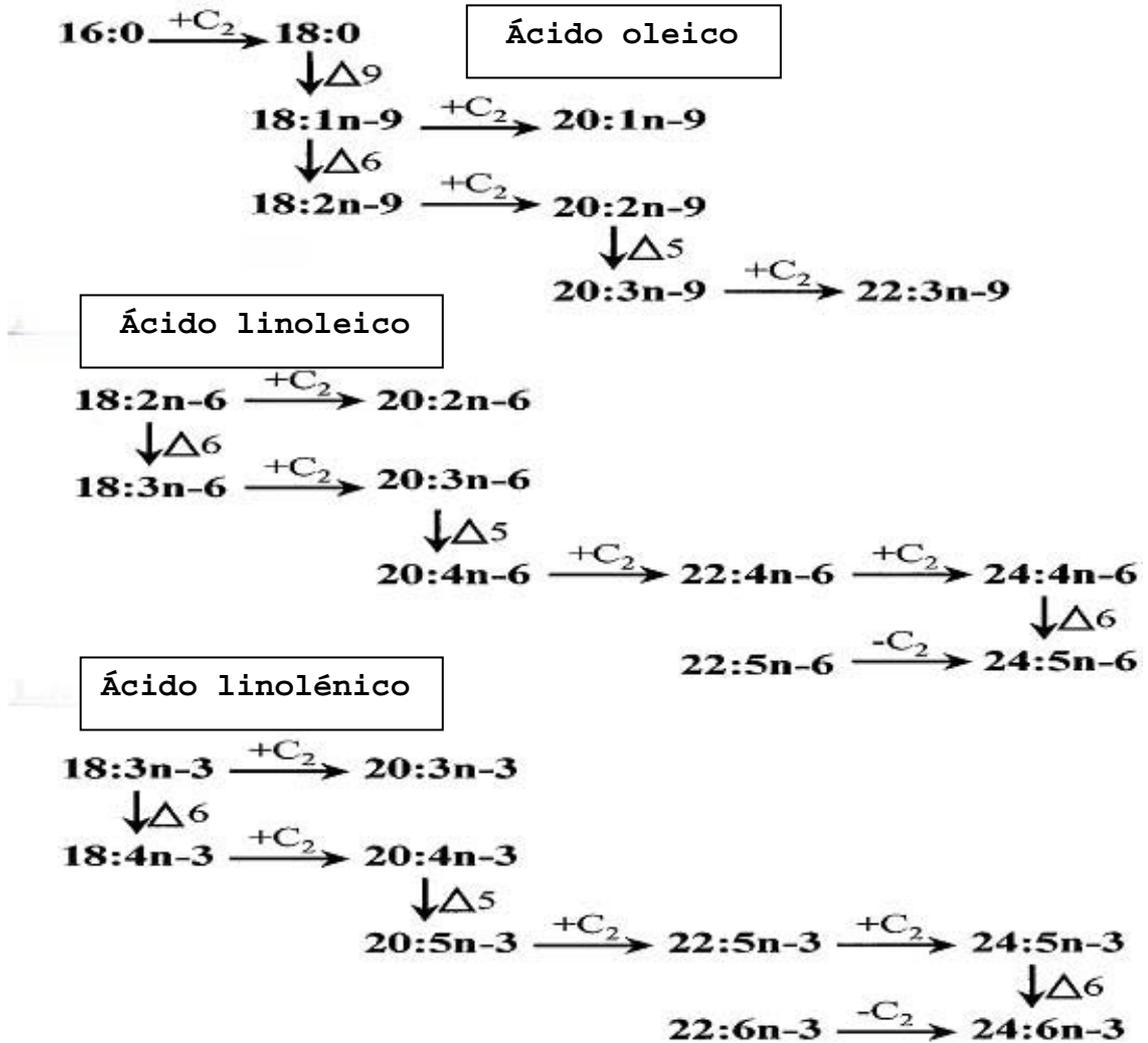


Figura 5. CONVERSIÓN METABÓLICA DE LOS PRINCIPALES GRUPOS DE ÁCIDOS GRASOS. Fuente. Hwang<sup>28</sup>

## **Funciones biológicas de los ácidos grasos omega- 3**

### **Estructura de la membrana**

La membrana plasmática que rodea la célula diferencia el contenido interno de la célula con su entorno, establece gradientes iónicos a través de la membrana por medio de proteínas, que pueden ser usados para sintetizar ATP, dirigir el movimiento transmembranoso de solutos seleccionados y en células nerviosas o musculares, transmiten y producen señales eléctricas. Las funciones varían de acuerdo con el tipo de membrana biológica, pero todas poseen una capa de moléculas lipídicas y proteicas, que se mantiene unidas fundamentalmente por interacciones no covalentes<sup>16,19</sup>.

Las moléculas lipídicas están dispuestas en forma de doble capa continua de unos 5 nm de grosor. Esta bicapa de lípidos es la estructura básica de la membrana y actúa como una membrana impermeable al paso de la mayoría de las sustancias hidrosolubles. Las proteínas generalmente están disueltas en la bicapa lipídica y son las mediadoras de muchas funciones de la membrana, como, por ejemplo transportar moléculas específicas o catalizar reacciones asociadas a la membrana<sup>16,17,19</sup>.

Las moléculas lipídicas son insolubles en agua, pero se disuelven fácilmente en disolventes orgánicos; constituyen un 50% de la masa de la mayoría de las membranas plasmáticas de células animales. Existen  $5 \times 10^6$  moléculas lipídicas en una sección de  $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ , o aproximadamente

109 moléculas lipídicas en la membrana plasmática de una célula animal.

Los lípidos de la membrana celular son antipáticos: tienen un extremo hidrofílico o polar (atraído por el agua) y uno hidrofóbico o no polar (repele al agua). Los más abundantes son los fosfolípidos conformados por una cabeza polar y dos colas hidrocarbonadas hidrofóbicas. Las colas son ácidos grasos que pueden tener diferente longitud (14 a 24 carbonos); normalmente una de las colas esta formada de un ácido grasos insaturado (dobles enlaces *cis*) y la otra de uno saturado (Figura 4)<sup>19</sup>.

El doble enlace *cis* genera una suave curvatura en la cadena. Las diferencias en la longitud y grado de saturación en las colas son importantes porque afectan la capacidad de los fosfolípidos para empaquetarse uno contra otro y afectar la fluidez de la membrana. Esto es crucial, ya que algunos procesos de transporte y actividades enzimáticas se pueden detener en cuanto la viscosidad de la membrana aumenta<sup>19</sup>.

La membrana lipídica no sólo está compuesta de fosfolípidos, también contiene glucolípidos y colesterol. Las membranas de eucariontes contienen cantidades elevadas de colesterol, el cual refuerza el carácter de barrera permeable de la bicapa lipídica. El colesterol se orienta en la bicapa con los grupos hidroxilo próximos a la cabeza polar de las moléculas de fosfolípidos; sus anillos esteroides planos y rígidos interactúan y en parte inmovilizan las regiones de las cadenas hidrocarbonadas

que son más cercanas a los grupos polares de la cabeza, dejando el resto más flexible<sup>19</sup>.

### **Gestación y crecimiento**

Los ácidos grasos omega 3 son componentes estructurales del cerebro y retina durante el desarrollo del feto, esenciales en la membrana de la materia gris del cerebro y ciertos órganos reproductivos, manteniendo la integridad y funcionalidad del órgano<sup>20,21,22,23,24,25</sup>.

En el último tercio de la gestación, por medio de la placenta, y durante los dos primeros años de vida, a través de la leche materna y la dieta, se cubre una gran demanda de ácido araquidónico (AA) y docosahexanoico(DHA). Se estima que 600 mg de ácidos grasos esenciales son transferidos de la madre al feto en una gestación a término para el desarrollo del sistema nervioso central, momento en que el crecimiento es mayor. Aproximadamente 50-60% del total de lípidos de la membrana de la retina es DHA. La retina posee un sistema enzimático ubicado en el epitelio pigmentario retiniano, donde puede convertirse el ácido alfa linolénico a DHA (Figura 5), al igual que el endotelio capilar del cerebro y los astrocitos, y así incorporar este ácido graso al tejido<sup>20,21,22,23,24,25</sup>.

### **Formación de eicosanoides y sus efectos en la respuesta inmune.**

La mayor parte de las células de mamíferos, excepto los eritrocitos, utilizan a los ácidos grasos esenciales para

formar eicosanoides, compuestos de 20 carbonos (Figura 6). Este grupo incluye prostaglandinas (PG), tromboxanos (TX), leucotrienos (LT) y prostaciclina (PGI).

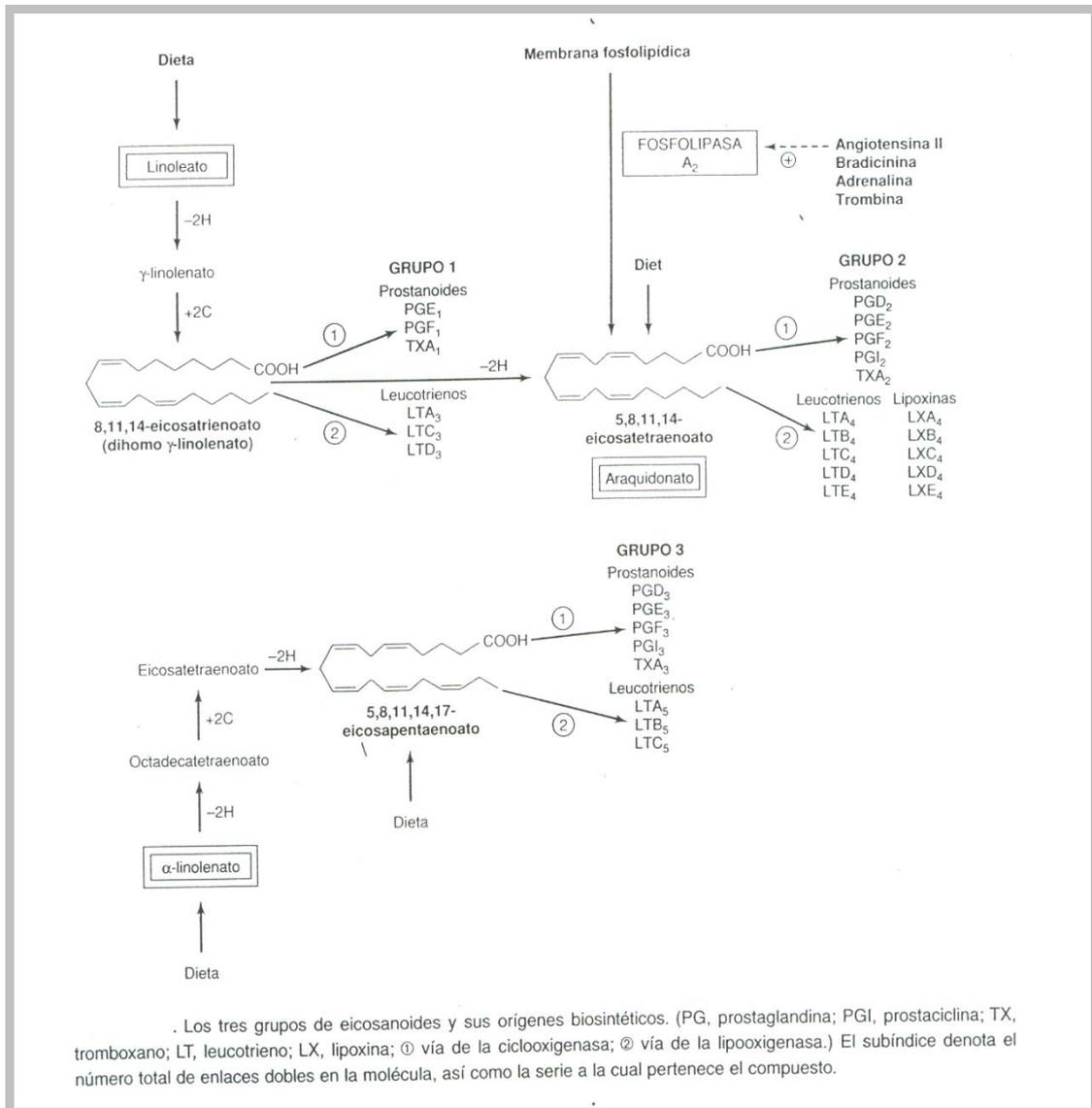
Los eicosanoides son mediadores locales, activos cerca de su sitio de formación y no son transportados por la circulación a células blancas, como las hormonas. No se almacenan en las células, se sintetizan sólo por demanda, son inestables y con una vida media de menos de un minuto.

Existen grupos de eicosanoides formados a partir de los ácidos linoleico y linolénico, o de manera directa del ácido araquidónico (AA) y del eicosapentaenoico (EPA). El AA y EPA se escinden principalmente de la posición 2 de los fosfolípidos ubicados en la membrana plasmática por medio de una fosfolipasa A2. Los dos sustratos son convertidos vía la ciclooxigenasa en PG, PGI y TX o vía la lipooxigenasa en LT, lipoxinas y ácidos hidroxieicosatetraenoicos (HETE) (Figura 6)<sup>16,17,18,19,22</sup>.

Las prostaglandinas, tromboxanos y prostaciclina se relacionan con funciones secretoras, digestivas, reproductivas y circulatorias, mientras que los leucotrienes y lipoxinas intervienen en respuestas alérgicas, inflamatorias e inmunes y en la quimiotaxis.

La síntesis de prostanoides involucra el consumo de dos moléculas de O<sub>2</sub> y esta catalizada por la prostaglandina H sintasa (PGHS), que consiste de dos enzimas, la ciclooxigenasa y la peroxidasa. La PGHS se presenta como dos isoenzimas, la PGHS-1 y la PGHS-2. El producto es un endoperóxido (PGH), que es convertido en prostaglandinas D,

E y F, así como en tromboxanos y prostaciclina. La regulación de esta vía es la autocatálisis de la ciclooxigenasa <sup>16,17,24</sup>.



**Figura 6. FORMACIÓN DE EICOSANOIDES DE ACUERDO CON EL TIPO DE SUSTRATO.** Fuente: Murria et al.<sup>16</sup>

Los leucotrienos son una familia de trienos conjugados, que se forman en leucocitos, mastocitos, plaquetas y macrófagos, por la vía de la lipooxigenasa. Tres

lipooxigenasas diferentes (dioxigenasas) insertan el oxígeno en las posiciones 4, 12 y 15 del ácido utilizado para dar origen a los hidroxiperoxi-eicosatetraenoatos (HPETE), que al combinarse con el glutatión forman leucotrienos. Las lipoxinas son una familia de tetraenos conjugados, los cuales también se originan en los leucocitos y son formados mediante la acción combinada de más de una lipooxigenasa<sup>16,17,21,24</sup>.

Los ácidos grasos poliinsaturados de 20 átomos de carbonos y de distintos grados de insaturación dan lugar a eicosanoides con distinto número y patrón de insaturación y con un efecto biológico diferente. El ácido araquidónico (AA), principal ácido graso poliinsaturado, produce la serie 2 y 4 de eicosanoides, los cuales son más activos. Al incorporar otro ácido, como lo es el ácido eicosapentaenoico (20:5 n-3 EPA), se producen eicosanoides de la serie 3 (PGE3, PGF3, TXA3, TXB3, PGI3) y 5 (LTB5, LTC5, LTD5, LTE5), menos activos que los de la serie 2 y 4<sup>16,17,18,22,24</sup>.

Dietas altas en pescados o aceites de pescados son una excelente fuente de EPA y DHA, lo que ocasiona su incremento en la membrana de plaquetas, eritrocitos, neutrófilos, monocitos y hepatocitos, ocasionando una mayor competencia con el AA, disminuyendo los metabolitos originados a partir del AA, además de observarse un efecto diferente de los eicosanoides formados a partir de EPA<sup>25,26,27,28,29,30,31</sup> (Cuadros 4 y 5). Los tromboxanos se sintetizan en las plaquetas y una vez liberados producen vasoconstricción y agregación plaquetaria. Este efecto disminuye con TXA<sub>3</sub>, el cual es un agente pro agregante muy

débil; por lo mismo, favorece los tiempos de coagulación. La PGI<sub>2</sub> se sintetiza en las paredes de vasos sanguíneos a partir de AA; es vasodilatadora y potente inhibidora de la agregación plaquetaria, al igual que PGI<sub>3</sub> formada a partir de EPA<sup>16,17,18,22,24</sup>.

La vía de la 5-lipoxigenasa es muy activa en los neutrófilos. El producto inicial de la oxidación del AA es 5-HETE, el cual presenta una elevada actividad quimiotáctica. El 5-HETE es convertido en LTB<sub>4</sub>, actuando como un potente agente quimiotáctico, que también es capaz de inducir la agregación de neutrófilos. Los leucotrienos LTC<sub>4</sub>, LTD<sub>4</sub> y LTE<sub>4</sub> producen vasoconstricción, broncoespasmo y aumento de la permeabilidad vascular, pero los leucotrienos de la serie 5 formados a partir del EPA son débiles quimiotácticos y vasoconstrictores<sup>24,25,26,27,28,29,30,31</sup>.

El resultado de la hidrólisis de determinados fosfolípidos celulares es la formación de otros compuestos biológicamente activos adicionales como el factor activador de plaquetas (FAP). Este compuesto deriva de la 1-alkil, 2-acil fosfatidilcolina. El FAP es un agente pro inflamatorio, sumamente poderoso y potente activador de las plaquetas. Elevadas concentraciones da lugar a vaso y broncoconstricción, mientras que a niveles bajos provoca vasodilatación y un aumento de la permeabilidad vascular, aunque su mecanismo de acción no está claro<sup>16,17,24,25</sup>.

**Cuadro 4. ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE LOS EICOSANOIDES DERIVADOS DEL ÁCIDO ARAQUIDONICO (AA) Y EICOSAPENTAENOICO (EPA).**

TEJIDO	EICOSANOIDE DERIVADO DE AA	ACTIVIDAD FISIOLÓGICA	EICOSANOIDE DERIVADO DE EPA	ACTIVIDAD FISIOLÓGICA
Plaquetas	Tromboxano B <sub>2</sub>	Estimula agregación de plaquetas y constricción de vasos sanguíneos	Tromboxano A <sub>3</sub>	Débil estimulante de agregación de plaquetas y constricción de vasos sanguíneos
Células endoteliales	Prostaciclina I <sub>2</sub>	Previene agregación de plaquetas y dilata vasos sanguíneos	Prostaclinina I <sub>3</sub>	Previene agregación de plaquetas y dilata vasos sanguíneos
Útero	Prostaglandina E <sub>2</sub> , F <sub>2</sub>	Contracción de músculo liso	Prostaglandina E <sub>3</sub> , F <sub>3</sub>	Débil contracción del músculo liso
Neutrófilo	Leucotrieno B <sub>4</sub>	Fuerte promotor de células de adhesión	Leucotrieno B <sub>5</sub>	Débil promotor de células de adhesión
Pulmón	Leucotrienos C <sub>4</sub> , D <sub>4</sub>	Constricción de tubos bronquiales	Leucotrienos C <sub>5</sub> , D <sub>5</sub> , E <sub>5</sub> .	Constricción de tubos bronquiales

Fuente: Gurr<sup>25</sup>

**Cuadro 5. EFECTO MODULADOR DE LOS EICOSANOIDES FORMADOS A PARTIR DE LOS ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3**

EICOSANOIDE	PRODUCIDO PRINCIPALMENTE POR	EFECTO PRINCIPAL	EFECTO MODULADOR DE $\Omega$ -3
Tromboxano A2	Plaquetas	Estimula agregación plaquetaria y constricción de vasos sanguíneos.	Reduce síntesis de TXA2 al producir TXA3 que tienen menor actividad
Prostaglandina I2	Células endoteliales	Fuerte inhibidor de agregación de plaquetas. Promueve vasodilatación	Producción de PGI3
Prostaglandina E2	Macrófagos	Suprime proliferación de linfocitos T y producción de IL-2. Inhibe síntesis de FNT- $\alpha$ . Inhibe síntesis de IL-1 $\beta$ . Mediador de la interacción de macrófagos con otras células.	Reduce producción de PGE2
LTB4	Leucocitos	Quimiotáctico de neutrófilos. Incrementa degranulación de plaquetas Incrementa adherencia de poliformonucleares a células receptoras. Mejora producción de IL-1 por macrófagos e IFN-y por linfocitos.	Inhibe síntesis de LTB4 y aumenta producción de LTB5, los cuales tienen una menor actividad.
Interleucina 2	Linfocitos	Promueve la proliferación de células B y T.	Inhibe producción de IL-2
Interferón y	Linfocitos	Activa macrófagos. Promueve el crecimiento y diferenciación de células B.	Inhibe producción de IFN-y
Interleucina 1	Macrófagos	Estimula proliferación de fibroblastos. Estimula producción de PGE2. Incrementa adhesión de leucocitos a células endoteliales.	Reduce la síntesis de IL-1
Factor de necrosis tumoral	Macrófagos	Actúa sinérgicamente con IL-1	Reduce síntesis de FNT
Expresión de MHC clase II	Leucocitos activados	Involucrado en la presentación del antígeno a células T ayudadoras	Decrece el nivel e intensidad de expresión de MHC clase II.
Moléculas de adhesión	Leucocitos expresados en células endoteliales	Adherencia y migración de células.	Reduce expresión de VCAM-1, ICAM-1 y E-selectina

Fuente: Sadler <sup>26</sup>

La función de los eicosanoides provenientes de los ácidos grasos omega 3, ha originado varias investigaciones sobre el beneficio en la salud (Cuadros 6 y 7). Los efectos de los omega 3 pueden ser confusos, porque están relacionados con la cantidad de grasa consumida, la duración de la suplementación, la variación genética, la existencia de enfermedades infecciosas o auto inmunitarias e inflamatorias, la edad, el nivel de otros nutrientes como la vitamina E y de las pruebas inmunológicas usadas. Sin embargo, se han observado efectos benéficos en enfermedades visuales, cardíacas, autoinmunes e inflamatorias.

**Cuadro 6. EFECTO DE LA SUPLEMENTACION DE ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3 EN PACIENTES CON ENFERMEDAD INFLAMATORIA INTESTINAL.**

ENFERMEDAD	DOSIS	DURACIÓN	RESULTADOS
Colitis ulcerativa	3-4 g/d EPA	12 sem	Mejoría de síntomas; descenso de LTB4
Colitis ulcerativa y CROHN	Aceite de oliva y pescado	7 meses	Mejoría en pacientes
Colitis ulcerativa	4.5 g/d EPA	4 meses	Disminución del uso de esteroides, descenso de LTB4 en neutrófilos
Colitis ulcerativa activa	5.4 g/d omega-3	4 meses	Mejora en histología del colon, disminución de LTB4 en dialisados rectales
Colitis ulcerativa activa	4.2 g/d omega-3	3 meses	72% de reducción en el uso de corticoesteroides
Colitis ulcerativa	5.1 g/d omega-3	2 años	Menor número de recaídas
CROHN	5.1 g/d omega-3	1 año	Reducción en el uso de prednisolona
CROHN	2.7 g/d omega-3	1 año	Menor número de recaídas y mayor tiempo de remisión

Fuente: Mataix *et al.*<sup>24</sup>

**Cuadro 7. EJEMPLOS DE LA MEJORA EN CONDICIONES CLÍNICAS CON LA SUPLEMENTACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES.**

CONDICIÓN	RESULTADOS DE LA SUPLEMENTACIÓN
<i>NEUROLÓGICA</i>	
Síndrome de Zelweger	Mejoría en resultados físicos y visuales; remielinización en cerebro.
Enfermedad de Batten	Detención del curso natural de la enfermedad.
Esquizofrenia	Mejoría significativa de los síntomas.
Alzheimer	Mejoría de la función mental.
Depresión Bipolar	Incremento del tiempo entre fases maníacas.
Dislexia	Mejoría en la visión nocturna.
<i>CARDIOVASCULAR</i>	
Triglicéridos elevados	Reducción de triglicéridos/elevación de HDL
HDL bajas	Elevación de HDL
Hipertensión	Reducción de la presión sanguínea.
<i>OTRAS</i>	
Asma	Mejoría en el volumen de fuerza espiratoria.
Artritis reumatoide	Reducción de la rigidez matutina
Síndrome Premenstrual	Reducción de los síntomas del síndrome premenstrual

Fuente: Larry et al.<sup>21</sup>

## JUSTIFICACION

Las dietas para conejo de engorda en sistemas intensivos y semi-intensivos requieren de niveles altos de fibra, lo que implica el uso de ingredientes altos en proteína y energía. Por ello se buscan alternativas que ayuden a cubrir su demanda nutricional. La utilización de altos porcentajes de forrajes es común; sin embargo, en la mayoría de los casos éstos presentan excesos o deficiencias de nutrientes requeridos por la especie. La semilla de chía (*Salvia hispanica L.*) es un ingrediente que puede ser utilizado en dietas de conejo de engorda por sus altas cantidades de proteína, fibra, lípidos y ácidos grasos esenciales, en especial los pertenecientes a la familia omega 3. Esto favorecería el aumento en la deposición de ácidos grasos omega 3 en la carne de conejo. Se ha observado, que el consumo de ácidos grasos omega 3 disminuye en el humano los síntomas de diferentes enfermedades. A pesar de ello, el uso de la chía ha sido poco investigado en las dietas de conejos y en la repercusión que la semilla puede tener en la composición de la carne de conejo.

## HIPÓTESIS

- La inclusión de la semilla de chía (Salvia hispanica L.) en dietas para conejo de engorda Nueva Zelanda incrementa la cantidad de ácidos grasos omega 3 en carne y grasa perirrenal, sin afectar las variables productivas y características fisicoquímicas de la canal.

#### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el desempeño productivo de conejos de engorda Nueva Zelanda y las propiedades fisicoquímicas de la carne, con la inclusión de 0%, 10% y 20% de chía (Salvia hispanica L.) en la dieta.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Se midieron las siguientes variables productivas, en conejos de engorda alimentados con diferentes niveles de inclusión de chía:

- ◆ Ganancia diaria de peso
- ◆ Consumo de alimento
- ◆ Conversión alimenticia
- ◆ Peso final
- ◆ Mortalidad
- ◆ Peso final de la canal
- ◆ Rendimiento de la canal

Se evaluaron las siguientes características fisicoquímicas en la carne de conejos de engorda alimentados con diferentes niveles de inclusión de chía:

- ◆ Coloración en la pierna trasera (*Biceps femoris*), grasa perirrenal y en el lomo a nivel de séptima vértebra lumbar (*longissimus dorsi*) a los días 1, 4, 8 y 12 de

almacenamiento a 0 - 2°C, de conejos sacrificados a los 70 días de edad.

◆ Pérdida por cocción y fuerza de corte en el lomo (*longissimus dorsi*)

◆ Lípidos totales y perfil de lípidos en *Biceps femoris* y grasa perirrenal de conejos sacrificados a los 70 días de edad.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

El estudio se realizó en el módulo de Cunicultura del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPAv), de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, el cual se localiza en Zapotitlán, Delegación Tláhuac, Distrito Federal, a una altitud 2,250 metros sobre el nivel del mar, paralelo 19° 15', latitud Oeste, con un clima templado subhúmedo con bajo grado de humedad, siendo enero el mes más frío y mayo el más caluroso, con temperatura media anual de 16°C y precipitación pluvial media anual de 747 mm<sup>32</sup>.

### **Animales y alojamiento**

Se emplearon 60 conejos (41 machos y 19 hembras) de la raza Nueva Zelanda blanco sin considerar el sexo, distribuidos al azar en tres tratamientos, 20 animales por tratamiento. Se alojó un animal por jaula en una caseta de ambiente natural. Las jaulas utilizadas fueron tipo americana con dimensiones de 60 X 40 X 90 cm, bebederos automáticos y comederos tipo tolva con capacidad de 1.5 Kg, distribuidas en un sistema lineal. El alimento y el agua se proporcionaron *ad libitum*.

Los animales se destetaron a los 30 días de edad y tuvieron un periodo de 5 días para adaptarse al alimento, iniciando el experimento el día 35 y terminando el día 70 de edad, momento en que los animales fueron sacrificados.

### **Dietas experimentales**

La semilla de chíá se adquirió en la Central de Abastos del Distrito Federal. La semilla se molió antes de realizar las dietas experimentales para obtener en el laboratorio los porcentajes de materia seca, proteína bruta, extracto

etéreo, cenizas, fibra bruta y elementos libres de nitrógeno mediante un análisis químico proximal. Las fracciones de fibra se determinaron mediante un análisis de Van Soest<sup>33</sup>. Los análisis se realizaron en el Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. La determinación de aminoácidos fue realizada por la empresa DEGUSSA. La energía digestible fue calculada de acuerdo con lo propuesto por Fekete y Gippert<sup>34</sup>:

$$Y_i = 4253 - 32.6 X_1 - 114.4 X_2$$

Donde:

$Y_i$  = kcal de energía digestible/ kg de materia seca

$X_1$  = % de fibra cruda

$X_2$  = % de cenizas

La determinación de los lípidos totales (Método 34.1.08 AOAC)<sup>33</sup> y del perfil de ácidos grasos (Método 41.1.28 AOAC)<sup>33</sup>, se realizó en el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubiran (Anexo 1).

Las dietas experimentales (Cuadro 8) fueron las siguientes:

- ◆ Tratamiento 1, con 0% de inclusión de semilla de chía
- ◆ Tratamiento 2, con 10% de inclusión de semilla de chía
- ◆ Tratamiento 3, con 20% de inclusión de semilla de chía.

Se formularon mediante el paquete computacional NUTRION<sup>35</sup>, cubriendo los requerimientos nutricionales propuestos por Lebas (2000)<sup>36</sup>, los cuales se muestran en el Cuadro 9.

**Cuadro 8. COMPOSICIÓN DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES (kg).**

<b>INGREDIENTES</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
Sorgo (9%)	297.195	294.954	292.665

Semilla de Chia (19.61%)	0.000	100.000	200.000
Harina de Alfalfa (17%)	495.679	416.496	337.317
Pasta de Soya (48%)	123.529	113.681	103.841
Melaza	30.000	30.000	30.000
Cemento	19.000	19.000	19.000
Aceite vegetal	15.736	7.863	0.000
Ortofosfato	8.152	4.887	1.622
Sal	4.418	4.588	4.759
Vitaminas y Minerales	2.500	2.500	2.500
Saborizante	1.000	1.000	1.000
Salinomicina	1.000	1.000	1.000
DL-Metionina	0.950	1.067	1.185
Carbonato de Calcio	0.330	2.508	4.686
Furazolidona	0.300	0.300	0.300
L-lisina HCL	0.111	0.055	0.000
Antioxidante	0.100	0.100	0.100
L-Treonina	0.000	0.000	0.026

---

\*Premezcla de vitaminas y minerales por 2.5 kg aporta: Vitamina A 12,500,000 UI, Vitamina D3 2,500,000 UI, Vitamina E 25,000 UI, Vitamina K 2.6 g, Tiamina(B1) 2.0 g, Riboflavina(B2)5.0 g, B12 0.020g, Ácido Fólico 0.750g, Piridoxina 3g, Ac.Pantotenico 10g, Niacina 30g, Biotina 0.063g, Cloruro de Colina 400g, Hierro 40g, Manganeso 80g, Cobre 10g, Yodo 2g, Zinc 60g, Selenio 0.3g, Antioxidante 125g.

T1: 0% de inclusión de semilla de chíá, T2: 10% de inclusión de semilla de chíá, T3: 20% de inclusión de semilla de chíá.

Para la fabricación del alimento se utilizó una mezcladora vertical de gusano, con capacidad de una tonelada, y una peletizadora CAL.-PELLET 2298-YA, debido a que el alimento se ofreció en pellet cilíndrico de 4-5mm de diámetro y 6-7mm de longitud.

A las dietas experimentales se les realizó un análisis químico proximal y análisis de Van Soest para la fracción de fibra, determinación de lípidos totales y perfil de ácidos grasos<sup>33</sup>.

**Cuadro 9. REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES PARA CONEJOS DE ENGORDA DE 35 A 70 DÍAS**

<b>P.B.</b>	<b>(%)</b>	17.073	<b>Met+Cis (%)</b>	0.600
<b>E. D. Mcal/kg</b>		2,783	<b>Treonina(%)</b>	0.677
<b>F. B.</b>	<b>(%)</b>	13.00	<b>Calcio (%)</b>	0.870
<b>Lisina</b>	<b>(%)</b>	0.807	<b>Fósforo (%)</b>	0.450
<b>Arginina (%)</b>		1.131	<b>Sodio (%)</b>	0.220

Fuente: Lebas<sup>36</sup>

#### **Variables productivas**

Los animales y el alimento se pesaron al inicio del experimento y posteriormente cada semana; el consumo de alimento se obtuvo al pesar el alimento inicial y restarle el alimento sobrante por jaula. La ganancia total se obtuvo al restar el peso inicial del peso final, y al dividir el resultado entre el número de días transcurridos (35 días) se obtuvo la ganancia diaria de peso. La conversión alimenticia se obtuvo al dividir el consumo de alimento entre la ganancia de peso.

Para determinar el porcentaje de mortalidad, se usó la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Número de muertos}}{\text{Número total de animales por tratamiento}} * 100$$

El peso final del gazapo se registró al día 70 de edad, momento antes del sacrificio. La técnica de sacrificio consistió en la dislocación de la primera vértebra cervical

y posterior sangrado con un corte de la vena yugular y arteria carótida<sup>37,38</sup>.

El rendimiento de la canal se midió 30 minutos después del sacrificio, incluyendo sólo los riñones; las vísceras, la cabeza, la piel, los carpos y los tarsos no se incluyeron<sup>37,38</sup>.

### **Características fisicoquímicas de la carne**

Para las determinaciones se obtuvieron seis canales al azar por tratamiento. La canal se dividió en dos partes; la canal derecha se utilizó para determinar la coloración de la carne, la pérdida por cocción y la fuerza de corte, y la parte izquierda, para determinar la pérdida por cocción, la fuerza de corte en la zona de *Longissimus dorsi*, los lípidos totales y el perfil de ácidos grasos en *Biceps femoris* y grasa perirrenal.

### **Coloración**

El color es una variable aceptable para medir la calidad de la carne. Por ejemplo, se ha observado una mayor intensidad en el color de animales con mayor edad, debido a un mayor contenido de mioglobina. La percepción de color es única y exclusiva para cada individuo, por ello es difícil hacer comparaciones en color. Actualmente existen numerosos instrumentos que le atribuyen valores, lo cual hace más objetiva su medición.

El color se registró en 6 muestras por tratamiento y por tres zonas anatómicas(n=54): 1) parte interna del músculo *Biceps femoris*, 2) zona de *Longissimus dorsi* a nivel de 7ª vértebra lumbar al realizar un corte transversal, 3) grasa perirrenal. Para la medición se utilizó un colorímetro de reflectancia MINOLTA CR-400 los días 1, 4, 8 y 12 de

almacenamiento a una temperatura entre 0 y 2 °C; se utilizaron las mismas muestras para las cuatro mediciones.

El instrumento se calibró al iniciar cada sesión con un plato calibrador CR-A43, iluminación D-65, con un área de 8 mm<sup>5,39,40,41,42,43</sup>.

### **Pérdida por cocción y fuerza de corte**

Para la prueba de fuerza de corte se utilizaron 12 muestras al azar por tratamiento, del músculo *Longissimus dorsi* el cual se congeló a -20°C para ser procesado posteriormente. Las muestras se descongelaron 24 horas antes de ser procesadas a una temperatura de 4°C.

Siguiendo la metodología utilizada por Ortiz (2000)<sup>44</sup>, la muestra fue pesada para posteriormente someterla a cocción en una parrilla eléctrica, donde se midió la temperatura interna por medio de termopares insertados en el centro del lomo. Se monitoreó la temperatura interna de la muestra de *Longissimus dorsi* en la parrilla y al momento de alcanzar la temperatura interna de 35°C la pieza se volteó; al llegar a una temperatura interna de 70°C fue retirada de la parrilla. Cada muestra se dejó enfriar por 30 minutos y se pesó nuevamente para obtener la pérdida por cocción por diferencia de peso<sup>44</sup>.

Se cortó una porción de la muestra para ubicar la dirección de las fibras musculares. Se formaron tres cilindros de carne de 1.27 cm de diámetro por muestra con la orientación de las fibras paralela a la longitud del cilindro. Esto se realizó con la ayuda de un taladro de mesa adaptado con un cilindro que cortaba las muestras. Cada cilindro se colocó en la máquina Warner-Bratzler, la cual mide la cantidad de

fuerza requerida ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) para cortar cada cilindro por la mitad<sup>44</sup>.

### **Lípidos y perfil de ácidos grasos**

Se tomaron 6 muestras de *Biceps femoris* y grasa perirrenal por tratamiento. Cada una se analizó por duplicado. Se molieron para ser depositadas en recipientes previamente identificados, listos para congelarse a  $-20^\circ\text{C}$  y ser procesadas posteriormente. Se utilizó el método 34.1.08 del AOAC para determinar lípidos totales y para el perfil de ácidos grasos, la técnica 41.1.28 del AOAC<sup>33</sup>.

### **Diseño experimental**

A las variables de respuesta; ganancia diaria de peso, peso final, consumo de alimento y conversión alimenticia se les realizó un análisis de covarianza con un diseño completamente al azar, tomando en cuenta el peso inicial como covariable. En el rendimiento de la canal, se utilizó el mismo análisis, pero la covariable fue el peso al sacrificio.

El modelo empleado fue:  $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta(x_{ij} - X_{..}) + E_{ij}$

Donde:

$Y_{ij}$  = valor observado de la respuesta en estudio

$\mu$  = efecto de la media general

$\tau_i$  = efecto del  $i$ -ésimo tratamiento

$\beta$  = coeficiente de regresión de  $(x_{ij} - X_{..})$

$x_{ij}$  = valor observado de la variable concomitante  $X$

$X_{..}$  = valor de la media general de la variable concomitante

$X$

$E_{ij}$  = error experimental

Para las variables de respuesta fuerza de corte, pérdida de peso por cocción, lípidos totales y perfil de ácidos grasos se utilizó un diseño completamente al azar.

El modelo empleado fue:  $Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$

Donde:

$Y_{ij}$  = valor observado de la respuesta en estudio

$\mu$  = efecto de la media general

$\tau_i$  = efecto del i-ésimo tratamiento

$E_{ij}$  = error experimental

A la variable coloración se le realizó un análisis de varianza conforme a un diseño de parcelas divididas en el tiempo, en el cual la parcela grande fue el tratamiento (0, 10 y 20% de inclusión de chía) y la parcela chica el día (1, 4, 8 y 12). El modelo empleado fue:

$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \rho_k + d_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + E_{ijk}$

Donde:

$Y_{ijk}$  = valor observado de la respuesta en estudio

$\mu$  = efecto de la media general

$\alpha_i$  = efecto del i-esimo nivel del factor A (tratamiento)

$\rho_k$  = efecto de la k-ésima repetición

$d_{ik}$ : error aleatorio de la parcela completa

$\beta_j$  = efecto del i-esimo nivel del factor B (día)

$(\alpha\beta)_{ij}$  = es el efecto de interacción entre ambos factores

$E_{ijk}$  = error aleatorio de la subparcela

$k=1,2,3,4,5$  y  $6$        $i=1, 2$  y  $3$        $j=1, 2, 3$  y  $4$

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el procedimiento GLM (General Linear Model) y se calcularon las medias de cuadrados mínimos para determinar la mínima diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos, mediante el paquete estadístico SAS® para Windows<sup>45</sup>

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Análisis químico proximal, fracciones de fibra, perfil de aminoácidos y perfil de ácidos grasos de la semilla de chía.**

El Cuadro 10 muestra las características nutrimentales de la semilla de chía utilizada en este estudio. La semilla es un ingrediente proteínico (19.61%), alto en fibra (20.58%) y extracto etéreo (35.76%). Estos porcentajes concuerdan con los registrados por Ayerza<sup>9</sup>, Olivos<sup>11</sup> y Reyes<sup>13</sup>. En un estudio realizado por Ayerza<sup>10</sup>, se determinó el contenido de aceite de semillas cultivadas en diferentes zonas y épocas del año. Obtuvo diferencias en los porcentajes y concluyó que la variación en estos valores fue una defensa de la semilla ante cambios ambientales.

Los valores en la composición de aminoácidos obtenidos de la semilla de chía empleada fueron mayores al compararlos con los de variedades analizadas por Olivos<sup>11</sup> originarias de los estados de Jalisco y Sinaloa (Cuadro 10). El perfil de aminoácidos muestra que la arginina y el ácido glutámico son los aminoácidos en mayor cantidad presentes en la semilla de chía. Posee un buen porcentaje de todos los aminoácidos, aumentando más su valor nutricional, sobre todo por su alto nivel de proteína, lo que facilita su utilización como ingrediente en dietas para conejos al poder complementar junto con otros ingredientes los requerimientos nutricionales del conejo.

La semilla mostró un alto contenido en ácido alfa-linolénico (62.22%), que fue el ácido graso más abundante, seguido del linoleico (19.90%), palmítico (6.91%), oleico

(6.54%) y esteárico (3.28%). El porcentaje de la familia omega 6 fue de 19.92%, constituido principalmente por ácido linoleico (99.85%). El ácido alfa-linolénico representó el 99.9% del total de ácidos grasos omega 3, que incluía los ácidos EPA y DHA.

**Cuadro 10. COMPOSICIÓN DE AMINOÁCIDOS (g/100 g DE PROTEÍNA BRUTA) DE LA SEMILLA DE CHIA DE JALISCO Y SINALOA.**

<b>AMINOACIDO</b>	<b>JALISCO</b>	<b>SINALOA</b>
Proteína Bruta (%)	24.60	19.59
Metionina	2.50	1.78
Cistina	0.17	0.18
Met + Cis	2.67	1.96
Lisina	3.70	2.70
Treonina	2.91	2.75
Arginina	11.11	6.15
Isoleucina	3.66	3.31
Leucina	5.55	5.41
Valina	4.80	4.55
Histidina	2.24	1.80
Fenilalanina	4.01	2.34
Glicina	3.24	3.17
Serina	3.65	3.62
Prolina	3.05	0.53
Alanita	3.96	3.96
Acido aspártico	6.05	5.91
Acido glutámico	12.02	11.89

Fuente: Olivos<sup>11</sup>

**Cuadro 11. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL(AQP), FRACCIONES DE FIBRA (FF), PERFIL DE AMINOÁCIDOS (PAA) Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS (PAG) DE LA SEMILLA DE CHÍA (*Salvia hispanica L.*)**

AQP (% MS)		PAA* (% PB)		PAG (% EE)	
M.S.	100.00	Metionina	3.20	Miristico	(14:0) 0.04
HUMEDAD	0.00	Cistina	2.44	Palmitico	(16:0) 6.91
P.B.	19.61	Met + Cis	5.64	Estearico	(18:0) 3.28
E.E.	35.76	Lisina	4.88	Palmitoleico	(16:1) 0.06
CENIZAS	4.56	Treonina	3.73	Oleico	(18:1) 6.54
F.B.	20.58	Arginina	11.33	Linoleico	(18:2) 19.90
E.L.N.	19.49	Isoleucina	3.87	Gama-linolenico	(18:3) 0.01
T.N.D.	112.03	Leucina	6.88	Dihomoglinolénico	(20:3) 0.01
E.D.	3.060	Valina	2.19	araquidonico	(20:4) 0.004
		Histidina	2.96	Alfa-linolénico	(18:3) 62.22
		Fenilalanina	5.26	EPA <sup>1</sup>	(20:5) 0.005
		Glicina	4.97	DHA <sup>2</sup>	(22:6) 0.5
<b>FF (% MS)</b>		Serina	5.31	TOTAL DE $\omega$ 6	19.92
FND	39.98	Prolina	4.16	TOTAL DE $\omega$ 3	62.72
CC	60.02	Alanita	4.97	AGS <sup>3</sup>	10.23
FAD	25.93	Á. aspartico	8.56	AGM <sup>4</sup>	6.60
HEMICELULOSA	14.05	Á. glutámico	17.51	AGP <sup>5</sup>	82.65
CELULOSA	20.94			$\omega$ 6 / $\omega$ 3	0.31
LIGNINA	4.83				

T1: DIETA TESTIGO, T2: 10% DE SEMILLA DE CHÍA, T3: 20% DE SEMILLA DE CHÍA

MS: materia seca PB: proteína bruta EE: extracto etéreo FB: fibra bruta ELN: extracto libre de nitrógeno ED: energía digestible (Mcal /kg) FND: fibra neuro detergente CC: contenido celular FAD: fibra ácido detergente <sup>1</sup>EPA=Eicosapentaenoico <sup>2</sup>DHA= Docosahexaenoico <sup>3</sup>AGS= Ácidos Grasos Saturados <sup>4</sup>AGM= Ácidos Grasos Monoinsaturados <sup>5</sup>AGP= Ácidos Grasos Poliinsaturados

Los ácidos grasos poliinsaturados constituyeron 82.65% de los lípidos, los monoinsaturados 6.60% y los saturados el 10.23%. Diferentes variedades cultivadas en la región de Argentina fueron analizadas por Ayerza<sup>10</sup> quien obtuvo valores similares a lo aquí conseguido; sin embargo, los porcentajes presentados por Hernández<sup>8</sup> fueron menores para oleico y linolénico. El alto contenido de ácido linolénico coloca a la semilla de chía como un excelente ingrediente para incrementar el consumo de este ácido graso por medio de la dieta, aunado a su valor nutricional en general.

**Análisis químico proximal, fracciones de fibra, perfil de aminoácidos y perfil de ácidos grasos de las dietas experimentales.**

El cuadro 12 muestra la composición nutricional de las dietas experimentales. Puede notarse que al aumentar el porcentaje de inclusión de la semilla de chía, aumentó la concentración de proteína bruta, de extracto etéreo y de energía digestible de la dieta. La fracción de fibra bruta fue más elevada en la dieta testigo.

Las dietas mostraron contenidos similares en la mayoría de los ácidos grasos (Cuadro 12); sin embargo, se observó un incremento del ácido alfa-linolénico en las dietas 2 (37.94%) y 3 (47.09%) comparadas con la dieta testigo (19.80%). Además, conforme aumentó el porcentaje de inclusión de la semilla, disminuyeron los valores del ácido linoleico y la concentración total de ácidos grasos omega 6, mientras que la concentración de los ácidos grasos omega



3 aumentó. Por ello la relación omega 6/omega 3 fue diferente entre las dietas. Lo que concuerda con estudios de Dal Bosco *et al.*<sup>63</sup> Estos autores indicaron que al utilizar la inclusión de 8% de linaza en la dieta, se modifica el perfil de lípidos en las dietas; sin embargo, los cambios en ciertos ácidos grasos fueron más notorios por ejemplo, el porcentaje en el ALA aumentó de 7.4% a 20.86%, pero el cambio en el ácido linoleico al incluir la linaza fue menor (39.18% en la dieta testigo y 33.36% con 8% de linaza).

### **Variables productivas**

Las variables productivas durante los 35 días de investigación se muestran en el Cuadro 13. Las variables peso final, ganancia de peso total, ganancia diaria de peso y consumo de alimento durante el periodo de engorda no mostraron diferencia estadística ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos. La conversión alimenticia de los conejos alimentados con las dietas que contenían 10% y 20% de semilla de chía fue mejor (2.51 y 2.46, respectivamente) que en los conejos alimentados con la dieta testigo ( $P < 0.05$ ). La mortalidad registrada durante los 35 días de periodo de engorda fue del 10% para todos los tratamientos, la cual se encuentra dentro de los parámetros reportados por la literatura<sup>1,3,4,36</sup>.

**Cuadro 13. EFECTO EN LAS VARIABLES PRODUCTIVAS DE DIFERENTES NIVELES DE INCLUSIÓN DE CHIA (*Salvia hispanica L.*) EN LA DIETA.**

VARIABLE	T1	T2	T3
PESO FINAL (g)	2003.28 ± 53.16 <sup>a</sup>	2078.01 ± 53.21 <sup>a</sup>	2092.38 ± 54.66 <sup>a</sup>
GANANCIA DIARIA (g)	37.31 ± 1.39 <sup>a</sup>	37.71 ± 1.77 <sup>a</sup>	38.44 ± 1.48 <sup>a</sup>
GANANCIA TOTAL (g)	1305.89 ± 48.94 <sup>a</sup>	1320.17 ± 61.99 <sup>a</sup>	1345.59 ± 51.97 <sup>a</sup>
CONSUMO DE ALIMENTO(g)	3615.39 ± 114.69 <sup>a</sup>	3335.94 ± 183.13 <sup>a</sup>	3270.47 ± 123.09 <sup>a</sup>
CONVERSION ALIMENTICIA	2.76 ± 0.064 <sup>a</sup>	2.52 ± 0.064 <sup>b</sup>	2.43 ± 0.066 <sup>b</sup>
PESO DE LA CANAL (g)	1014.61 ± 32.44 <sup>a</sup>	1051.67 ± 45.37 <sup>a</sup>	1093.63 ± 37.09 <sup>a</sup>
RENDIMIENTO DE CANAL (%)	50.30 ± 0.40 <sup>a</sup>	50.94 ± 0.49 <sup>b</sup>	52.01 ± 0.53 <sup>b</sup>

\*a,b DIFERENTES LETRAS EN EL MISMO RENGLON INDICAN DIFERENCIA ESTADISTICA (P< 0.05)  
T1: DIETA TESTIGO, T2: 10% DE SEMILLA DE CHÍA, T3: 20% DE SEMILLA DE CHÍA, MEDIA ± ERROR ESTÁNDAR

Los consumos de proteína, grasa, fibra y energía digestible para cada uno de los tratamientos aparecen en el Cuadro 14, mostrándose que el consumo de grasa fue menor en el tratamiento testigo.

**Cuadro 14. CONSUMO TOTAL DE DIFERENTES FRACCIONES DURANTE 35 DÍAS, EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS EXPERIMENTALES.**

VARIABLE	T1	T2	T3
PROTEINA BRUTA(g)	578.8	575.1	582.4
EXTRACTO ETereo (g)	172.4	222.1	296.9
FIBRA BRUTA(g)	597.6	472.3	434.6
ENERGIA DIGESTIBLE(Mcal)*	9.486	9.010	9.031

T1: DIETA TESTIGO, T2: 10% DE SEMILLA DE CHÍA, T3: 20% DE SEMILLA DE CHÍA

La dieta testigo presentó un porcentaje mayor de fibra cruda con respecto a los tratamientos 2 y 3 (Cuadro 12),

así como un menor aporte de energía por parte de los lípidos. El conejo posee una baja capacidad para digerir la fibra, provocando un aumento en la conversión alimenticia.

En un estudio realizado por Dessimoni<sup>46</sup> observó que niveles altos de fibra afectan la digestibilidad de la fibra y la energía en los conejos; así como, disminución de la densidad energética del alimento.

Por otro lado, Fernandez et al.<sup>49</sup> y Martens et al.<sup>50</sup> mencionan que los aceites vegetales poseen un alto grado de digestibilidad, lo cual se asocia con niveles altos de ácidos grasos insaturados. Las variaciones en los porcentajes de lípidos, fibra cruda y grado de insaturación en las dietas al incluir la semilla de chía, podrían explicar una mejor conversión alimenticia de los tratamientos 2 y 3.

Todos los hallazgos concuerdan con lo conseguido por Ayerza y Coates<sup>51</sup>, donde al incluir 15 % de semilla de chía en una dieta y 5% de aceite de chía en otra, en ratas por 4 semanas, no observo diferencia entre tratamientos para las variables: ganancia de peso, consumo de alimento y peso final. Sin embargo, la inclusión de la semilla o aceite de chía sí influyó en la eficiencia alimenticia la cual se mejoro.

Por el contrario en estudios realizados por Ayerza et al.<sup>52</sup> en pollo de engorda, la inclusión de 10 y 20% de semilla de chía aumentó la conversión alimenticia y disminuyo el peso final con respecto a la dieta testigo, asociándolo a la presencia de un gel mucilaginoso de polisacáridos que formó una barrera física que limitó la extracción de los lípidos, disminuyendo la energía metabolizable.

No hubo diferencias entre tratamientos para el peso de la canal ( $P > 0.05$ ), pero sí en el rendimiento ( $P < 0.05$ ), existiendo un menor rendimiento en los conejos alimentados con la dieta testigo. El mayor rendimiento de la canal se registró con las dietas 2 y 3; el tratamiento testigo tuvo el menor porcentaje, con 50.30%.

La diferencia puede atribuirse a un mayor consumo de fibra bruta (597.6 g) y menor ingesta de lípidos (172.45 g) por los conejos que consumieron la dieta sin chía (Cuadro 14). Al aumentar el consumo de fibra, se incrementa el peso del aparato digestivo y contenido intestinal, debido a un aumento en los tiempos de retención del alimento y la mayor ingesta de lípidos a través de la dieta refleja en una mayor cantidad de los depósitos de grasa<sup>47,48,53,54</sup>.

### **Características fisicoquímicas de la carne de conejo**

#### **Coloración**

La coloración de la carne depende del tipo de músculo y concentración de mioglobina, además del estado de oxidación del átomo de hierro del grupo hemo y de una posible desnaturalización de la globina. Las escalas se basan en la teoría de percepción de colores opuestos, que establece que un color no puede ser verde y rojo, ni azul y amarillo al mismo tiempo<sup>5</sup>. En la escala CIE  $a^*$  indica el color rojo /verde y  $b^*$  el color amarillo/azul. A partir de los colores  $a^*$  y  $b^*$  se puede calcular el matiz:  $H(^{\circ})_{ab} = \text{tg}^{-1} b^*/a^*$  y la cromaticidad:  $C^*_{ab} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ .

En las determinaciones de la coloración no existió efecto para la interacción día X tratamiento para las distintas

zonas anatómicas ( $P > 0.05$ ), pero sí hubo efecto significativo en los factores tratamiento y día ( $P < 0.05$ ).

La luminosidad en la zona de séptima vértebra lumbar (Cuadro 15) no presentó diferencia entre los tratamientos ( $P > 0.05$ ), pero sí hubo cambios de la luminosidad durante los días de almacenamiento ( $P < 0.05$ ): la luminosidad fue en aumento sobre todo de los días 8 a 12.

El valor de  $a^*$  (rojo) fue diferente entre los tratamientos, el tratamiento 2 presentó el valor más bajo (0.64), seguido de la dieta 1 (1.40) y la dieta 3 (2.48). El enrojecimiento mostró diferencias entre los días de almacenamiento, disminuyendo con el paso del tiempo ( $P < 0.05$ ).

Los valores de  $b^*$  fueron mayores en la dieta 3 con respecto a la dieta 1 ( $P < 0.05$ ); la dieta 2 presentó un valor de  $b^*$  igual a las dietas 1 y 3. El día 1 fue diferente al resto de las mediciones realizadas en los días 4, 8 y 12 de almacenamiento ( $P < 0.05$ ): el valor aumentó, pero después del día 4 se mantuvo constante.

**Cuadro 15. DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE LUMINOSIDAD (L\*), ROJOS (a\*) Y AMARILLOS (b\*) A LA ALTURA DE LA SÉPTIMA VÉRTEBRA LUMBAR.**

**LUMINOSIDAD (L\*)**

	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>MEDIA</b>
<b>DÍA 1</b>	53.67	56.26	53.99	54.64 <sup>a</sup>
<b>DÍA 4</b>	56.04	55.69	55.41	55.71 <sup>ab</sup>
<b>DÍA 8</b>	55.94	58.78	56.76	57.16 <sup>bc</sup>
<b>DÍA 12</b>	57.10	58.65	56.53	57.43 <sup>c</sup>
<b>MEDIA</b>	55.69 <sup>a</sup>	57.34 <sup>a</sup>	55.67 <sup>a</sup>	56.23

**ROJOS (a\*)**

	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>MEDIA</b>
<b>DÍA 1</b>	2.33	0.82	3.33	2.16 <sup>a</sup>
<b>DÍA 4</b>	1.51	0.89	3.11	1.83 <sup>ab</sup>
<b>DÍA 8</b>	0.73	0.69	1.77	1.06 <sup>b</sup>
<b>DÍA 12</b>	1.05	0.15	1.73	0.98 <sup>b</sup>
<b>MEDIA</b>	1.40 <sup>a</sup>	0.64 <sup>b</sup>	2.48 <sup>c</sup>	1.51

**AMARILLOS (b\*)**

	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>MEDIA</b>
<b>DÍA 1</b>	7.30	9.06	10.61	8.99 <sup>a</sup>
<b>DÍA 4</b>	10.04	10.09	11.28	10.47 <sup>b</sup>
<b>DÍA 8</b>	9.19	10.66	10.46	10.10 <sup>b</sup>
<b>DÍA 12</b>	10.26	10.82	10.08	10.39 <sup>b</sup>
<b>MEDIA</b>	9.19 <sup>a</sup>	10.16 <sup>ab</sup>	10.61 <sup>b</sup>	9.99

\* a, b, c DIFERENTES LETRAS INDICAN DIFERENCIA ESTADÍSTICA SIGNIFICATIVA (P < 0.05)  
T1: DIETA TESTIGO, T2: 10% DE SEMILLA DE CHÍA, T3: 20% DE SEMILLA DE CHÍA

En el *Bíceps femoris* (Cuadro 16), las determinaciones de la luminosidad fueron similares entre tratamientos y días de almacenamiento (P > 0.05).

Los valores de a\* no mostraron diferencia por el tipo de dieta (P > 0.05), pero sí hubo diferencia estadística (P < 0.05) entre los días de almacenamiento; el valor fue disminuyendo después del día 8.

**Cuadro 16. DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE LUMINOSIDAD (L\*), ROJOS (a\*) Y AMARILLOS (b\*) EN BICEPS FEMORIS.**

**LUMINOSIDAD (L\*)**

	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>MEDIA</b>
<b>DÍA 1</b>	55.68	55.13	55.63	55.48 <sup>a</sup>
<b>DÍA 4</b>	55.14	52.67	54.68	54.16 <sup>a</sup>
<b>DÍA 8</b>	54.21	53.01	55.22	54.15 <sup>a</sup>
<b>DÍA 12</b>	54.80	53.86	55.14	54.60 <sup>a</sup>
<b>MEDIA</b>	54.95 <sup>a</sup>	53.67 <sup>a</sup>	55.17 <sup>a</sup>	54.60

**ROJOS (a\*)**

	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>MEDIA</b>
<b>DÍA 1</b>	1.78	1.13	0.38	1.10 <sup>a</sup>
<b>DÍA 4</b>	-0.01	0.73	1.29	0.67 <sup>ab</sup>
<b>DÍA 8</b>	0.22	0.25	0.21	0.23 <sup>b</sup>
<b>DÍA 12</b>	-0.11	-0.37	0.65	0.05 <sup>b</sup>
<b>MEDIA</b>	0.46 <sup>a</sup>	0.43 <sup>a</sup>	0.63 <sup>a</sup>	0.51

**AMARILLOS (b\*)**

	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>MEDIA</b>
<b>DÍA 1</b>	7.81	8.51	8.30	8.21 <sup>a</sup>
<b>DÍA 4</b>	8.21	9.01	9.20	8.82 <sup>a</sup>
<b>DÍA 8</b>	8.00	8.26	9.10	8.51 <sup>a</sup>
<b>DÍA 12</b>	7.96	8.15	9.42	8.51 <sup>a</sup>
<b>MEDIA</b>	8.00 <sup>a</sup>	8.51 <sup>ab</sup>	9.03 <sup>b</sup>	8.51

\* a, b, c DIFERENTES LETRAS INDICAN DIFERENCIA ESTADÍSTICA SIGNIFICATIVA (P < 0.05)  
T1: DIETA TESTIGO, T2: 10% DE SEMILLA DE CHÍA, T3: 20% DE SEMILLA DE CHÍA

El valor de b\* mostró diferencias entre el tratamiento 1 (8.00) y 3 (9.03) (P < 0.05), pero el valor de la dieta 2 fue similar al de las dietas 1 y 3 (P > 0.05).

Las mediciones de luminosidad realizadas en la grasa perirrenal (Cuadro 17), no mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (P > 0.05), pero el valor aumentó después del día 4, manteniéndose constante hasta el día 12 (P < 0.05).

La coloración roja disminuyó en los tratamientos 2 y 3 y a través del tiempo ( $P < 0.05$ ). Los valores de  $b^*$  no fueron afectados por la dieta ni por el tiempo de almacenamiento ( $P > 0.05$ ).

La luminosidad en la séptima vértebra lumbar, *Bíceps femoris* y grasa perirrenal fue la misma entre tratamientos, pero no con el tiempo de almacenamiento. Únicamente las mediciones realizadas en *Bíceps femoris* no cambiaron con el tiempo, pero en la grasa perirrenal y a la altura de la séptima vértebra lumbar la luminosidad fue en aumento.

Investigaciones de Oliver et al.<sup>55</sup> al utilizar dietas altas en grasa encontraron una mayor luminosidad de la grasa al incluir 8.5% de grasa animal (70.18) y 9.9% de aceite vegetal (63.97).

El enrojecimiento disminuyó en la grasa perirrenal al aumentar el porcentaje de inclusión de la chía y con el paso del tiempo. En *Bíceps femoris* no hubo diferencia entre tratamientos.

Los valores de  $b^*$  muestran un comportamiento similar al del enrojecimiento; este tiende a ir en aumento con el paso del tiempo o se mantiene. Al comparar los valores de  $b^*$  con las determinaciones que realizaron Oliver et al.<sup>55</sup>, los resultados fueron diferentes: los valores de  $b^*$  (3.1-5.06) fueron menores a los registrados en esta investigación (7.3-10.62).

**Cuadro 17. DETERMINACIÓN DE LOS VALORES DE LUMINOSIDAD (L\*), ROJOS (a\*) Y AMARILLOS (b\*) EN GRASA PERIRRENAL. LUMINOSIDAD (L\*)**

	T1	T2	T3	MEDIA
DÍA 1	67.70	67.43	70.62	68.58 <sup>a</sup>
DÍA 4	74.76	73.03	74.07	73.95 <sup>b</sup>
DÍA 8	74.48	74.19	74.55	74.41 <sup>b</sup>
DÍA 12	75.43	74.44	74.72	74.86 <sup>b</sup>
MEDIA	73.09 <sup>a</sup>	72.27 <sup>a</sup>	73.49 <sup>a</sup>	72.95

**ROJOS (a\*)**

	T1	T2	T3	MEDIA
DÍA 1	1.94	0.05	0.43	0.81 <sup>a</sup>
DÍA 4	1.46	0.07	-0.54	0.33 <sup>ab</sup>
DÍA 8	1.01	-0.31	-1.53	-0.27 <sup>b</sup>
DÍA 12	0.34	-1.59	-2.45	-1.23 <sup>c</sup>
MEDIA	1.19 <sup>a</sup>	-0.44 <sup>b</sup>	-1.02 <sup>b</sup>	-0.09

**AMARILLOS (b\*)**

B*	T1	T2	T3	MEDIA
DÍA 1	10.99	11.57	12.91	11.82 <sup>a</sup>
DÍA 4	10.89	11.48	12.17	11.51 <sup>a</sup>
DÍA 8	10.98	11.84	11.79	11.53 <sup>a</sup>
DÍA 12	10.72	10.81	11.09	10.87 <sup>a</sup>
MEDIA	10.89 <sup>a</sup>	11.42 <sup>a</sup>	11.99 <sup>a</sup>	11.43

\* a, b, c DIFERENTES LETRAS INDICAN DIFERENCIA ESTADISTICA SIGNIFICATIVA (P< 0.05)  
T1: DIETA TESTIGO, T2: 10% DE SEMILLA DE CHÍA, T3: 20% DE SEMILLA DE CHÍA

Al comparar los resultados obtenidos de L\*, a\* y b\* en la zona de *Biceps femoris* con lo obtenido por varios autores<sup>36,40,55,56 y 57</sup>, se obtuvieron valores similares en luminosidad (L\*) y enrojecimiento(a\*); a excepción del amarillamiento, los valores de b\* fueron menores a los obtenidos en el presente trabajo.

El comportamiento en los diferentes tratamientos y zonas anatómicas medido a través de 12 días de refrigeración, mostraron valores de luminosidad que aumentaron o se

mantuvieron constantes, pero ocurrió lo contrario con los valores de  $a^*$ .

Al respecto Corino *et al.*<sup>57</sup> observaron que la luminosidad y el enrojecimiento de la carne fueron disminuyendo con el tiempo de almacenamiento; sólo los valores de  $b^*$  mostraron un incremento en la carne (*Longissimus lumborum*); los días 1, 3, 5, 7, 9 y 11 de almacenamiento de conejos suplementados con 60 mg/kg de  $\alpha$ -tocoferol. Esto no concuerda con los valores de  $L^*$  y  $b^*$  que se obtuvieron en esta investigación.

Sin embargo, Lo Fiego *et al.*<sup>58</sup>, utilizando diferentes cantidades de vitamina E y C en la dieta y determinando el color de la carne (*Longissimus dorsi*) los días 1, 3, 6 y 8 a una temperatura de almacenamiento de  $2.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ , observaron valores de luminosidad similares a los señalados en este trabajo. Con el paso del tiempo se encontró carne de coloración más clara, asociándolo a las cantidades de vitaminas en la carne, lo que disminuye el paso de líquidos hacia los espacios extracelulares y, por lo tanto, incrementa la absorción de la luz. Esto resulta en un efecto positivo para la carne de conejo, ya que para el consumidor la carne blanca representa mejores características dietéticas y nutricionales<sup>55</sup>. Los valores de  $a^*$  y  $b^*$  no fueron mostrados por los autores y sólo indicaron que no existió diferencias entre tratamientos.

Existió una gran variabilidad en los resultados obtenidos. Por ello se recomienda que para estudios posteriores se analicen un mayor número de muestras para la determinación de color y se realice una mejor revisión sobre la técnica de medición de la coloración. Las publicaciones consultadas no describen la técnica completa, omitiendo tiempos de

oxigenación de la carne antes de realizar la medición, así como datos sobre la calibración del colorímetro de reflectancia como son: el tipo de iluminación y plato calibrador utilizado. Todo esto dificulta la comparación de resultados con los obtenidos por otros autores.

### **Pérdida por cocción y fuerza de corte**

La pérdida por cocción (Cuadro 18) fue similar entre los tratamientos ( $P > 0.05$ ). Se observó en la canal de conejos alimentados con 10% y 20% de semilla de chía una diferencia estadística significativa ( $P < 0.05$ ) en la prueba de fuerza al corte (2.22 y 2.17 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente) al ser comparadas con la dieta testigo, en la cual la fuerza de corte fue mayor (2.33 kg/cm<sup>2</sup>). Esto se asoció posiblemente a mayores porcentajes de lípidos contenidos en las dietas 2 y 3, lo que puede reflejar un aumento de lípidos intramusculares en la carne de conejo, lo cual se relaciona con una menor fuerza de corte<sup>59, 60</sup>.

**Cuadro 18. EFECTO EN PERDIDA POR COCCIÓN Y FUERZA AL CORTE DE LA CANAL CON DIFERENTES NIVELES DE INCLUSIÓN DE CHÍA (*Salvia hispanica L.*) EN LA DIETA.**

VARIABLE	T1	T2	T3
PÉRDIDA POR COCCIÓN (%)	24.87 ± 0.88 <sup>a</sup>	25.51 ± 1.74 <sup>a</sup>	25.40 ± 1.53 <sup>a</sup>
FUERZA DE CORTE (kg/cm <sup>2</sup> )	2.33 ± 0.04 <sup>a</sup>	2.22 ± 0.05 <sup>b</sup>	2.17 ± 0.04 <sup>b</sup>

\*a,b DIFERENTES LETRAS EN EL MISMO RENGLON INDICAN DIFERENCIA ESTADISTICA ( $P < 0.05$ )  
T1: DIETA TESTIGO, T2: 10% DE SEMILLA DE CHÍA, T3: 20% DE SEMILLA DE CHÍA  
MEDIA ± ERROR ESTÁNDAR

## **Lípidos totales y perfil de ácidos grasos en *Biceps femoris* y grasa perirrenal**

La concentración total de lípidos (Cuadro 19) en *Biceps femoris* fue mayor en las dietas con semilla de chía que en la dieta testigo ( $2.86 \pm 0.13$ ) ( $P < 0.05$ ).

El aumento de lípidos totales en *Biceps femoris* se relaciona con el aumento de extracto etéreo en las dietas 2 y 3 ya que estudios realizados por Martens<sup>61</sup> se encontró que al sustituir el almidón de la dieta como fuente energética por grasa o aceite, se obtenían canales con mayor porcentaje de grasa.

El incremento se puede observar tanto en depósitos de grasa como en la grasa intramuscular<sup>60</sup>. Asimismo Oliver et al.<sup>55</sup> observaron un comportamiento similar utilizando dietas con alto nivel de grasa vegetal (9.9% de extracto etéreo) o grasa animal (11.7% de extracto etéreo), obteniendo mayores pesos de la grasa perirrenal con las dietas enriquecidas, al compararlas con una dieta comercial que sólo contenía 2.6% de extracto etéreo.

El perfil de ácidos grasos en *Biceps femoris* y en la grasa perirrenal (Cuadro 20) se modificaron por el perfil de ácidos grasos presente en las dietas experimentales (Cuadro 12), resultados que concuerdan con lo publicado por diferentes investigadores<sup>9,40,42,51,55</sup>, quienes encontraron que el tipo de lípidos presentes en la dieta modifica el perfil de lípidos en suero y diferentes zonas anatómicas de la canal.

La mayoría de los ácidos grasos presentes en la zona de *Biceps femoris* fueron modificados por el tipo de dieta ( $P$

<0.05), a excepción de los ácidos esteárico, dihomoγ-linolénico y docosahexaenoico (DHA) (P <0.05). El perfil de ácidos grasos en *Biceps femoris* indicó un aumento en las cantidades de alfa-linolénico (ALA) conforme se incrementó la inclusión de chía en la dieta: 4.91%, 16.96 y 25.71% para las dietas T1, T2 y T3 respectivamente.

En el caso de EPA, las dietas T2 y T3 aumentaron su concentración 3.3 y 3.7 veces respecto al tratamiento 1. Esto puede estar relacionado con la preferencia de la enzima desaturasa 6 por el ácido alfa linolénico con respecto al ácido linoleico (ALA), la cual interviene para la formación del ácido eicosapentaenoico a partir de ALA.

Las cantidades del ácido DHA aportadas por la dieta fueron mínimas y similares (Cuadro 12), reflejándose en los porcentajes registrados en *Biceps femoris*. Incrementos en ALA no necesariamente aumentan los niveles de EPA y DHA, ya que se requiere de 20 moléculas de ALA para formar 1 de EPA y 20 moléculas de EPA para formar 1 de DHA. Por ello se recomienda proporcionar una fuente alta en estos dos ácidos pertenecientes a la familia omega 3 en la dieta<sup>21</sup>.

Al igual que el perfil de ácidos grasos de las dietas, al aumentar el ALA en *Biceps femoris*, disminuyeron los ácidos grasos saturados y monoinsaturados, principalmente el ácido palmítico y el oleico.

**Cuadro 19. DETERMINACIÓN DE LÍPIDOS TOTALES Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS (%) EN *Biceps femoris* CON DIFERENTES NIVELES DE INCLUSIÓN DE CHÍA.**

		T1	T2	T3
<b>LÍPIDOS TOTALES</b>		2.86 ± 0.13 <sup>a</sup>	3.88 ± 0.27 <sup>b</sup>	3.69 ± 0.062 <sup>b</sup>
<b>ÁCIDO GRASO</b>				
Mirístico	(14:0)	1.66 ± 0.08 <sup>a</sup>	1.48 ± 0.11 <sup>ab</sup>	1.17 ± 0.04 <sup>b</sup>
Palmítico	(16:0)	22.05 ± 0.64 <sup>a</sup>	20.11 ± 0.50 <sup>b</sup>	17.90 ± 0.40 <sup>c</sup>
Esteárico	(18:0)	6.91 ± 0.23 <sup>a</sup>	6.84 ± 0.31 <sup>a</sup>	7.30 ± 0.23 <sup>a</sup>
Palmítoleico	(16:1)	2.10 ± 0.27 <sup>a</sup>	2.15 ± 0.23 <sup>a</sup>	1.18 ± 0.04 <sup>b</sup>
Oleico	(18:1)	19.05 ± 0.68 <sup>a</sup>	16.18 ± 0.58 <sup>b</sup>	14.70 ± 0.21 <sup>b</sup>
Linoleico	(18:2)	24.26 ± 0.96 <sup>a</sup>	21.52 ± 0.49 <sup>b</sup>	21.28 ± 0.35 <sup>b</sup>
Gama-linolénico	(18:3)	0.10 ± 0.007 <sup>a</sup>	0.05 ± 0.003 <sup>b</sup>	0.06 ± 0.007 <sup>b</sup>
Dihomoglinolénico	(20:3)	0.45 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.32 ± 0.03 <sup>a</sup>
Araquidónico	(20:4)	3.61 ± 0.14 <sup>a</sup>	2.82 ± 0.40 <sup>ab</sup>	2.11 ± 0.20 <sup>b</sup>
Alfa-linolénico	(18:3)	4.91 ± 0.38 <sup>a</sup>	16.96 ± 0.80 <sup>b</sup>	25.71 ± 1.07 <sup>c</sup>
EPA <sup>1</sup>	(20:5)	0.21 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.69 ± 0.08 <sup>b</sup>	0.77 ± 0.05 <sup>b</sup>
DHA <sup>2</sup>	(22:6)	0.28 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.47 ± 0.21 <sup>a</sup>	0.24 ± 0.06 <sup>a</sup>
TOTAL DE ω 6		28.42 ± 1.02 <sup>a</sup>	24.83 ± 0.80 <sup>b</sup>	23.79 ± 0.48 <sup>b</sup>
TOTAL DE ω 3		5.41 ± 0.38 <sup>a</sup>	18.13 ± 0.64 <sup>b</sup>	26.73 ± 1.04 <sup>c</sup>
AGS <sup>3</sup>		30.63 ± 0.91 <sup>a</sup>	28.45 ± 0.49 <sup>ab</sup>	26.38 ± 0.59 <sup>b</sup>
AGM <sup>4</sup>		21.15 ± 0.71 <sup>a</sup>	18.34 ± 0.78 <sup>b</sup>	15.88 ± 0.23 <sup>c</sup>
AGP <sup>5</sup>		33.84 ± 1.19 <sup>a</sup>	42.97 ± 0.56 <sup>b</sup>	50.52 ± 1.10 <sup>c</sup>
ω 6 / ω 3		5.57 ± 0.38 <sup>a</sup>	1.40 ± 0.09 <sup>b</sup>	0.90 ± 0.04 <sup>b</sup>

\*a,b,c DIFERENTES LETRAS EN EL MISMO RENGLON INDICAN DIFERENCIA ESTADISTICA (P< 0.05)

T1: DIETA TESTIGO, T2: 10% DE SEMILLA DE CHÍA, T3: 20% DE SEMILLA DE CHÍA

<sup>1</sup>EPA=Eicosapentaenoico <sup>2</sup>DHA= Docosahexaenoico <sup>3</sup>AGS= Ácidos Grasos Saturados

<sup>4</sup>AGM= Ácidos Grasos Monoinsaturados <sup>5</sup>AGP= Ácidos Grasos Poliinsaturados

MEDIA ± ERROR ESTÁNDAR

En lo que respecta al linoleico, aunque existió una diferencia entre el tratamiento 1 y los tratamientos 2 y 3, no ocurrió un gran cambio como sucedió con el ALA.

Analizando el suero de ratas de laboratorio alimentadas con una dieta testigo, dieta con 15% de semilla de chía y dieta con 5% de aceite de chía, Ayerza y Coates<sup>51</sup> observaron aumentos considerables de ALA en el suero (0.6% en la dieta testigo y 33.4% en el resto de las dietas) y una disminución significativa en el ácido linoleico (39.9% en

la dieta testigo, 20.2% en las dietas enriquecidas con ALA). Al analizar el suero de los animales alimentados con semilla o aceite de chía, encontraron un aumento en la concentración de ALA en suero, pero el ácido linoleico se mantuvo igual. Ayerza *et al.*<sup>52</sup> observaron lo mismo en aves de engorda cuyas dietas contenían 0, 10 y 20% de semilla de chía en la dieta: se modificó el perfil de lípidos de las dietas, aumentando considerablemente la concentración de ALA en las dietas con chía, pero a la vez se disminuyó el porcentaje del ácido linoleico en la dieta control con respecto al resto de los tratamientos. Al revisar el perfil de ácidos grasos en la pierna sólo se obtuvieron diferencias en ALA.

En otros estudios de Oliver *et al.*<sup>55</sup>, se incluyeron diferentes tipo de grasas en la dieta de conejos de engorda para comparar la modificación en el perfil de lípidos en musculo. Los tipos de grasa utilizadas fueron de origen animal (sebo y grasa de pollo) y vegetal (aceite de girasol, ácidos grasos acidulados, aceite de linaza y aceite de soya).

Los ácidos grasos analizados mostraron diferencia estadística entre tratamientos, principalmente el ácido linoleico, al ser el ácido graso con mayor concentración en los aceites vegetales. Se observó lo contrario con ALA, sólo la inclusión de linaza en la dieta aumentó su porcentaje en el músculo.

Al aumentar el porcentaje de inclusión de la semilla de chía aumentó la concentración de los ácidos linolénico y EPA, pero la concentración es todavía mayor si se considera que el contenido de ácidos grasos en la zona de *Biceps*

*femoris* fue mayor con las dietas 2 y 3, por ello la concentración de ácidos grasos omega 3 aumentó (Cuadro 20).

**Cuadro 20. CONTENIDO CALCULADO (mg/100g) DE ÁCIDOS GRASOS PERTENECIENTES A LAS FAMILIAS OMEGA 3 Y 6 EN *Bíceps femoris* SEGÚN EL TRATAMIENTO.**

<i>Bíceps femoris</i>			
	T1	T2	T3
Linoleico	693.83	834.97	785.23
Gama-linolenico	2.86	1.94	2.21
Dihomoglinolenico	12.87	16.68	11.80
Araquidonico	103.24	109.41	77.85
Alfa-linolenico	140.42	658.04	948.69
EPA	6.00	26.77	28.41
DHA	8.00	18.23	8.85

T1: DIETA TESTIGO, T2: 10% DE SEMILLA DE CHÍA, T3: 20% DE SEMILLA DE CHÍA

Los resultados de la grasa perirrenal (Cuadro 21) indicaron un comportamiento similar al de *Biceps femoris*; sólo los ácidos EPA y DHA no mostraron diferencias entre tratamientos ( $P > 0.05$ ).

**Cuadro 21. PERFIL DETERMINADO DE ÁCIDOS GRASOS (%) EN GRASA PERIRRENAL CON DIFERENTES NIVELES DE INCLUSIÓN DE CHIA (*Salvia hispanica L.*).**

ÁCIDO GRASO		T1	T2	T3
Mirístico	(14:0)	2.45 ± 0.06 <sup>a</sup>	2.06 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.42 ± 0.05 <sup>c</sup>
Palmítico	(16:0)	25.19 ± 0.25 <sup>a</sup>	20.27 ± 0.25 <sup>b</sup>	15.48 ± 0.23 <sup>c</sup>
Esteárico	(18:0)	6.28 ± 0.12 <sup>a</sup>	5.66 ± 0.07 <sup>b</sup>	4.99 ± 0.12 <sup>c</sup>
Palmitoleico	(16:1)	1.87 ± 0.11 <sup>a</sup>	1.67 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.83 ± 0.02 <sup>b</sup>
Oleico	(18:1)	25.22 ± 0.33 <sup>a</sup>	18.68 ± 0.58 <sup>b</sup>	15.52 ± 0.28 <sup>c</sup>
Linoleico	(18:2)	27.63 ± 0.52 <sup>a</sup>	24.34 ± 0.44 <sup>b</sup>	22.70 ± 0.31 <sup>c</sup>
Gama-linolénico	(18:3)	0.06 ± 0.009 <sup>a</sup>	0.11 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.08 ± 0.009 <sup>a</sup>
Dihomoglinolénico	(20:3)	0.09 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.07 ± 0.006 <sup>ab</sup>	0.04 ± 0.005 <sup>b</sup>
Araquidónico	(20:4)	0.18 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.18 ± 0.007 <sup>a</sup>	0.13 ± 0.005 <sup>b</sup>
Alfa-linolénico	(18:3)	7.21 ± 0.46 <sup>a</sup>	22.78 ± 0.45 <sup>b</sup>	35.05 ± 0.45 <sup>c</sup>
EPA <sup>1</sup>	(20:5)	0.06 ± 0.005 <sup>a</sup>	0.06 ± 0.005 <sup>a</sup>	0.06 ± 0.002 <sup>a</sup>
DHA <sup>2</sup>	(22:6)	0.03 ± 0.008 <sup>a</sup>	0.03 ± 0.003 <sup>a</sup>	0.04 ± 0.006 <sup>a</sup>
TOTAL DE ω 6		27.95 ± 0.52 <sup>a</sup>	24.70 ± 0.44 <sup>b</sup>	22.95 ± 0.31 <sup>c</sup>
TOTAL DE ω 3		7.30 ± 0.46 <sup>a</sup>	22.86 ± 0.45 <sup>b</sup>	35.16 ± 0.45 <sup>c</sup>
AGS <sup>3</sup>		33.93 ± 0.35 <sup>a</sup>	27.99 ± 0.29 <sup>b</sup>	21.89 ± 0.27 <sup>c</sup>
AGM <sup>4</sup>		27.09 ± 0.35 <sup>a</sup>	20.35 ± 0.56 <sup>b</sup>	16.35 ± 0.27 <sup>c</sup>
AGP <sup>5</sup>		35.26 ± 0.46 <sup>a</sup>	47.56 ± 0.52 <sup>b</sup>	58.11 ± 0.40 <sup>c</sup>
ω 6 / ω 3		3.83 ± 0.37 <sup>a</sup>	1.08 ± 0.43 <sup>b</sup>	0.65 ± 0.01 <sup>b</sup>

a,b,c DIFERENTES LETRAS EN EL MISMO RENGLON INDICAN DIFERENCIA ESTADISTICA (P< 0.05)

T1: DIETA TESTIGO, T2: 10% DE SEMILLA DE CHÍA, T3: 20% DE SEMILLA DE CHÍA

<sup>1</sup>EPA=Eicosapentaenoico <sup>2</sup>DHA= Docosahexaenoico <sup>3</sup>AGS= Ácidos Grasos Saturados

<sup>4</sup>AGM= Ácidos Grasos Monoinsaturados <sup>5</sup>AGP= Ácidos Grasos Poliinsaturados

MEDIA ± ERROR ESTÁNDAR

La concentración de ALA se incrementó al incluirse la semilla de chía en la dieta, disminuyendo la concentración de los ácidos grasos saturados y monoinsaturados y aumentando la de los poliinsaturados. El valor del ácido linoleico fue diferente entre tratamientos, pero no se observaron cambios tan grandes como los vistos en ALA. La concentración de los ácidos mirístico, palmítico, esteárico, oleico y linoleico disminuyeron al aumentar la inclusión de chía en la dieta (P <0.05). Ocurrió lo contrario con el ácido alfa-linolénico, al registrarse el mayor porcentaje (35.05%) en el tratamiento 3(35.05%) y el menor (7.21%) en la dieta testigo.

Al aumentar el porcentaje de inclusión de chía en la dieta existieran diferencias en el total de ácidos grasos ( $P < 0.05$ ); los ácidos grasos saturados, monoinsaturados y ácidos grasos omega 6 fueron disminuyendo. Los ácidos omega 3 y ácidos grasos poliinsaturados aumentaron su concentración al incluir la semilla de chía. Los cambios en los ácidos grasos linoleico y alfa-linolénico al aumentar el porcentaje de chía en la dieta mejoró la relación omega 6/ omega 3.

## CONCLUSIONES

Bajo las condiciones experimentales empleadas utilizando niveles de 0, 10 y 20 % de inclusión de semilla de chía (*Salvia hispanica L.*) en dietas para conejos de engorda, se concluye lo siguiente:

- La utilización de la semilla de chía en dietas para conejo de engorda de 35 a 70 días de edad, en niveles de inclusión de hasta un 20%, no afectó las variables productivas, incluso se observó una mejoría en la conversión alimenticia y rendimiento de la canal.
- No se afectó de manera negativa las propiedades fisicoquímicas de la carne de conejo, por el contrario se observó una carne más suave y con mayor cantidad de lípidos totales.
- La utilización de la semilla de chía incrementó los depósitos de ácidos grasos omega 3 (ALA, EPA y DHA) en la zona de *Bíceps femoris* y de la grasa perirrenal; por ello puede considerarse a esta carne de conejo como un alimento funcional.
- Con base en lo anterior, la siembra y la utilización de chía puede ser una alternativa en producciones familiares, donde se aprovechan forrajes y granos de la región, hasta producciones intensivas o semi-intensivas, donde se puede incluir a la semilla de chía en dietas balanceadas para conejos, produciendo carne de mayor calidad con base en el contenido de ácidos grasos insaturados omega 3.

## LITERATURA CITADA

1. McNitt JI, Patton NM, Cheeke PR, Lukefahr SD. Rabbit Production. 8<sup>a</sup> ed. EUA: Interstate Publishers, 2000
2. Colin M, Lebas F. Rabbit meat production in the world. A proposal for every country. Proceedings of 6<sup>th</sup> World Rabbit Congress, Toulouse, France 1996, vol 3:323-330.
3. Camps J. Programa básico para la cría de conejos en el medio rural, pero con mínimos. Memorias del Segundo Congreso de Cunicultura de las Americas. 2002 junio 19-22. Ciudad de La Habana Cuba: AB-WRSA, 2002: 12-17.
4. Mendoza AB. Situación de la cunicultura en México. Memorias del ciclo internacional de conferencias en cunicultura empresarial; Chapingo (Edo. de México). Universidad Autónoma Chapingo, 2002: 1-6.
5. Ramírez TJA. Características bioquímicas del músculo, calidad de la carne y de la grasa de conejos seleccionados por velocidad de crecimiento, (Tesis doctoral), Facultad de Veterinaria Bellaterra, Barcelona , 2004.
6. Dalle ZA. La Calidad de la canal y de la carne de conejo, Cunicultura, Octubre 2004.
7. Ortiz HJA. Evaluación del rendimiento y calidad de canales de conejos de aptitudes carnicas y aptitudes peleteras (Tesis de Licenciatura), México (DF); Universidad Nacional Autónoma de México, 2000.
8. Hernández GJA. Efecto de la fecha de siembra, densidad de población y competencia de malezas en el rendimiento de chia (Tesis de Maestría)

Montecillos (Edo. de México) México: Colegio de Posgraduados, 1989.

9. Ayerza R. Influence on yolk cholesterol, lipid content and fatty acid composition forture strains of hens. Poultry Science 2000;79: 725-739.
10. Ayerza R. Oil content and fatty acid composition of Chia (*Salvia hispanica* L.) from five Northwestern locations in Argentina, JAOCS, 1995, Vol 72,no 9.
11. Olivos LB. Estudio de las propiedades termicas funcionales y nutritivas de la fracción proteínica de la semilla de Chía (*Salvia hispanica*), (Tesis de Licenciatura), México (D.F.), Universidad Nacional Autónoma de México, 2005
12. Especies con usos no maderables en bosques de encino, pino y pino - encino ,Citado el 14 de noviembre de 2006, <http://www.semarnat.gob.mx/pfnm/SalviaHispanica.htm> l.
13. Reyes CE. La Chia (*Salvia hispanica* L): fuente de fibra dietética total con propiedades funcionales y antioxidantes, (Tesis de Licenciatura), México (D.F.), Universidad Nacional Autónoma de México, 2006.
14. Taga MS, Millar MM, Prat DE. Chia seed as a source of natural lipid antioxidants, JAOCS, Vol 61, no. 5, Mayo 1984.
15. Marriot BM. Functional foods: an ecologic perspective. American Journal of Clinic Nutrition, 2000; 71(suppl), 1782S-34-S.
16. Murria KR, Mayes AP, Granner DK. Harper Bioquímica Ilustrada. 16ª ed. México: El Manual Moderno, 2003.
17. Montgomery R, Conway TW. Bioquímica, 6ª .ed. España Harcourt Brace, 1999.

18. Roskoski JR. Bioquímica, 2ª ed., Editorial Mc.Graw-Hill Latinoamericana,1997.
19. Alberst B, Bray D, Lewis J, Raff M, Roberts K, Watson DJ. Bioquímica molecular de la célula. 3ª ed. Barcelona: Ediciones Omega, 2002.
20. Estudio FAO alimentación y nutrición 57. Grasas y aceites en la nutrición humana. FAO/OMS. Roma 1997.
21. Larry BA, Michael DP, Salminen S, Jonh HT. Food Additives, 2a ed. Marcel Dekker, USA,2002 .
22. Castro GMI. Acidos Grasos Omega 3: Beneficios y Fuentes. Interciencia, 2002; 27:128-136.
23. Sommer HM,Mu H, Hoy CE. Influence of maternal dietary n-3 fatty acids on breast milk and liver lipids of rat dams and offspring a preliminary study, Nutrition Research 2003;23:747-760.
24. Mataix J, Gil A. Libro blanco de los omega 3, 1ª Edición, Editorial Medica Panamericana, 2004.
25. Gurr MI. Lipids, 2ª. Edición, Elsevier Science Publishers-LTD, London, 1992.
26. Sadler MJ, Strain JJ, Caballero B. Encyclopedia of human nutrition, Academic Press, San Diego, USA, 1999.
27. Jonathan E. Teitelbauma, W. Allan Walkerb. Review: the role of omega 3 fatty acids in intestinal inflammation, Journal of Nutricional Biochemistry, 2001; 12: 21-32
28. Hwang D. Fatty acids and inmune responses- A new perpectives in searching for clues to mechanism, Annu. Rev. Nutr.,2000; 20: 431-456.
29. Horrocks LL, Yeo Y. Health benefits of Docosahexaenoic (DHA), Pharmacological Research,1999: 40: 211-225

30. Wijendran V, Hayes KC. Dietary n-6 and n-3 Fatty Acid balance and cardiovascular health, *Annu Rev Nutr*, 2004.24. 597-615
31. Robinson BS, Hii CS, Ferrante A. Activation phospholipase A2 in human neutrophils by polyunsaturated fatty acid and its role in stimulation of peroxide production, *Biochem J*, 1998; 336: 611-617.
32. García E. Modificaciones al sistema de Clasificación Climática de Koppen. 4ª ed. México: SIGSA. 1987.
33. AOAC: Official Methods of analysis. Used association of official analytical chemists. Washington D.C., 1990.
34. Fekete s, Gippert T. Digestibility and nutritive value of nineteen important rabbit feedstuffs. *J. Appl Rabbit Res*, (1986) 9 103-108.
35. Comercializadora de Software: NUTRION, Versión PRO (Programa computacional) Versión 5.0 REV 020131. Guadalajara (México), 2002.
36. Lebas F. Reflections on rabbit nutrition with a special emphasis on feed ingredients utilization, *Memorias del 8º World Rabbit Congress; Septiembre 7-10 Mexico- Puebla*, 2004.
37. Blasco A. Study of rabbit meat and carcass, *J. Appl. Res.* 1992;15,775-786,
38. Pla M, Zotte DA. Harmonisation of criteria and methods used in rabbit meat research, 7 th World Rabbit Congress, Valencia, 2000.
39. Corino C, Pastorelli G, Pantaleo L, Oriani G, Salvatori G. Improvement of color and lipid stability of rabbit meat by dietary supplementation with vitamin E. *Meat Science* 1999; 52: 285-289.

40. Hernández P, Pla M, Oliver MA, Blasco A. Relationships between meat quality measurements in rabbits feed with three of different fat type and content, Meat Science 2000;55, 379-384.
41. Pilar H, Pla M, Blasco A Carcass characteristics and meat quality of rabbit lines selected for different objectives: II. Relationships between meat characteristics. Livestock Production Science 1998; 54, 125-131.
42. Dal Bosco A, Castellini C, Bianchi L, Mugnai C. Effect of dietary  $\alpha$ -linolenic acid and vitamin E on the fatty acid composition, storage, stability and sensory traits of rabbit meat, Meat Science 2004; 66, 407-413.
43. Angel OM, Guerrero L, Diaz I, Blasco A. The effect of fat-enriched diets on the perirenal fat quality and sensory characteristics of meat from rabbits, Meat Science 1997; 47, 95-103.
44. Ortiz HJA. Evaluación del rendimiento y calidad de canales de conejos de aptitudes carnicas y aptitudes peleteras (Tesis de Licenciatura), México (DF); Universidad Nacional Autónoma de México, 2000.
45. SAS: SAS User's Guide: Statistics. 4<sup>th</sup> ED. SAS institute, Inc., Cary, NC, (1999).
46. Dessimoni CR. Efecto de razas y de diferentes niveles de proteína y fibra bruta sobre la digestibilidad de nutrientes en raciones de conejos, 2<sup>th</sup> World Rabbit Congress; 1980, Barcelona; 101-110, 1980.
47. De Blas BC. Alimentación del conejo, 2<sup>a</sup> edición, Ediciones Mundi-Prensa, España, 1989.

48. De Blas C, Wiseman J. The Nutrition of the rabbit, 1a. edición, Editorial CABI Publissing, 1998.
49. Fernández C, Cobos A, Fraga MJ. The effect of fat inclusion on diet digestibility in growing rabbits, *J. Anim. Sci.*,1994, 72: 1508-1515.
50. Martens L, Huyghebaert G, De Goote G. Digestibility and digestible energy content of various fats for growing rabbit, *Cuni- Sciences* 1986, 3: 7-14.
51. Ayerza R, Coates W. Ground chia seed and chia oil effects on plasma lipids and fatty acids in the rat, *Nutrition Research*,2005, 25:995-1003
52. Ayerza R, Coates W, Lauria M. Chia seed (*Salvia hispanica* L.) as an  $\omega$ -3 fatty acid source for broilers: Influence on fatty acid composition, cholesterol and fat content of white and dark meats, Growth performance, and sensory characteristics. *Poultry Science* 2002;81: 826-837.
53. García G, Gálvez JF, De Blas JC. Substitution of barley grain by sugar-beet pulp in diets for finishing rabbits. 2. Efect on growth performance. *J. Appl. Rabbit Res.* 1992; 15:1017-1024.
54. Martens L. Grasa en nutrición de conejos, *Memorias del Primer Congreso de Cunicultura de las Americas; Septiembre 7-9; Montecillos (Edo. de México) México, Colegio de Posgraduados,1998:N1-N17.*
55. Oliver MA, Guerrero L, Diaz I, Gispert M, Pla M, Blanco A. The effect of fat-enriched diets on the perirenal fat quality and sensory characteristics of meat from rabbits, *Meat Science*,1997, Vol 47; ½ 95-103.
56. Ramirez JA, Oliver MA, Pla M, Guerrero L, Ariño B, Blasco A, Pascual M, Gil M. Effect of selection for growth rate on biochemical, quality and texture

characteristics of meat from rabbits, *Meat Science*, 2004, 67:617-624.

57. Corino C, Pastorelli G, Pantaleo L, Oriani G, Salvatori G, Improvement of color and lipid stability of rabbit meat by dietary supplementation with vitamin E, *Meat Science* 1999; 52: 285-289.
58. Lo Fiego DP, Santoro P, Macchioni P, Masón D, Piattoni F, Tassone F, De Leonibus D. The effect of dietary supplementation of vitamins C and E on the  $\alpha$ -tocopherol content of muscles, liver and kidney, on the stability of lipids, and on certain meat quality parameters of the *Longissimus dorsi* of rabbits, *Meat Science* 2004; 67: 319-327.
59. Macias G, Rubio M, Montiel A. Calidad de la carne de conejo de las razas chinchilla y nueva Zelanda con diferentes tratamientos de congelación y maduración, Congreso de Cunicultura de las Americas ;septiembre 7-9; Montecillos (Edo. de México)México, Colegio de Posgraduados, P12-P15;1998.
60. Combes S, Avergne A, Lebas F. Effect of cooking temperature on Warner-Bratzler tenderness measurement in rabbit meat, 7 th World Rabbit Congress, Valencia, 2000.
61. Martens L. Nutrición Cunicola: necesidades y estrategias de alimentación, Memorias del Primer Congreso de Cunicultura de las Americas; Septiembre 7-9; Montecillos (Edo. de México) México, Colegio de Posgraduados,1998.
62. Fernández C, Fraga MJ. The effect of dietary fat inclusion on growth, carcass characteristics and chemical composition of rabbits, *J. Anim. Sci.*,1996, 74: 2088-2094.

63. Dal Bosco A, Castellini C, Bianchi L, Mugnai C. Effect of dietary  $\alpha$ -linolenic acid and vitamine E on the fatty acid composition, storage, stability and sensory traits of rabbit meat, Meat Science 2004; 66, 407-413.

## ANEXO 1

### LÍPIDOS TOTALES (Método 34.1.08 AOAC)

1. Cada muestra se analizó por duplicado. Se pesó 1 g de muestra en el caso de *Biceps femoris* y de las dietas experimentales y 0.2 gramos para grasa perirrenal y semilla de chía. Las muestras se colocaron en tubos de centrífuga de 50 ml previamente identificados.
2. Se agregaron 5 ml de cloroformo-etanol (1:1) en el tubo con la muestra; se agitó por 2 minutos en vórtex. Posteriormente, se agregaron 10 ml de cloroformo-etanol y se agitó por 2 minutos más, y, por último se agregaron 10 ml de la misma mezcla y se agitó por otros 2 minutos. Se dejó reposar por 24 horas en refrigeración.
3. Transcurridas las 24 horas, se pesó un tubo de centrífuga limpio sin etiqueta ni tapa y se le colocó un embudo de cristal previamente lavado.
4. Al embudo de cristal se le colocó un embudo elaborado con papel filtro del número 4 y se le agregó sulfato de sodio anhidro.
5. Se mojaron las paredes del papel filtro con cloroformo, posteriormente se virvió el contenido de los tubos (muestra con 25 ml de cloroformo-etanol).
6. Se limpiaron las paredes del embudo de papel con cloroformo y se retiró el embudo de papel del tubo cuando las paredes se secaron. Posteriormente, se limpiaron las paredes y la parte final del embudo de vidrio con cloroformo para retirar cualquier residuo y, por último, se tapó el tubo con la muestra y se identificó.

7. Cada tubo se colocó en baño María a 60°C para evaporar su contenido, utilizando nitrógeno, por aproximadamente 30 minutos.
8. Una vez evaporada la muestra, se pesó el tubo nuevamente, retirando la tapa y etiqueta de identificación, y por diferencia de peso se obtuvo el porcentaje de lípidos totales de la muestra.

#### PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS (Método 41.1.28 AOAC)

Metilación de los lípidos para la obtención de ésteres de ácidos grasos

1. Utilizando el tubo que contiene el total de lípidos, se le agrega 1 ml de ácido miristoleico y 2 ml de sosa metanólica ( 2g de NaOH en 100 ml de metanol); se coloca en baño María (90 °C por 10 minutos) y posteriormente se deja enfriar.
2. Una vez frío, se le agrega 1 ml de trifloruro de boro y se coloca de nuevo en baño María (90 °C por 2 minutos); una vez transcurrido el tiempo se deja enfriar la muestra.
3. Se agregan 5 ml de heptano para colocar en baño María (90 °C por 2 minutos) y se retira para dejar enfriar la muestra.
4. Se agregan 3 ml de solución saturada de cloruro de sodio (25 g de NaCl en 100 ml de agua) y se agita en vórtex por 30 segundos.
5. Posteriormente se coloca en la centrífuga por 10 minutos para formar fases.
6. Se toma otro tubo de centrífuga limpio sin pesar y por medio de una pipeta Pasteur se retira la fase de la parte inmediata y se coloca en el tubo nuevo, se

tapa e identifica para ser evaporado con nitrógeno en baño maría (60 °C).

7. Para la fase de reconstitución, se agrega 1 ml de hexano HPLC en el tubo previamente evaporado, lavando las paredes del tubo para retirar por completo los ácidos grasos. Posteriormente, se toma 1 ml de muestra y se coloca en vial para ser inyectado en el cromatógrafo de gases.

Para identificar los tiempos de retención, se utilizó una mezcla de estándares de los ésteres metílicos de cada uno de los ácidos mencionados y se usó el ácido miristoleico (SIGMA M-3650) como estándar interno.

Se utilizó un cromatógrafo de gases marca VARIAN modelo 3380, equipado con detector de ionización de flama (FID), columna DB-23 (J&W 122-2332) de 30 cm. de longitud y 0.25 mm de diámetro interno.

Las condiciones cromatográficas fueron las siguientes: la temperatura del inyector fue de 250 °C, la del detector de 300 °C y se utilizó un gradiente de temperatura en la columna, con una temperatura inicial de 140 °C, se aumentó 10 °C por minuto hasta llegar a 200 °C, se sostuvo por un minuto y nuevamente se aumentó 5 °C por minuto hasta llegar a 230 °C, donde se mantuvo durante 7 minutos. Se utilizó nitrógeno como acarreador.