



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**APROVECHAMIENTO DE LA CARNE NEGRA DEL  
ATÚN (*THUNNUS THYNNUS*) COMO  
ALTERNATIVA PARA ENRIQUECER LA CARNE DE  
POLLO CON ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**QUÍMICA DE ALIMENTOS**

**P R E S E N T A:**  
**GUADALUPE ADELINA CABALLERO GUZMÁN**

Director de tesis:  
**Dr. Jesús Eduardo Morales Barrera**

Ciudad Universitaria, CD. MX., 2016





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.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:**           **Profesor: Lucia Cornejo Barrera**  
**VOCAL:**               **Profesor: Bertha Julieta Sandoval Guillén**  
**SECRETARIO:**       **Profesor: Jesús Eduardo Morales Barrera**  
**1er. SUPLENTE:**     **Profesor: Iliana Elvira González Hernández**  
**2º SUPLENTE:**       **Profesor: Hiram Fernando Ramírez Cahero**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS  
MÉDICAS Y NUTRICIÓN “SALVADOR ZUBIRÁN”**

**ASESOR DEL TEMA: JESÚS EDUARDO MORALES BARRERA**

**SUPERVISOR TÉCNICO (si lo hay): SILVIA CARRILLO DOMÍNGUEZ**

**SUSTENTANTE (S): GUADALUPE ADELINA CABALLERO GUZMÁN**

<b>1. INDICE</b>	<b>Página</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
2.1 Hipótesis .....	3
2.2 Objetivos .....	3
<b>3. ANTECEDENTES</b> .....	4
3.1 Situación epidemiológica de las enfermedades cardiovasculares (ECV) en México y el mundo. ....	4
3.2 Generalidades de lípidos.....	7
3.2.1 Lípidos.....	7
3.2.2 Nomenclatura y clasificación de los ácidos grasos .....	9
3.2.3 Metabolismo de los ácidos grasos indispensables.....	11
3.2.4 Ácidos grasos omega-3 y su importancia en la salud .....	14
3.2.5 Fuentes de ácidos grasos omega-3.....	16
3.3 Generalidades de la carne de pollo .....	17
3.3.1 Producción de carne de pollo en México .....	17
3.3.2 Valor nutricional de la carne de pollo .....	19
3.3.3 Alternativas para enriquecer carne de pollo con ácidos grasos omega-3 .....	22
3.4 Generalidades del atún .....	23
3.4.1 Producción de atún en México.....	23
3.4.2 Valor nutricional del atún ( <i>Thunnus thynnus</i> ).....	24
3.4.3 Harina de pescado en la alimentación animal.....	25
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	26
4.1 Ensayo experimental.....	26
4.2 Preparación de las muestras.....	27
4.3 Análisis químico .....	28

4.3.1	Extracción de lípidos totales .....	28
4.3.2	Derivatización de los ácidos grasos a ésteres metílicos (FAME) ..	28
4.3.3	Análisis de los FAME por cromatografía de gases (CG) .....	29
4.4	Análisis estadístico.....	30
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>31</b>
5.1	Lípidos totales y composición de ácidos grasos de los ingredientes ...	31
5.2	Lípidos totales y composición de ácidos grasos de las dietas .....	33
5.3	Lípidos totales y composición de ácidos grasos en la carne de pollo ..	34
5.3.1	<i>Ácidos grasos totales</i> .....	34
5.3.2	<i>Ácidos grasos saturados (AGS)</i> .....	40
5.3.3	<i>Ácidos grasos monoinsaturados (AGMI)</i> .....	42
5.3.4	<i>Ácidos grasos poliinsaturados (AGPI)</i> .....	44
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>49</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>50</b>
	<b>APÉNDICE I .....</b>	<b>59</b>
	<b>APÉNDICE II .....</b>	<b>61</b>
	<b>APÉNDICE III .....</b>	<b>65</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

## Página

Cuadro 1. Ácidos grasos más comunes en alimentos .....	10
Cuadro 2. Efectos metabólicos derivados de los ácidos grasos omega-3 y omega-6: EPA y AA .....	15
Cuadro 3. Composición porcentual de ácidos grasos de diferentes pescados .	16
Cuadro 4. Energía, micro y macronutrientes de la carne de pollo (por 100 g) .	21
Cuadro 5. Colesterol y ácidos grasos de la carne de pollo (por 100 g).....	21
Cuadro 6. Composición nutricional de las dietas de finalización para pollos de engorda. ....	27
Cuadro 7. Perfil de ácidos grasos de la HNA, aceite de soya, sorgo y pasta de soya.....	31
Cuadro 8. Perfil de ácidos grasos de las dietas experimentales.....	33
Cuadro 9. Comparación de los ácidos grasos totales entre tratamiento, sexo y pieza y sus interacciones.....	34
Cuadro 10. Comparación de los ags entre tratamiento, sexo y pieza y sus interacciones .....	40
Cuadro 11. Comparación de los agmi entre tratamiento, sexo y pieza y sus interacciones .....	42
Cuadro 12. Comparación de los agpi entre tratamiento, sexo y pieza y sus interacciones .....	44
Cuadro 13. Contenido de los ácidos grasos totales y lípidos totales en la carne de pollo entre tratamiento, sexo y pieza (mg/100 g).....	61
Cuadro 14. Contenido de AGS en la carne de pollo entre tratamiento, sexo y pieza (mg/100 g).....	62
Cuadro 15. Contenido de AGMI en la carne de pollo entre tratamiento, sexo y pieza (mg/100 g).....	63
Cuadro 16. Contenido de AGPI en la carne de pollo entre tratamiento, sexo y pieza (mg/100 g).....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

## Página

Figura 1. Estructura de un triglicérido.....	7
Figura 2. Estructura de los principales ácidos grasos omega-3.....	11
Figura 3. Metabolismo de los ácidos grasos omega-3 y omega-6.....	14
Figura 4. Producción de carne de pollo en México.....	18
Figura 5. Producción pecuaria en México 2014.....	18
Figura 6. Principales estados productores de carne de pollo.....	19

## **ABREVIATURAS**

$\Delta$ : Enzima delta

$^{\circ}\text{C}$ : Grado centígrado

AA: Ácido araquidónico

AGE: Ácidos grasos esenciales

AGMI: Ácidos grasos monoinsaturados

AGn-3: Ácidos grasos omega-3

AGPI: Ácidos grasos poliinsaturados

AGPICL: Ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga

AGS: Ácidos grasos saturados

ALA: Ácido  $\alpha$ -linolénico

AOAC: Association of Official Analytical Chemists

BM: Baño María

CG: Cromatografía de gases

DHA: Ácido docosahexaenoico

DPA: Ácido docosapentaenoico

EPA: Ácido eicosapentaenoico

ECV: Enfermedades cardiovasculares

FAME: Fatty acid methyl esters (ésteres metílicos de ácidos grasos)

FAO: Food and Agricultural Organization

FID: Flame ionization detection (detector de ionización de llama)

g: Gramo

GBC: Global Biotech Consulting

GLM: General lineal model

HDL: Lipoproteína de alta densidad

HNA: Harina negra del atún

HPLC: Reactivo cromatográfico

INCMNSZ: Instituto Nacional de ciencias Médicas y Nutrición "Salvador Zubiran"



kcal: Kilocaloría

kJ: Kilojouls

LA: Ácido linoleico

LDL: Lipoproteína de baja densidad

LT: Lípidos totales

LTB: Leucotrienos

mg: miligramo

µg: microgramo

mL: mililitros

min: minuto

n-3: Omega-3

n-6: Omega 6

n-9: Omega-9

ND: No detectado

NRC: National Research Council

OMS: Organización Mundial de la Salud

OPS: Organización Panamericana de la Salud

PCH: Pechuga

PGI, PGE: Prostaglandinas

PM: Pierna con muslo

RA: Reactivo analítico

SAS: Statical Analysis System

SIAP: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

TXA: Tromboxanos

UNA: Unión Nacional de Avicultores

## 2. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cardiovasculares representan el mayor problema de salud en México. Junto al cáncer y las complicaciones de la diabetes mellitus, son responsables de aproximadamente el 75% de la mortalidad en los países desarrollados. Las predicciones para dentro de veinte años continúan situando a las enfermedades cardiovasculares como la principal causa de incapacidad y muerte en la población mundial.

Existen varios factores de riesgo asociados a las enfermedades cardiovasculares, entre ellos: elevadas concentraciones en plasma de colesterol total, homocisteína y triglicéridos; la hipertensión, la diabetes y niveles reducidos de colesterol-HDL. Muchos de estos factores de riesgo están estrechamente relacionados con la dieta.

Una alternativa para prevenir y/o reducir el riesgo de padecer estas enfermedades es aumentar el consumo de ácidos grasos omega-3 (AGn-3). Estos compuestos bioactivos reducen la concentración de lipoproteínas de baja densidad (LDL) en plasma tienen efectos antiinflamatorios y ayudan en el desarrollo del cerebro y la retina en los niños.

Las fuentes más ricas de AGn-3 son los peces de carne oscura: sardina, atún, salmón, pez espada, etc. Sin embargo, en México el consumo de productos marinos es bajo, actualmente el consumo anual es de 12 kilos en comparación con otros productos animales como la carne de pollo y el huevo. El consumo per cápita de la carne de pollo en el 2013 fue de 26 kilos mientras que para el huevo es de 20.8 kilos. Por ello, surgió la estrategia de utilizar estos alimentos como vehículo para hacer llegar al consumidor estos compuestos bioactivos.

En el caso particular de la carne de pollo, sus excelentes características nutrimentales y su precio relativamente bajo en comparación con otras carnes consumidas en México (res, cerdo, pescado) hacen de este alimento objeto de interés para aumentar el contenido de AGn-3 en él, mediante la incorporación en la dieta de los pollos ingredientes naturales con alta concentración de AGn-3, como la carne negra del atún, subproducto que es aprovechado en las plantas harineras.

Aumentar el contenido de ácidos grasos omega-3 en la carne de pollo enriquecida no solo beneficiara a los consumidores, sino también a los avicultores pues estarán produciendo carne de pollo con valor agregado y a la industria atunera ya que se estará aprovechando un subproducto que frecuentemente se desperdicia. La carne del atún es de color rojo oscuro, pero también tiene carne de color casi negro que no se utiliza pues al consumidor no le agrada el color, además de que el sabor es más fuerte.

## 2.1 Hipótesis

- La inclusión de la harina negra del atún (HNA) en la dieta de las aves aumenta la concentración de ácidos grasos omega-3 en la carne de pollo.
- La deposición de los ácidos grasos omega-3 en la carne es diferente entre sexos.
- La deposición de los ácidos grasos omega-3 en la carne no es igual entre las piezas: pechuga y pierna con muslo.

## 2.2 Objetivos

### ***Objetivo general***

- Evaluar el efecto de la incorporación de la harina negra del atún (*Thunnus thynnus*) en la dieta para pollos de engorda sobre la concentración de ácidos grasos omega-3 en la carne de pollo.

### ***Objetivos particulares***

- Evaluar si la inclusión de la HNA en la dieta de las aves modifica la concentración de ácidos grasos omega-3 en la carne de pollo.
- Evaluar si el sexo influye en la deposición de los ácidos grasos omega-3 en la carne de pollo.
- Evaluar si la concentración de omega-3 difiere de acuerdo a la pieza.

### **3. ANTECEDENTES**

#### **3.1 Situación epidemiológica de las enfermedades cardiovasculares (ECV) en México y el mundo.**

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) son responsables de la mayor parte de las muertes en el mundo. De acuerdo con el Informe del Estado Global en Salud de la OMS, publicado en abril de 2011, las enfermedades crónicas no transmisibles fueron la causa de, aproximadamente, el 63 % del total de muertes ocurridas en el mundo en el año 2008. De las cuatro principales enfermedades crónicas no transmisibles están las enfermedades cardiovasculares, el cáncer, la diabetes y las enfermedades respiratorias crónicas; las cardiovasculares fueron las causantes del 29.82% de las muertes. Más del 80% de muertes debidas a ECV tienen lugar en los países de ingresos bajos y medianos y ocurren casi por igual en los hombres y las mujeres (OMS, 2010).

En 2015, la Organización Mundial de la Salud reportó que las ECV son la principal causa de muerte en todo el mundo. En el 2012 murieron 17.5 millones de personas por esta causa, lo que representa un 31% de todas las muertes registradas en el mundo (OMS, 2015).

En el mundo, cada 4 segundos ocurre un infarto agudo de miocardio y cada 5 segundos un evento vascular cerebral. En México, las enfermedades del corazón constituyen un problema de salud pública, son la primera causa de muerte y anualmente ocurren cerca de 70,000 defunciones por este motivo y 26,000 por enfermedades cerebrovasculares. Se presentan 44,070 muertes por enfermedad isquémica del corazón siendo 24,102 hombres y 19,965 mujeres en la población adulta (20 a 69 años), hay más de 17 millones de hipertensos, 14 millones de dislipidémicos, 6 millones de diabéticos, 35 millones de adultos con sobrepeso u obesidad y 15 millones con grados variables de tabaquismo La pirámide poblacional determina que la mayoría de los adultos (75%) tienen menos de 55 años y los factores de riesgo cardiovascular son mayores después de los 40 años (Rosas-Peralta y Attie, 2007).

Entre los factores que se cree influyen sobre la incidencia de la enfermedad coronaria se encuentran el tipo y la cantidad de lípidos en la dieta. La ingesta lipídica puede tener una influencia moderadamente adversa en algunos individuos sobre la concentración sérica de colesterol y sobre los cocientes de lipoproteínas de baja densidad/lipoproteínas de alta densidad. Ambos factores afectan a la probabilidad de sufrir la enfermedad coronaria. Los factores más estudiados han sido la longitud de cadena de los ácidos grasos, el número y posición de los dobles enlaces, la configuración geométrica (*cis*, *trans*) (Fennema, 1993).

Simopoulos (2000) menciona que la dieta en los humanos ha ido cambiando, anteriormente era menos calórica, más alta en fibra, rica en frutas, vegetales, carne magra y pescado, por lo tanto, era una dieta baja en grasas saturadas y contenía cantidades aproximadamente iguales de ácidos grasos omega-3 y omega-6. En la actualidad las dietas son bajas en fibra y altas en grasas saturadas.

Desde el punto de vista nutricional, las sociedades industrializadas se caracterizan por tener:

- Aumento en el consumo energético y una disminución en el gasto energético.
- Aumento en el consumo de grasas saturadas y de ácidos grasos *trans*.
- Disminución en el consumo de ácidos grasos omega-3.
- Disminución en el consumo de hidratos de carbono complejos y fibra.
- Disminución en el consumo de frutas y verduras.

La alimentación, sin lugar a dudas, ha sido un factor determinante. Los estudios indican que los cambios más importantes que han tenido lugar en la dieta, han ocurrido especialmente en el tipo y cantidad de ácidos grasos esenciales (Mataix y Gil, 2004).

Actualmente conocemos bien el beneficio de los principales ácidos grasos de la dieta sobre el metabolismo lipídico. Basados en este conocimiento, se han

elaborado recomendaciones dietéticas para la población con el objetivo de reducir el riesgo cardiovascular. Los ácidos grasos saturados (AGS) aumentan las concentraciones plasmáticas de colesterol total y colesterol LDL. Por tanto, una dieta saludable debería contener menos de un 10% de las calorías totales de AGS.

Los beneficios nutricionales y en la salud derivados del consumo de ácidos grasos omega-3 de origen marino están sólidamente demostrados en la literatura científica y su consumo es fuertemente recomendado por las autoridades de salud y nutrición en todo el mundo (OMS, OPS, FAO) (Akabas y Deckelbaum, 2006). Estos ácidos grasos son principalmente el ácido eicosapentaenoico (C20:5, EPA) y el ácido docosahexaenoico (C22:6, DHA). La ingesta de ácidos grasos omega-3 ofrece numerosos beneficios al hombre, ya que reduce el riesgo de padecer enfermedades coronarias y reumatoideas, así como el cáncer de colon y además tiene propiedades hipocolesterolémicas, puede reducir los problemas de presión arterial y mejorar el ritmo cardiaco. El beneficio del consumo de EPA se asocia principalmente con la protección de la salud cardiovascular. Las fuentes más ricas de EPA y DHA son los aceites de pescado y el pescado azul. El alto contenido de EPA y DHA en el pescado es consecuencia del consumo de fitoplancton (rico en AGPI n-3), que contribuye a la adaptación de los peces a las aguas frías (Carrero *et al.*, 2005).

Las autoridades sanitarias recomiendan aumentar el consumo de EPA y DHA, cuya fuente principal es el pescado. Sin embargo, las sociedades modernas tienden a incluir poco pescado en su dieta. La escasez de pescado y su elevado precio hacen que en muchas ocasiones el consumidor prefiera otros alimentos de mayor comodidad y menor precio. Una forma eficaz de aumentar la ingesta es la incorporación de ácidos grasos n-3 a alimentos de uso cotidiano.

## 3.2 Generalidades de lípidos.

### 3.2.1 Lípidos

Los lípidos están constituidos por compuestos químicos que comparten su insolubilidad en agua y solubilidad en solventes orgánicos. Esta propiedad les permite separarse fácilmente de proteínas e hidratos de carbono (Belitz, 2009). Son los componentes principales del tejido adiposo y, junto con los hidratos de carbono y las proteínas, constituyen los principales componentes estructurales de las células vivas (Fennema, 1993).

Desde el punto de vista alimentario, los componentes lipídicos cualitativamente y cuantitativamente más importantes y característicos son los triglicéridos (Figura 1). Estos compuestos son ésteres de glicerol con ácidos grasos que tienen gran contenido energético: proporcionan alrededor de 9 kcal/g (38 kJ) frente a las 4 kcal/g (17 kJ) que proporcionan los hidratos de carbono y las proteínas (Mataix y Gil, 2004)

En algunos tejidos animales y en órganos de determinados vegetales se acumulan especialmente los triglicéridos.

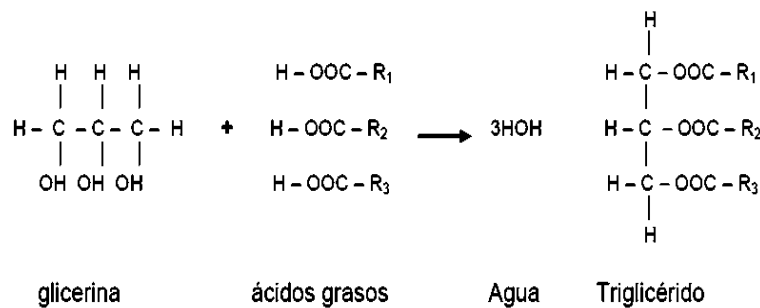


Figura 1. Estructura de un triglicérido

A los triglicéridos se les suele identificar propiamente como la "grasa". A veces, esta grasa es visible para el consumidor (mantequilla, aceite o tocino, por ejemplo), pero en otras ocasiones no es visible, bien porque este mezclada con los otros componentes de los alimentos (por ejemplo, leche) o porque forma parte de tejidos.



Los lípidos pueden ser simples o complejos:

- Lípidos simples: ésteres de ácidos grasos y alcoholes.
  1. Grasas y aceites. Ésteres de ácidos grasos con glicerol.
  2. Ceras. Ésteres de alcoholes monohidroxilados y ácidos grasos.
- Lípidos complejos: ésteres de ácidos grasos que contienen otros grupos químicos además de un alcohol y del ácido graso.
  1. Fosfolípidos. Lípidos que contienen además de ácidos grasos y un alcohol un residuo de ácido fosfórico.
  2. Glucolípidos. Compuestos de hidratos de carbono, ácidos grasos y esfingosinol, llamados también cerebrósidos.
  3. Lipoproteínas. Compuestos de lípidos y proteínas.
  4. Lípidos precursores y derivados: incluyen ácidos grasos (derivados de los lípidos simples), glicerol, esteroides, aldehídos de la grasa y cuerpos cetónicos, pigmentos, hidrocarburos, vitaminas liposolubles y hormonas.

Los glicerofosfolípidos y esfingolípidos son moléculas con funciones estructurales y funcionales, ya que forman parte de las membranas biológicas y modulan su actividad. Además, algunos de los ácidos grasos que entran en su composición originan unos compuestos de gran actividad biológica: los eicosanoides.

El colesterol es otra sustancia lipídica de extraordinario interés biológico. Forma parte también de las membranas y es precursor de esteroides hormonales, ácidos biliares y vitamina D.

Los lípidos también tienen la capacidad de producir jabones, aquellos que los forman se llaman saponificables y los que no, insaponificables. Los lípidos saponificables comprenden las grasas, los aceites, las ceras, los fosfolípidos y los fosfátidos, mientras que los insaponificables son básicamente esteroides, hidrocarburos, pigmentos y las prostaglandinas (Badui, 2006).

### 3.2.2 Nomenclatura y clasificación de los ácidos grasos

Los ácidos grasos son constituyentes tanto de los triglicéridos como de los lípidos complejos y pueden esterificar también al colesterol. Los ácidos grasos de interés biológico son ácidos carboxílicos de número par de átomos de carbono (entre 4 y 26).

Se pueden clasificar en cuatro grupos de acuerdo con la longitud de su cadena:

- Ácidos grasos de cadena corta (4 a 8 carbonos).
- Ácidos grasos de cadena media (8 a 12 carbonos).
- Ácidos grasos de cadena larga (14 a 18 carbonos).
- Ácidos grasos de cadena muy larga (20 o más carbonos).

Otra manera de clasificar a los ácidos grasos es por la presencia de dobles enlaces en su molécula, pudiendo ser ácidos grasos saturados (sin dobles enlaces) o ácidos grasos insaturados (con dobles enlaces). Estos, a su vez, pueden ser ácidos grasos monoinsaturados (con un doble enlace) o ácidos grasos poliinsaturados (con dos o más dobles enlaces). Todos ellos son del tipo *cis*, representando la mayoría de las grasas de la dieta, si bien existen formas de ácidos grasos *trans*, mucho más minoritarios en los alimentos naturales. Dentro de los ácidos grasos poliinsaturados existen dos familias, los omega-6 y los omega-3, también llamados ácidos grasos indispensables, con funciones tales como el ser reguladores metabólicos en los sistemas cardiovascular, pulmonar, inmune, secretor y reproductor, el ser imprescindibles para preservar la funcionalidad de las membranas celulares y porque participan en los procesos de transcripción genética (Carrillo *et al.*, 2011).

En los ácidos grasos naturales, la disposición espacial de los hidrógenos en los enlaces simples es *trans* mientras que los dobles enlaces adoptan casi siempre una conformación de tipo *cis*.

Los ácidos grasos naturales más frecuentes suelen tener un nombre común, además del nombre sistemático (cuadro 1).

Así, el ácido graso saturado de 16 átomos de carbono, cuyo nombre sistemático es hexadecanoico, se suele conocer como ácido palmítico o, abreviadamente, C16:0 (16 átomos de carbono y ningún doble enlace). Cuando existen dobles enlaces, la nomenclatura sistemática tradicional indica el carácter *cis* o *trans* y su posición contando a partir del grupo carboxílico. Así, el ácido linoleico se denomina sistemáticamente como ácido 9 *cis*, 12 *cis* octadecadienoico.

Cuadro 1. Ácidos grasos más comunes en alimentos

	Numero de carbonos	Numero de dobles enlaces	Nombre común	Nombre sistemático	Nomenclatura
SATURADOS	12	0	Láurico	Decanoico	C12:0
	14	0	Mirístico	Tetradecanoico	C14:0
	16	0	Palmítico	Hexadecanoico	C16:0
	18	0	Estearico	Octadecanoico	C18:0
INSATURADOS	16	1	Palmitoleico	9-Hexadecanoico	C16:1
	18	1	Oleico	9-Octadecanoico	C18:1
	22	1	Erúcico	13-Docosanoico	C22:1
	24	1	Nervónico	15-Tetracosenoico	C24:1
POLINSATURADOS	18	2	Linoleico	9,12-Octadecanoico	C18:2
	18	3	Linolénico	9,12,15-Octadecatrienoico	C18:3
	20	4	Araquidónico	5,8,11,14-Eicosatetraenoico	C24:4
	22	6	Docosahexaenoico	4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoico	C22:6

FUENTE: Fennema, 1993; Akoh y Min, 2002; Badui, 2006; Belitz, 2009.

Sin embargo, por razones fisiológicas, resulta mucho más útil indicar exclusivamente el número de átomos de carbono, el número de dobles enlaces y la posición del primero de ellos contando a partir del carbono terminal no carboxílico, añadiendo omega o la letra “n”. Por ejemplo, el ácido linoleico viene representado como 18:2 omega-6 o 18:2 n-6 (Mataix y Gil, 2004).

Los ácidos grasos omega-3 y omega-6 son ácidos grasos indispensables que se deben incluir en la dieta porque el metabolismo humano no los puede derivar de otros ácidos grasos. Existen básicamente tres familias o series de ácidos grasos, que se originan de la posición de él o de los dobles enlaces en la estructura hidrocarbonada de los ácidos grasos. La primer familia, cuyo primer doble enlace está entre los carbonos 9 y 10, se identifica como perteneciente a

la serie omega-9 (n-9) y el principal ácido graso es el oleico (C18:1), un ácido graso abundante tanto en el mundo vegetal como animal. En la segunda familia los ácidos grasos poseen su primer doble enlace entre los carbonos 6 y 7 identificados como omega-6 (n-6), siendo el ácido linoleico (C18:2) el principal representante de esta familia. Este ácido graso es particularmente abundante en los aceites vegetales. Finalmente están los ácidos grasos pertenecientes a la familia de los omega-3 (n-3) quienes poseen su primer doble enlace entre el carbono 3 y 4. El ácido graso más importante de esta familia es el ácido linolénico (C18:3), se encuentra solo en algunos vegetales. En la figura 2 se muestra la numeración y la posición de los dobles enlaces de los principales omega-3 (Gil, 2010).

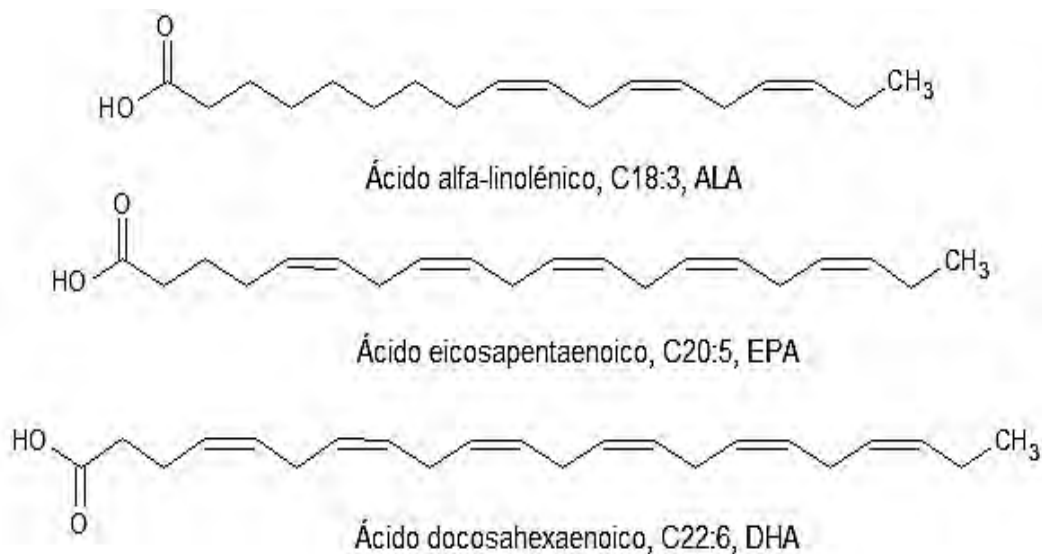


Figura 2. Estructura de los principales ácidos grasos omega-3

### 3.2.3 Metabolismo de los ácidos grasos indispensables

El ácido oleico (C18:1), el ácido linoleico (C18:2) y el ácido  $\alpha$ -linolénico (C18:3) originan, por procesos enzimáticos de elongación y de desaturación, ácidos grasos de mayor tamaño de cadena y con mayor grado de insaturación, que se identifican como ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga (AGPICL). La transformación de los precursores (C18:1, C18:2 y C18:3) ocurre principalmente en el retículo endoplásmico celular liso en una primera etapa y,

después, en los peroxisomas. En el caso de los derivados metabólicos de la familia de los omega-3. Estas transformaciones son realizadas por enzimas identificadas, genéricamente, como elongasas (aumentan el tamaño de la cadena hidrocarbonada) y desaturasas (introducen nuevos dobles enlaces). El proceso de transformación más crítico es la desaturación. Los vegetales pueden desaturar ácidos grasos saturados en las posiciones omega-9, omega-6 y omega-3, por lo cual pueden biosintetizar C18:1, C18:2 y C18:3 a partir de ácidos grasos saturados o de menor insaturación. Los animales, particularmente los vertebrados (entre ellos, los mamíferos), solo pueden introducir insaturaciones a partir del carbono omega-9 en adelante y en dirección hacia el grupo carboxilo, es decir, no pueden desaturar en las posiciones omega-6 y omega-3. Por esta razón, en los mamíferos, el ácido linoleico y el ácido  $\alpha$ -linolénico son ácidos grasos indispensables, ya que, al estar impedidos los mamíferos para sintetizar dichos ácidos a partir de precursores de menor insaturación, estos deben estar presentes en la dieta en determinadas cantidades y proporciones. El C18:1 no es un ácido graso esencial para los mamíferos, ya que puede ser formado a partir del ácido esteárico (C18:0). De esto, se deduce que la principal fuente de ácidos grasos indispensables para el mundo animal la constituyen los alimentos provenientes del reino vegetal. Las hojas verdes son una fuente de C18:2 y C18:3, en tanto que las semillas y los frutos aportan cantidades mayores de C18:2 que de C18:3 (Gil. 2010).

El C18:1, C18:2 y C18:3 son elongados y desaturados por el mismo sistema enzimático microsomal, que los transforma en derivados de mayor tamaño de cadena y de mayor grado de insaturación (figura 3). Las enzimas más importantes en este proceso son la  $\Delta 5$ -desaturasa y la  $\Delta 6$ -desaturasa. Particularmente, la  $\Delta 6$ -desaturasa constituye un importante punto de regulación del proceso de desaturación-elongación, ya que su actividad es controlada por diferentes metabolitos, en particular por algunas hormonas, como la insulina, y por otros productos finales del proceso. La afinidad de la  $\Delta 6$ -desaturasa por los diferentes ácidos grasos es muy distinta, la afinidad por el C18:3 (ALA) es mucho mayor que por el C18:2 (LA), por lo cual, si el aporte nutrimental del ALA es muy

alto, se va a dificultar la formación de derivados del LA de mayor insaturación. Por el contrario, si el aporte nutrimental de LA es muy grande comparado con el del ALA, la transformación del ALA en sus derivados será mínima. No existe una conversión de ácidos grasos omega-6 a ácidos grasos omega-3 en los mamíferos, ya que estos (incluidos los seres humanos) carecen de una actividad enzimática  $\Delta^3$ -desaturasa, que si poseen otros organismos animales (invertebrados, sobre todo). La afinidad del C18:1 por la enzima  $\Delta^6$ -desaturasa es muy inferior a la del LA y ALA, por lo cual sus productos de mayor número de carbonos y de mayor insaturación solo se formaran en una cantidad significativa cuando el aporte de LA y de ALA de la dieta sea muy bajo o inexistente (Valenzuela y Uauy, 2010).

Es importante tener en cuenta que la vía de conversión de ALA a ácido eicosapentaenoico (C20:5, EPA) está en competencia directa con la conversión de LA en ácido araquidónico (C20:4, AA) puesto que se utilizan las mismas enzimas. La reacción con la  $\Delta^6$ -desaturasa es el paso limitante en esta vía, porque LA es mucho más abundante en la mayoría de las dietas humanas que ALA (Calder, 2013).

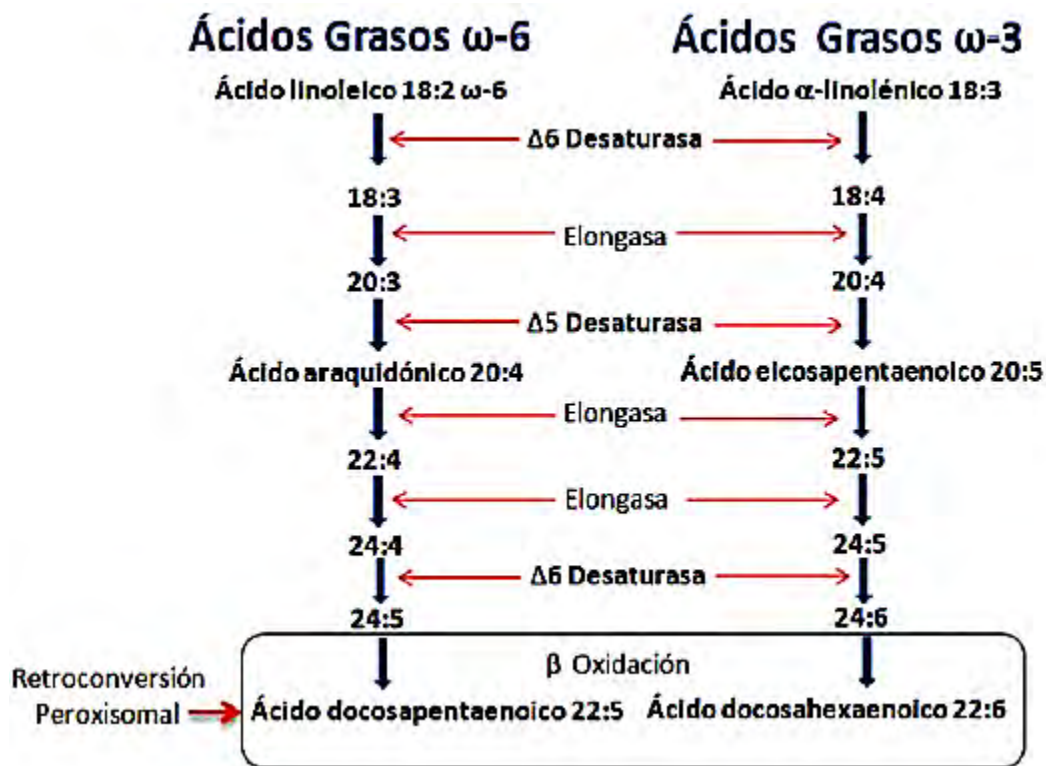


Figura 3. Metabolismo de los ácidos grasos omega-3 y omega-6

FUENTE: Valenzuela *et al* 2011

### 3.2.4 Ácidos grasos omega-3 y su importancia en la salud

El término omega-3 es una descripción estructural para una familia de ácidos poliinsaturados (AGPI): denota la posición del doble enlace que está más cerca del extremo metilo de la cadena del ácido graso. Todos los ácidos grasos omega-3 tienen su doble enlace en el carbono tres contando como carbono uno el carbono del grupo metilo.

Los ácidos grasos omega-3 tienen nombres sistemáticos y comunes, sin embargo, también se conocen por la nomenclatura abreviada que indica el número de átomos de carbono en la cadena, el número de dobles enlaces y la posición de los primeros enlaces dobles en relación con el carbono del metilo.

Los ácidos grasos omega-3:  $\alpha$ -linolénico (ALA), eicosapentaenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA) y omega-6: linoleico (LA) y araquidónico (AA)

pueden formar parte de los triglicéridos que se consumen a través de la dieta. Sin embargo, si no se ingieren EPA y DHA pueden sintetizarse a través de reacciones bioquímicas ya conocidas. Los ácidos grasos omega-3 y omega-6 forman parte de las membranas de la célula y por eso influyen en su permeabilidad (Coronado *et al.*, 2006).

Los ácidos grasos omega-6, representados por LA y AA, son precursores de prostaglandinas y tromboxanos de la serie 2 (PGI<sub>2</sub>, PGE<sub>2</sub>, TXA<sub>2</sub>) y de leucotrienos de la serie 4 (LTB<sub>4</sub>) potentes vasoconstrictores y favorecedores de la formación de trombos, de procesos inflamatorios y de adherencias. Por otro lado, de los AGn-3, el EPA es precursor de prostaglandinas y tromboxanos de la serie 3 (PGE<sub>3</sub>, PGI<sub>3</sub>, TXA<sub>3</sub>) que reducen la síntesis de la PGI<sub>2</sub> y de las células involucradas en la formación de trombos y en la vasoconstricción de vasos sanguíneos; y favorece la producción de leucotrienos de la serie 5 (LTB<sub>5</sub>) compuestos biológicamente menos activos, que por competición reducen la acción de los leucotrienos de la serie 4 (LTB<sub>4</sub>). Por lo tanto, un exceso de ácidos grasos omega-6 aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares y favorece el desarrollo de procesos inflamatorios y reacciones alérgicas. En general, los eicosanoides derivados de los omega-3 son menos activos (por ejemplo, tienen menor actividad antiinflamatoria) que los eicosanoides derivados de los omega-6 (cuadro 2).

*Cuadro 2. Efectos metabólicos derivados de los ácidos grasos omega-3 y omega-6: EPA y AA*

PLAQUETAS		CELULAS ENDOTELIALES		LEUCOCITOS	
AA	EPA	AA	EPA	AA	EPA
Vía ciclooxigenasa		Vía ciclooxigenasa		Vía lipooxigenasa	
Tromboxano A <sub>2</sub>	Tromboxano A <sub>3</sub>	Prostaciclina I <sub>2</sub>	Protaciclina I <sub>3</sub>	Leucotrieno 4	Leucotrieno 5
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agregante plaquetario</li> <li>• Vasoconstrictor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biológicamente inactivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vasodilatador</li> <li>• Antiagregante plaquetario</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proinflamatorio</li> <li>• Adhesión celular</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Antiinflamatorio</li> <li>• Inhibe adhesión</li> </ul>

FUENTE: Gil, 2010



### 3.2.5 Fuentes de ácidos grasos omega-3

Entre los aceites vegetales, el aceite de linaza es considerado como la fuente más rica de ALA (57% de los ácidos grasos totales). La semilla de colza, la soja, el germen de trigo y las nueces contienen entre un 7% y un 13% de ALA. Algunos autores consideran a las verduras como una buena fuente de ALA (espinaca, lechuga), aunque su contenido graso es bastante bajo. La carne de origen animal, particularmente la de rumiantes, y los productos lácteos también proporcionan ALA. La mayoría de los aceites vegetales de origen terrestre y semillas consumidos (excepto el coco, la palma y el cacao) contienen ácidos grasos monoinsaturados omega-9, poliinsaturados omega-6 y poca o nula cantidad de omega-3. No obstante, se ha observado una cantidad importante de omega-3 en los aceites de canola o colza, linaza, soja y chía (*Salvia hispánica*), así como en las semillas de lino y cáñamo y en los cloroplastos de las hortalizas de hoja verde (Molina-Peralta y Mach, 2014). Además del aceite de linaza, en Sudamérica ancestralmente se han producido y consumido semillas que contienen alto aporte de ALA; es el caso de los aceites de sacha inchi, chía y rosa mosqueta. El aceite de chía se obtiene de la planta del mismo nombre (*Savia hispánica*), originaria de México, Guatemala y Honduras. Este aceite aporta un 63% de ALA (Valenzuela y Valenzuela, 2014).

En el cuadro 3 se muestra el contenido de ácidos grasos en algunos pescados, de los AGS: palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0); algunos AGMI: palmitoleico (C16:1) y oleico (C18:1) y AGPI: LA (C18:2, n-6), AA (C20:4, n-6), EPA (C20:5, n-3) y DHA (C22:6, n-3) (Hearn *et al.*, 1987; Aquerreta, 2003).

*Cuadro 3. Composición porcentual de ácidos grasos de diferentes pescados*

Pescado	C16:0	C18:0	C16:1	C18:1	C18:2 n-6	C20:4 n-6	C20:5 n-3	C22:6 n-3	Total de n-3
Bacalao	22.1	4.8	2.1	9.5	1.2	1.5	16.3	36.1	52.4
Salmon	13.0	3.0	5.2	14.0	3.0	2.8	11.0	20.0	31.0
Sardina	14.5	4.9	7.0	15.4	1.4	0.9	11.3	25.8	37.1
Trucha	11.4	7.3	8.3	17.4	12.3	1.4	5.1	16.8	21.9
Atún	9.5	7.9	7.5	17.5	1.8	4.1	7.5	26.4	33.9

### **3.3 Generalidades de la carne de pollo**

#### **3.3.1 Producción de carne de pollo en México**

La importancia del sector avícola en México, radica en el papel estratégico que sus productos juegan en la nutrición de la población. Los productos avícolas están presentes en la mayoría de los hogares porque son una excelente fuente de proteína, son versátiles y tienen precios relativamente bajos en comparación con otras fuentes de proteína animal como la carne de res, puerco y pescado (Sandoval, 2011). La avicultura representa 63% de la producción pecuaria donde 6 de cada 10 personas, incluyen en su dieta alimentos avícolas como pollo, huevo y pavo (UNA, 2015).

Hoy en día la avicultura mexicana cuenta con una importante presencia Nacional, no solo por el número de estados productores, sino también por una destacada presencia de los productos avícolas en prácticamente todos los mercados del territorio mexicano.

La producción de carne de pollo en México ha mantenido una tendencia constante de crecimiento (figura 4), situación influida principalmente por la creciente demanda de las carnes blancas (de bajo contenido graso), así como por sus precios, el cual resulta altamente competitivo con respecto a otros cárnicos.

En el 2014 la industria avícola mexicana registro un incremento de 3.3%, respecto a lo obtenido en 2013 (UNA, 2015).

Un factor que ha apoyado el crecimiento de la producción de carne de pollo es la diversificación de productos que están disponibles en el mercado, con lo que se dan alternativas al consumidor para adquirir productos de rápida preparación, como sería la compra de piezas específicas, hasta la adquisición de productos elaborados listos para su consumo.

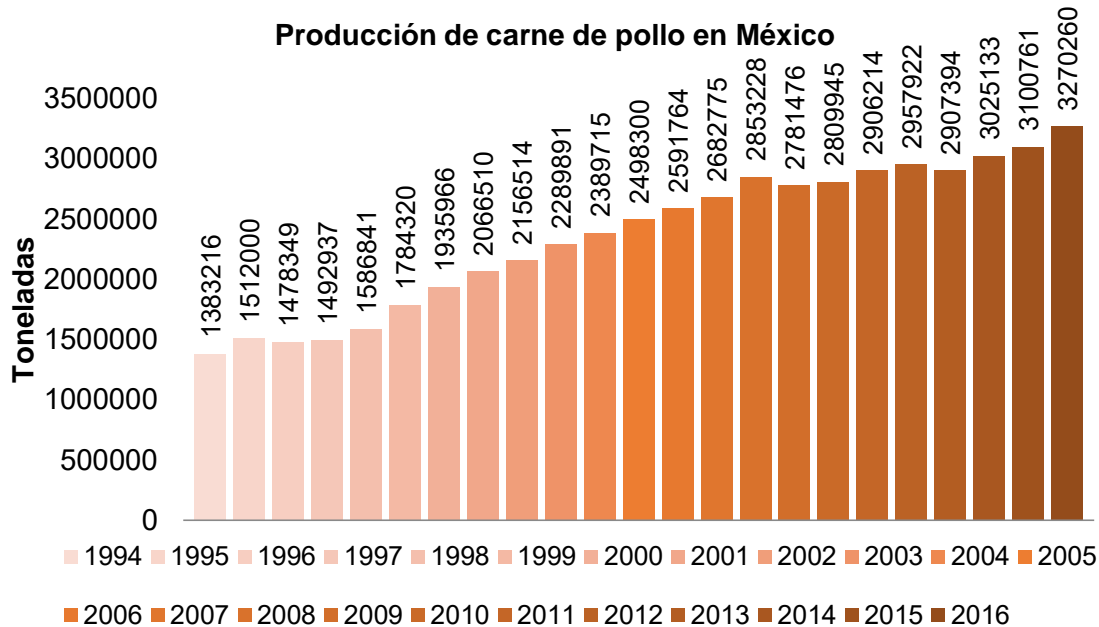


Figura 4. Producción de carne de pollo en México. FUENTE: UNA, 2015

La UNA (2015) reportó que en el 2014 la avicultura participó con 63% de la producción pecuaria en el país, 34.1% de la cual fue aportada por la carne de pollo, 29% por la producción de huevo y 0.1% por la carne de pavo (figura 5).

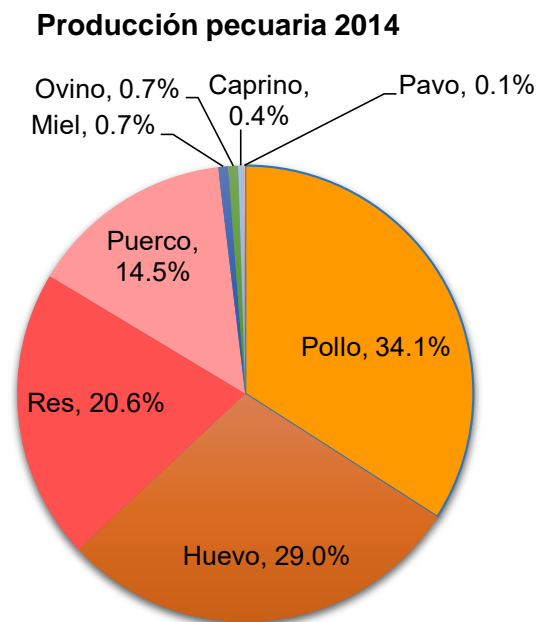


Figura 5. Producción pecuaria en México 2014. FUENTE: UNA, 2015

Durante el 2015 México produjo tres millones 175 mil toneladas de carne de pollo. Los estados con mayor producción fueron Querétaro, Veracruz y Aguascalientes con 11%. Otros estados importantes fueron Durango con 9%, Jalisco con 8% y algunos otros como Chiapas y Puebla con el 7% (figura 6).

En el 2015, la industria avícola Nacional mantuvo un crecimiento constante como ha ocurrido en los últimos años, consolidándose como una actividad estratégica para el país, tanto en el ámbito alimentario como económico.

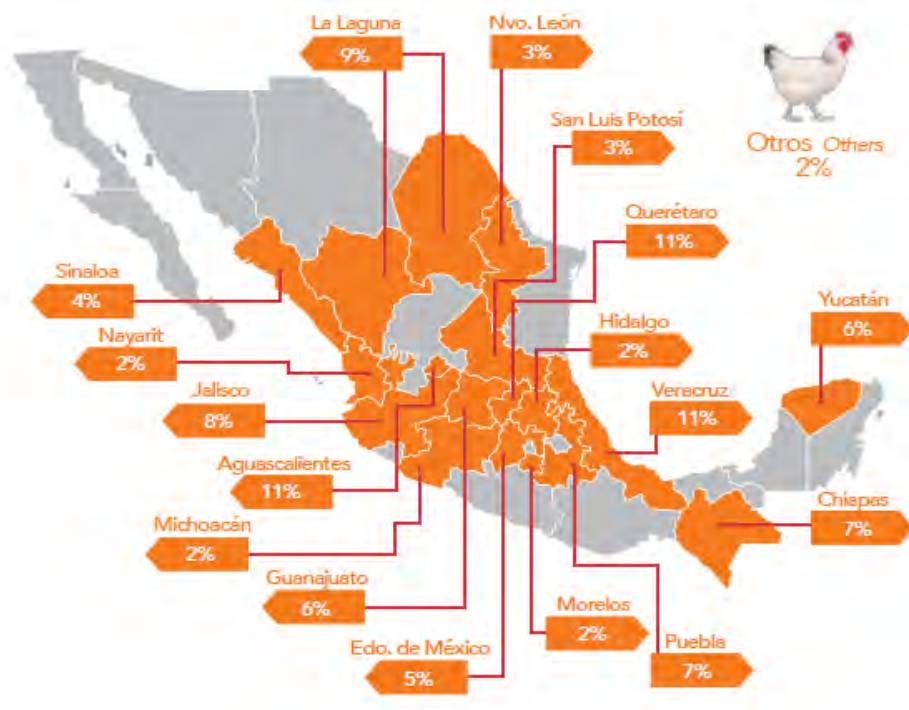


Figura 6. Principales estados productores de carne de Pollo. FUENTE: UNA, 2015

### 3.3.2 Valor nutricional de la carne de pollo

La carne de pollo juega un papel importante en la dieta. Es un alimento con una gran cantidad de nutrimentos y baja cantidad energética, muy importante en la dieta de la población en general, especialmente para adolescentes, gestantes o personas que realizan dietas hipocalóricas (Castaneda *et al.*, 1995a; 1995b; Barker, 2003).

Los principales componentes de la carne de pollo son: agua (70 a 75%), proteína (20 a 22%) y grasa (3 a 10%), cuyas proporciones pueden ser variables dependiendo del corte anatómico analizado (Dorado *et al.*, 1999; Moreiras *et al.*, 2005). También posee cantidades apreciables de vitaminas y minerales: hierro y zinc de alta biodisponibilidad, tiamina, niacina, retinol y vitaminas B6 y B12, cobre, magnesio, selenio, cobalto, fosforo, cromo y níquel (cuadro 4) (Chizzolini *et al.*, 1999).

La carne de pollo es una buena fuente en calidad y cantidad de proteína con cantidades equivalentes al resto de las carnes (20 a 22%). Aproximadamente 40% de los aminoácidos de la carne de pollo son esenciales, por ello, la proteína de la carne puede considerarse de alto valor biológico. La importancia de este hecho radica en que para la síntesis proteínica en el organismo humano deben estar presentes todos los aminoácidos necesarios, si falta alguno, la síntesis puede fallar (Carbajal, 2005).

El contenido de grasa de la carne pollo varía en función de si se cocina con o sin piel; de la parte anatómica del ave, de su dieta, edad, sexo y su raza. Una ventaja de la carne de pollo es que la mayor parte de la grasa corporal se encuentra en la piel, por lo tanto, si se retira se reduce el consumo de grasa de origen animal.

Más de la mitad de la grasa de la carne de pollo es insaturada y de esta la mayor parte es monoinsaturada, principalmente ácido oleico (C18:1). El contenido de AGMI y AGPI es mayor que en el resto de las carnes (cuadro 5).

En la grasa se depositan los pigmentos de origen vegetal que se suministran al ave por medio de la dieta y gracias a esto, la piel toma un color amarillo, color que los consumidores mexicanos demandan.

La carne del pollo puede compararse con otras carnes y salir ganando, porque su grasa es de más fácil digestión y más rica en ciertas sustancias necesarias para el buen funcionamiento de nuestro organismo.

La carne de ave es una fuente importante de AGPI, especialmente de ácidos grasos omega-3. Las cantidades de estos importantes ácidos grasos, al

igual que las de algunos oligoelementos y vitaminas, pueden incrementarse con mayor facilidad en la carne de pollo que en la carne de otro tipo de ganado.

*Cuadro 4. Energía, micro y macronutrientes de la carne de pollo (por 100 g).*

	PECHUGA SIN PIEL	MUSLO SIN PIEL
Agua (g)	75.8	76.4
Energía (kcal)	108	114
Proteína (g)	21.2	19.3
Grasa (g)	2.6	4.1
Cenizas (g)	1.2	0.96
Hidratos de carbono (g)	0.0	0.0
Calcio (mg)	5	9
Hierro (mg)	0.37	0.80
Magnesio (mg)	26	23
Fosforo (mg)	210	187
Potasio (mg)	370	245
Sodio (mg)	116	89
Zinc (mg)	0.58	1.52
Cobre (mg)	0.0027	0.056
Manganeso (mg)	0.015	0.016
Selenio (mg)	0.032	0.023
Vitamina C (mg)	1.2	0.0
Tiamina (mg)	0.064	0.09
Riboflavina (mg)	0.1	0.17
Niacina (mg)	10.43	5.58
Vitamina B6 (mg)	0.75	0.44
Vitamina B12 (µg)	0.20	0.64
Vitamina E (µg)	0.19	0.18

FUENTE: Codony *et al*, 2011

*Cuadro 5. Colesterol y Ácidos Grasos de la carne de pollo (por 100 g).*

	PECHUGA SIN PIEL	MUSLO SIN PIEL
Colesterol (mg)	64	87
Ácidos grasos saturados (g)	0.57	1.01
Ácidos grasos monoinsaturados (g)	0.763	1.423
Ácidos grasos poliinsaturados (g)	0.399	0.912
C20:5, n-3 (EPA)	0.002	0.003
C22:5, n-3 (DPA)	0.004	0.008
C22:6, n-3 (DHA)	0.003	0.007
Ácidos grasos <i>trans</i> totales	0.012	0.018

FUENTE: Codony *et al*, 2011

### **3.3.3 Alternativas para enriquecer carne de pollo con ácidos grasos omega-3**

La tecnología moderna de alimentos hace posible hoy en día que una gran cantidad de alimentos puedan enriquecerse en AGn-3 y, de hecho, existe en todo el mundo una gran variedad de productos alimenticios enriquecidos (Carrero *et al.*, 2005).

Aumentar la oferta de AGn-3 en los productos alimenticios se puede realizar por medio de dos estrategias posibles: 1) animales que se alimentan con dietas enriquecidas de omega-3 con el fin de mejorar el contenido natural de ácidos grasos omega-3 en productos como huevo, pescado, o carne, o 2) incluir ingredientes ricos en omega-3 en la formulación de alimentos procesados.

Los principales enfoques tecnológicos son la adición directa de ácidos grasos omega-3 de origen vegetal o de aceites de origen marino (pescado, algas, etc.). Especialmente en los últimos años, el uso de aceites pre-emulsionados, se ha convertido en una buena alternativa tecnológica (Ansorena y Astiasaran, 2013).

Es importante destacar que los AGn-3 de origen marino no solo se aplican a la nutrición animal. Existen evidencias que indican que estos ácidos grasos son necesarios y esenciales para todos los mamíferos, por lo cual la alimentación animal, especialmente la de animales de competición (equinos), mascotas o animales de compañía, constituye otro campo de aplicación de gran magnitud y gran desarrollo para estos ácidos grasos (Valenzuela, 2009).

El interés sobre el enriquecimiento de la carne de pollo con ácidos grasos omega-3 se ha incrementado debido a su importante papel en el metabolismo humano. La inclusión de omega-3 en la carne de pollo se logra mediante la alimentación con ingredientes tales como: linaza, aceite de pescado, carne de pescado, algas marinas y canola para aves.

En un intento por aumentar el contenido de ácidos grasos omega-3 en productos avícolas, se recurrió a la utilización de aceite de pescado y linaza como ingredientes para el enriquecimiento de la misma. Sin embargo, la calidad

sensorial de la carne se vio afectada por la presencia de sabores desagradables y una inestabilidad en los lípidos totales.

Al tratar de aumentar los ácidos grasos omega-3 en la carne de pollo, los aceites de pescado y la carne de pescado son considerados frecuentemente. Entre los aceites de pescado más usados en la industria está el aceite de menhaden. Al igual que con la linaza, el aumento de la concentración de este ingrediente hasta un 5%, aumenta la concentración de ácidos grasos omega-3 en la carne de pollo.

Bajo condiciones comerciales, limitando el acceso de ácidos grasos omega-3 a unos días antes del sacrificio se podría reducir la alimentación y, por tanto, los costos para producir carne de pollo enriquecida (González-Esquerria y Leeson, 2001).

### **3.4 Generalidades del atún**

#### **3.4.1 Producción de atún en México**

En México, la actividad atunera comenzó a principios del siglo XX. Pescadores de origen portugués operaban cerca de las costas de California en Estados Unidos y en Baja California, el producto era procesado en San Pedro, California, EU. En 1925, en Ensenada comenzó el enlatado de atún en las empacadoras “Planta Nacional de Productos Marinos” y “Compañía de Productos Marinos S.A.”, de Cabo San Lucas.

A nivel mundial México se encuentra en el lugar número 12 en cuanto a la producción de atún. El atún ocupa el cuarto lugar de la producción pesquera total de México, y en cuanto a su valor económico ocupa el segundo lugar. Es el mayor de los túnidos y el más valorado en el mercado. Se comercializa fresco y congelado (GBC, 2011).

La industria atunera mexicana representa una de las actividades más desarrolladas dentro del sector de la pesca: por el valor de la producción, ocupa el segundo lugar después de la industria del camarón, con 1,146.7 millones de



pesos en el 2010. El atún ocupa el cuarto lugar de la producción pesquera total de México.

La pesca o captura de túnidos en México se realiza prácticamente en el litoral del Pacífico, cuatro estados concentran 95% del valor de la producción: Sinaloa, Colima, Baja California y Chiapas, que es donde se ubica la industria de proceso. El atún sinaloense representa 42.5% del valor de la producción nacional con 67 mil toneladas. El atún participa con 6% del volumen pesquero nacional y 2% de la captura mundial (SIAP, 2013). El volumen de captura ha disminuido, en el 2001 fue de 142,650 toneladas y en el 2010 de 130,800 toneladas.

Como se sabe, en México principalmente se consume enlatado y se tiene la percepción de que es un producto económico (GBC, 2011). El consumo nacional aparente de atún en el 2010 fue de 138,398 toneladas y el consumo per-cápita fue de 1.23 kg.

#### **3.4.2 Valor nutricional del atún (*Thunnus thynnus*)**

El atún es un alimento que aporta proteínas, vitaminas y minerales, su carne es de buen sabor y baja en grasas saturadas, además que cuenta con un alto contenido de omega-3. Actualmente el atún mexicano tiene una gran demanda, sobre todo en países asiáticos, donde al atún aleta azul se consume fresco en platillos típicos de la región. El atún se consume fresco o congelado, entero, enlatado, seco o salado. Cabe destacar que el atún es la principal especie enlatada en México.

Su característica fundamental es el elevado contenido en ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) cuyo efecto positivo para la salud está ampliamente demostrado, especialmente en la prevención de enfermedades cardiovasculares (ECV) al regular los niveles de colesterol. También destacan en su composición el alto valor proteínico (por encima de la carne de cerdo o vacuno), así como su contenido en hierro y vitaminas del complejo D.

El atún forma parte de la dieta mediterránea, sinónimo de dieta sana y equilibrada, recomendándose su consumo tres o cuatro veces por semana. Su composición y valor nutritivo está influenciado por diversas variables entre las

que se encuentran: la especie, la edad, el medio en el que viven, el tipo de alimentación, la época de captura, etc. También es interesante mencionar que su porción comestible oscila, en general, entre un 45% (perca 38%, trucha 50%) y aproximadamente un 60% del individuo (merluza 58%, sardina 59%, atún 61%, caballa 62%, lenguado 72%). Tienen comúnmente muchos desperdicios (Ordoñez y de la Hoz, 1999).

El agua es uno de los componentes del pescado que presenta mayor variación, su proporción se encuentra entre un 55 y 80% (depende de la especie y la época del año). Se suele aceptar que existe una relación inversa entre el contenido de agua y el de lípidos totales (Aquerreta, 2003).

Los glicéridos y esteroides, constituyen del 80 al 95% de los lípidos de depósito en los pescados grasos, mientras que los fosfolípidos, son los más propios de los pescados magros y de los crustáceos, representando del 70 al 90% de los lípidos totales.

Respecto al tipo de grasa que presentan es destacable su proporción en AGPI, en cantidades comprendidas entre un 25 a 45% en los pescados, 40 a 50% en los crustáceos y 30 a 45% en los bivalvos. Incluidos en los AGPI están los pertenecientes a la clase o serie omega-3 (Villarino *et al.*, 2005).

### **3.4.3 Harina de pescado en la alimentación animal**

La harina de pescado es utilizada en la nutrición animal de aves, rumiantes y cerdos. Sin embargo, al aumentar su inclusión en la dieta de aves se percibe un incremento en el sabor a pescado, por lo que a nivel industrial solo se suministra hasta 3% en México y 12% en países Sudamericanos debido a que a la población mexicana no le gusta el sabor a pescado.

Algunas de las razones para su utilización son (Grau de Marín *et al.*, 2007):

- Elevado contenido proteínico y una composición de aminoácidos esenciales excelente, solo inferior a la de la proteína de la leche y huevo.

- Su contenido de vitaminas, sobre todo las del complejo B, además de ser la única que contiene cantidades importantes de la vitamina D.
- Tanto la harina como el aceite de pescado contienen ácidos grasos del tipo omega-3, conformado por los dos ácidos grasos más importantes: el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA). Se encuentran en forma natural y abundante en los pescados azules como el atún, trucha, sardina, anchoas, salmón.

Algunas de las ventajas de su utilización en la crianza de aves son:

- Rápido crecimiento y mejor conversión del alimento, ocasionando un menor costo de producción.
- Incremento de la inmunidad por los omega-3 y menor pérdida de crecimiento a causa de la presencia de enfermedades, incluyendo vacunas.
- Mejor desarrollo del sistema nervioso y la estructura ósea.
- Cambia la composición de ácidos grasos omega-3 en la carne siendo más efectivo que cualquier otro ingrediente

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1 Ensayo experimental**

El proyecto se inicia con un total de 200 pollos de la línea Ross de un día de edad. Fueron separados por sexo y distribuidos en 4 corrales cada uno de 25 pollos por tratamiento. Se diseñaron 4 tratamientos de acuerdo a las necesidades nutricionales de cada una de las etapas productivas (iniciación, crecimiento y finalización) de acuerdo a la National Research Council (NRC, 1994). Los tratamientos consistieron en incorporar harina negra del atún (HNA) en diferentes niveles: 0, 1, 2 y 3% HNA (cuadro 6). El ensayo duro 6 semanas. Al final, fueron sacrificados 3 pollos de cada tratamiento, se hizo el despiece de las canales y se prepararon las piezas para su análisis químico, se retiró la piel de la pechuga y de la pierna con muslo. Las muestras fueron molidas y almacenadas en bolsas plásticas a -20°C en el laboratorio del Departamento de

Producción Agrícola y Animal de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.

Cuadro 6. Composición nutricional de las dietas de finalización para pollos de engorda.

<b>INGREDIENTES</b>	<b>Tratamiento 1 (0% HNA)</b>	<b>Tratamiento 2 (1% HNA)</b>	<b>Tratamiento 3 (2% HNA)</b>	<b>Tratamiento 4 (3% HNA)</b>
Sorgo molido	73.18	74.68	76.18	77.68
Pasta de Soya	19.55	17.77	15.99	14.21
Ortofosfato de calcio	2.15	1.86	1.57	1.28
Carbonato de calcio	0.70	0.65	0.61	0.56
Aceite de soya	2.46	2.07	1.68	1.28
L-Lisina	0.35	0.36	0.37	0.37
L-Treonina	0.13	0.13	0.14	0.14
DL-Metionina	0.31	0.31	0.31	0.31
Sal	0.35	0.35	0.35	0.35
Vitaminas	0.20	0.20	0.20	0.20
Minerales	0.10	0.10	0.10	0.10
Coccidiostato	0.05	0.05	0.05	0.05
Pigmento	0.45	0.45	0.45	0.45
<b>HNA (%)</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Total (kg)	100	100	100	100
<b>ANÁLISIS NUTRIMENTAL CALCULADO</b>				
EM (kcal)	3100	3100	3100	3100
Proteína (%)	17	17	17	17
Calcio (%)	0.85	0.85	0.85	0.85
Fosforo (%)	0.42	0.42	0.42	0.42
Metionina-Cistina (%)	0.83	0.83	0.83	0.83
Lisina (%)	1.06	1.06	1.06	1.06
Treonina (%)	0.72	0.72	0.72	0.72

## 4.2 Preparación de las muestras

Las muestras de carne congeladas a -20°C fueron llevadas al laboratorio de Nutrición Animal del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición “Salvador Zubirán” (INCMNSZ) donde se determinó el perfil lipídico de la carne de la pechuga y pierna con muslo. Las muestras fueron guardadas en congeladores mientras se analizaban.

El tratamiento que se le dio a cada una de las muestras fue el siguiente: se pasó del congelador a un refrigerador un día previo al análisis para su descongelación, el día del análisis se retiró el exceso de agua de la muestra con ayuda de una sanita a manera de presionar la muestra, una vez hecho esto se molió la muestra con un procesador de alimentos Braum y molida la muestra se

extendió en un trozo de papel aluminio para verificar que este lo más homogénea posible y eliminar con ayuda de unas pinzas algunos pedazos de nervio, plumas y/o tendones que pudiera tener, posteriormente, se realizó un cuarteo de la muestra para tomar muestras aleatorias e iniciar con la extracción de lípidos totales. Cada una de las muestras se analizaron por triplicado.

### **4.3 Análisis químico**

Las variables determinadas fueron la concentración de lípidos totales y de ácidos grasos saturados, monoinsaturados, poliinsaturados y omega-3 en la carne de la pechuga y la pierna con muslo.

La determinación de lípidos totales se realizó de acuerdo al método de Folch (1957) con algunas modificaciones, la saponificación y metilación de ácidos grasos se realizó de acuerdo al método 969.33 de la AOAC (2000) (Apéndice I).

El análisis de los ácidos grasos requiere de las siguientes etapas:

1. Obtención de la materia grasa por extracción con mezcla de solventes.
2. Derivatización de los ácidos grasos.
3. Análisis por cromatografía de gases (CG).

#### **4.3.1 Extracción de lípidos totales**

Procedimiento: a 0.5 g de muestra en un tubo previamente tarado se agrega 15 mL de la mezcla cloroformo: etanol (1:1), seguido de agitación en vortex por 30 segundos y agitación mecánica durante 2 horas. Se centrifugaron los tubos y la muestra se filtró a través de papel filtro N° 41 y Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Una vez filtrada la muestra se evaporó a sequedad en Baño María (BM) con Nitrógeno a 60°C, se dejan enfriar los tubos a temperatura ambiente y finalmente se pesaron los lípidos recuperados para determinar por diferencia de peso.

#### **4.3.2 Derivatización de los ácidos grasos a ésteres metílicos (FAME)**

Procedimiento de saponificación de los lípidos: se reconstituyeron en hexano RA y se adicionó ácido miristoleico (1 mg/mL) como estándar interno agitando hasta la disolución total de los lípidos. Una vez disueltos, se adicionó

hidróxido de sodio metanólico (NaOH/MeOH) al 2% y se colocaron en BM a temperatura de ebullición por 10 minutos.

Procedimiento de metilación de los ácidos grasos: se adicionó trifluoruro de boro ( $\text{BF}_3$ ) y se colocó en BM a temperatura de ebullición por 2 minutos. Se dejaron enfriar y se adicionó heptano colocándolos una vez más en BM a temperatura de ebullición, posteriormente se adicionó solución saturada de cloruro de sodio (NaCl). Se centrifugaron los tubos para la separación de fases recolectando la fase superior (fase orgánica) en un tubo limpio. Una vez separada la fase orgánica de la acuosa se colocaron los tubos en BM para evaporar a sequedad y finalmente resuspender los FAME con hexano HPLC. Se transfirió cada muestra en los viales de inyección para ser analizada en el cromatógrafo de gases.

#### **4.3.3 Análisis de los FAME por cromatografía de gases (CG)**

La identificación y cuantificación de los ácidos grasos se realizó en un cromatógrafo de gases modelo Varían 3800 equipado con detector de ionización de flama (FID) y una columna capilar DB-23 (marca J&W) de 30 m de longitud, 0.25 mm de diámetro interno y una película de 0.25  $\mu\text{m}$ . La columna con una composición de cianopropilo al 50% y dimetilpolisiloxano al 50% está diseñada para la separación de ésteres metílicos de ácidos grasos. Las condiciones cromatográficas fueron: temperatura del inyector 250°C, temperatura del detector 260°C utilizando un gradiente de temperatura en la columna donde la temperatura inicial del horno de la columna fue de 120°C aumentándose 10°C/minuto hasta llegar a 230°C. Como gas acarreador se usó Nitrógeno con un flujo de 30 mL/min. Se empleó una mezcla de ésteres metílicos para identificar el tiempo de retención de los ácidos grasos. El ácido miristoleico (C14:1) se empleó como estándar interno. La concentración de los ácidos grasos se determinó utilizando el área de cada pico con relación al área conocida del estándar previamente inyectado.

Todos los reactivos utilizados en la preparación de las muestras fueron RA y en la preparación cromatográfica HPLC.

Las mismas determinaciones se realizaron por duplicado en los principales ingredientes de las dietas (HNA, aceite de maíz, sorgo y soya) y a las cuatro dietas experimentales.

#### **4.4 Análisis estadístico**

Los datos obtenidos del contenido de lípidos totales y las concentraciones de ácidos grasos se analizaron a través de un análisis de varianza con un diseño factorial de 4 x 2 x 2, siendo el primer factor los niveles de HNA a 0, 1, 2 y 3%, el segundo factor el sexo (hembra o macho) y el tercer factor la pieza (pechuga o pierna con muslo). Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de  $p < 0.05$ .

Para el análisis de datos se utilizó el procedimiento GLM (general lineal model) del paquete estadístico SAS.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Lípidos totales y composición de ácidos grasos de los ingredientes

Cuadro 7. Perfil de ácidos grasos de la HNA, aceite de soya, sorgo y pasta de soya

ACIDO GRASO (mg/100 g)	HNA	Aceite de soya	Sorgo	Pasta de soya
Mirístico (C14:0)	137.25 ± 0.72	112.24 ± 1.8	3.42 ± 0.34	1.20 ± 0.11
Pentadecanoico (C15:0)	52.16 ± 0.62	16.32 ± 1.31	1.08 ± 0.01	108.43
Palmítico (C16:0)	1120.78 ± 35.12	12720.86 ± 1467.37	291.74 ± 3.92	218.47
Heptadecanoico (C17:0)	89.05 ± 1.92	125.93 ± 15.75	4.33 ± 0.02	1.57 ± 0.91
Estearico (C18:0)	356.40 ± 4.58	5182.87 ± 556.70	32.53 ± 1.23	48.60 ± 23.02
Araquídico (C20:0)	20.95 ± 0.02	375.72 ± 13.38	5.02 ± 0.19	3.86 ± 1.34
Heneicosanoico (C21:0)	0.72 ± 0.18	ND	ND	ND
Behénico (C22:0)	15.65 ± 0.88	413.69 ± 22.78	2.82 ± 0.25	4.38 ± 2.52
Tricosanoico (C23:0)	7.56 ± 0.71	35.44 ± 1.40	ND	ND
Lignocérico (C24:0)	14.15 ± 0.42	134.12 ± 0.31	2.39 ± 0.40	ND
Cis, 10-pentadecanoico (C15:1)	8.67 ± 0.46	ND	ND	ND
Palmitoleico (C16:1)	213.85 ± 8.09	86.98 ± 1.07	11.60 ± 0.06	1.27 ± 0.55
Cis, 10-heptadecanoico (C17:1)	39.42 ± 0.62	58.79 ± 2.06	0.96 ± 0.10	0.62
Elaídico (C18:1, n-9, t)	8.74 ± 0.97	48.99 ± 8.56	ND	ND
Oleico (C18:1, n-9, c)	708.40 ± 15.85	22181.56 ± 1628.05	738.11 ± 10.36	200.90 ± 108.03
Eicosenoico (C20:1)	51.76 ± 1.56	220.40 ± 4.97	4.53 ± 0.08	1.91 ± 1.00
Erúcico (C22:1, n-9)	22.82 ± 0.94	ND	ND	1.81
Nervónico (C24:1, n-9)	9.76 ± 0.31	ND	ND	ND
Linolelaídico (C18:2, n-6, t)	4.42 ± 0.48	81.32 ± 16.54	ND	0.54
Linoleico (C18:2, n-6,c)	118.83 ± 3.50	50706.95 ± 3668.53	1078.44 ± 31.92	636.61 ± 357.21
γ Linolénico (C18:3, n-6)	11.44 ± 3.28	56.11 ± 2.53	2.01	0.42
α Linolénico (C18.3, n-3)	33.72 ± 1.86	8847.89 ± 1149.71	43.83 ± 0.19	85.29 ± 47.06
Cis, 11,14-eicosadienoico (C20:2)	11.99 ± 0.07	35.33 ± 2.07	ND	ND
Cis, 11,14,17-eicosatrienoico (C20:3, n-3)	8.12 ± 0.66	30.25 ± 1.35	ND	ND
Cis, 8,11,14- eicosatrienoico (C20:3, n-6)	6.04 ± 0.32	ND	ND	ND
Araquidónico (C20:4)	86.26 ± 3.28	ND	ND	ND
Cis, 13,16-docosadienoico (C22:2)	1.02	ND	ND	ND
Eicosapentaenoico (C20:5, n-3)	258.88 ± 14.15	ND	ND	ND
Docosahexaenoico (C22:6, n-3)	1039.07 ± 47.79	ND	ND	ND
LIPIDOS TOTALES (%)	8.32 ± 0.01	92.17 ± 0.01	2.27 ± 0.06	1.15 ± 0.02
TOTAL AGS (mg/100 g)	1814.68	19117.19	343.33	386.51
TOTAL AGMI (mg/100 g)	1063.41	22596.72	755.20	206.51
TOTAL AGPI (mg/100 g)	1579.80	59757.76	1124.28	722.87
De los cuales:				
TOTAL n-6 (mg/100 g)	140.73	50844.37	1080.45	637.58
TOTAL n-3 (mg/100 g)	1339.79	8878.05	43.83	85.29



En el cuadro 7 se presenta el perfil de ácidos grasos de cada uno de los ingredientes que contribuyeron en la composición lipídica de la dieta.

La harina negra del atún (HNA) contiene grandes cantidades de ácido palmítico (C16:0) con 1,120.78 mg/100 g seguido del ácido esteárico (C18:0) con 356.40 mg/100 g como AGS. El ácido oleico (C18:1 n-9 *cis*) y el palmitoleico (C16:1) fueron los dos AGMI predominantes con 708.40 y 213.85 mg/100 g respectivamente. En cuanto a los AGPI predominan el ácido docosahexaenoico (C22:6 n-3, DHA), eicosapentaenoico (C20:5 n-3, EPA) y linoleico (C18:2 n-6, LA) con 1,039.07, 258.88 y 118.83 mg/100 g respectivamente.

De manera general, la HNA tiene mayor concentración de AGS con un total de 1,814.68 mg/100 g seguido de AGPI con 1,579.80 mg/100 g, de los cuales 1,339.79 mg/100 g corresponden a los ácidos grasos omega-3: DHA, EPA y el isómero *cis*, 11, 14,17-eicosatrienoico.

En el aceite de soya los AGS C16:0 y C18:0 predominan como en la HNA con 12,720.86 y 5,182.87 mg/100 g respectivamente. El C18:1 *cis* y el ácido eicosenoico (C20:1) son los AGMI predominantes con 22,181.56 y 220.40 mg/100 g. De los AGPI predominan LA (n-6) con 50,706.95 mg/100 g y ALA (n-3) con 8,847.89 mg/100 g. Cabe mencionar que a pesar de ser pocos AGPI detectados, es el grupo de ácidos grasos de mayor contenido en el aceite de soya de los cuales predominan los ácidos grasos omega-6.

De la misma manera en el sorgo y la pasta de soya predomina C16:0 y C18:0. El C18:1 *cis* es el principal ácido graso de los AGMI. Contienen pocos AGPI predominando LA (n-6) y ALA (n-3) en ambos ingredientes.

## 5.2 Lípidos totales y composición de ácidos grasos de las dietas

Cuadro 8. Perfil de ácidos grasos de las dietas experimentales

ACIDO GRASO* (mg/100 g)	0% HNA	1% HNA	2% HNA	3% HNA
Mirístico (C14:0)	1.62 ± 0.20	2.40 ± 0.29	2.13 ± 0.15	4.81 ± 0.20
Pentadecanoico (C15:0)	0.83 ± 0.07	0.85 ± 0.01	0.81 ± 0.06	1.09 ± 0.10
Palmítico (C16:0)	265.99 ± 22.37	290.48 ± 12.36	255.70 ± 14.35	279 ± 4.84
Heptadecanoico (C17:0)	3.73 ± 0.34	4.41 ± 0.09	4.47 ± 0.25	4.03 ± 0.04
Esteárico (C18:0)	34.90 ± 4.17	36.77 ± 4.0	36.21 ± 3.59	40.86 ± 0.70
Araquídico (C20:0)	4.94 ± 0.63	6.55 ± 0.03	5.60 ± 0.23	4.41 ± 0.70
Behénico (C22:0)	2.62 ± 0.19	3.19 ± 0.07	2.85 ± 0.21	3.25 ± 0.20
Tricosanoico (C23:0)	0.56 ± 0.05	0.72	0.63	0.80 ± 0.10
Lignocérico (C24:0)	2.60 ± 0.17	2.41 ± 0.31	2.90 ± 0.12	3.09 ± 0.18
Palmitoleico (C16:1)	9.90 ± 1.24	11.39 ± 1.25	9.68 ± 0.51	8.94 ± 0.76
Cis, 10-heptadecanoico (C17:1)	1.00 ± 0.06	1.24	1.12 ± 0.03	1.20 ± 0.14
Elaídico (C18:1, n-9, t)	ND	0.95	ND	1.46
Oleico (C18:1, n-9, c)	616.21 ± 52.85	664.25 ± 15.60	596.45 ± 32.09	653.23 ± 14.05
Eicosenoico (C20:1)	6.50 ± 0.04	6.31 ± 0.27	5.41 ± 0.09	4.33 ± 0.18
Erúcico (C22:1, n-9)	1.58 ± 0.07	1.36	0.55	0.69
Nervónico (C24:1, n-9)	0.7949	ND	ND	ND
Linolelaídico (C18:2, n-6, t)	0.52 ± 0.08	ND	0.41	ND
Linoleico (C18:2, n-6,c)	1094.11 ± 31.92	1046.01 ± 11.20	952.59 ± 47.07	1007.46 ± 12.28
γ Linolénico (C18:3, n-6)	1.47 ± 0.06	1.76	1.67 ± 0.33	2.01 ± 0.50
α Linolénico (C18.3, n-3)	56.80 ± 3.04	58.94 ± 0.53	48.14 ± 2.35	49.93 ± 0.96
Cis, 11,14-eicosadienoico (C20:2)	ND	0.62	0.55	ND
Cis, 11,14,17-eicosatrienoico (C20:3, n-3)	0.74 ± 0.38	ND	ND	ND
Araquidónico (C20:4)	0.8308	0.96	ND	0.72
Eicosapentaenoico (C22:5, n-3)	ND	1.15 ± 0.08	1.60 ± 0.09	1.40 ± 0.06
Docosahexaenoico (C22:6, n-3)	ND	2.70 ± 0.04	3.00 ± 0.22	3.29 ± 0.07
LIPIDOS TOTALES* (%)	2.70 ± 0.02	2.84 ± 0.06	2.22 ± 0.01	2.52 ± 0.02
TOTAL AGS (mg/100 g)	317.79	347.78	311.30	341.34
TOTAL AGMI (mg/100 g)	635.99	685.50	613.22	669.84
TOTAL AGPI (mg/100 g)	1154.48	1112.14	1007.96	1064.82
De los cuales:				
TOTAL n-6 (mg/100 g)	1096.10	1047.77	954.67	1009.48
TOTAL n-3 (mg/100 g)	57.54	62.79	52.73	54.62
RELACION n-6/n-3	19.05	16.69	18.10	18.48

\* Promedio ± desviación estándar. ND: no detectado

En el cuadro 8 se muestran los ácidos grasos de las cuatro dietas. En todas las dietas predominan los ácidos grasos palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0) de los AGS. De los AGMI predomina el ácido oleico (C18:1) y de los AGPI predominan LA (n-6) y ALA (n-3). Es importante destacar que a partir de la dieta con 1% HNA ya se observan los ácidos grasos EPA y DHA. A medida que aumenta la concentración de HNA en las dietas disminuye ALA y aumenta DHA.

### 5.3 Lípidos totales y composición de ácidos grasos en la carne de pollo

#### 5.3.1 Ácidos grasos totales

Cuadro 9. Comparación de los ácidos grasos totales entre tratamiento, sexo y pieza y sus interacciones

ACIDOS GRASOS TOTALES (mg/100 g)							
Ácido graso	AGS	AGMI	AGPI	n-6	n-3	n-6/n-3	% LT
<b>Factor A (dieta)</b>							
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
0% HNA	670.98 <sup>c</sup>	1031.20 <sup>b</sup>	609.87 <sup>a</sup>	489.61 <sup>ba</sup>	56.96 <sup>d</sup>	8.17 <sup>a</sup>	4.70 <sup>b</sup>
1% HNA	843.13 <sup>b</sup>	1059.35 <sup>b</sup>	631.11 <sup>a</sup>	510.41 <sup>a</sup>	64.50 <sup>c</sup>	7.17 <sup>b</sup>	4.92 <sup>a</sup>
2% HNA	863.85 <sup>b</sup>	1229.00 <sup>a</sup>	620.99 <sup>a</sup>	481.66 <sup>ba</sup>	78.40 <sup>b</sup>	5.90 <sup>c</sup>	4.74 <sup>ba</sup>
3% HNA	977.19 <sup>a</sup>	1215.66 <sup>a</sup>	600.71 <sup>a</sup>	461.85 <sup>b</sup>	85.47 <sup>a</sup>	5.15 <sup>d</sup>	4.76 <sup>ba</sup>
<b>Factor B (sexo)</b>							
Macho	896.63 <sup>a</sup>	1179.18 <sup>a</sup>	630.65 <sup>a</sup>	498.36 <sup>a</sup>	73.61 <sup>a</sup>	6.58 <sup>a</sup>	4.84 <sup>a</sup>
Hembra	780.94 <sup>b</sup>	1088.43 <sup>b</sup>	600.69 <sup>b</sup>	473.40 <sup>b</sup>	69.06 <sup>b</sup>	6.61 <sup>a</sup>	4.72 <sup>b</sup>
<b>Factor C (pieza)</b>							
PCH	499.80 <sup>b</sup>	589.28 <sup>b</sup>	347.20 <sup>b</sup>	248.98 <sup>b</sup>	51.14 <sup>b</sup>	5.18 <sup>b</sup>	3.70 <sup>b</sup>
PM	1177.78 <sup>a</sup>	1678.33 <sup>a</sup>	884.14 <sup>a</sup>	722.78 <sup>a</sup>	91.53 <sup>a</sup>	8.02 <sup>a</sup>	5.86 <sup>a</sup>
<b>Interacciones entre factores</b>							
A x B	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
A x C	0.0001	0.0066	0.0001	0.0001	0.0001	0.0027	0.0001
B x C	0.0392	0.3525	0.0001	0.0003	0.0001	0.0002	0.9862
A x B x C	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0009

AGS: ácidos grasos saturados, AGMI: ácidos grasos monoinsaturados, AGPI: ácidos grasos poliinsaturados, n-6: ácidos grasos omega-6, n-3: ácidos grasos omega-3, n-6/n-3: relación omega6:omega3, %LT: lípidos totales, PCH: pechuga, PM: pierna con muslo, HNA: harina negra del atún.

a,b: por columna, literales diferentes indican diferencia ( $p < 0.05$ ) entre dieta, sexo o pieza.

El enriquecimiento de carne de pollo con ácidos grasos omega-3 es una alternativa para incrementar el consumo de estos benéficos nutrimentos.

En el apéndice II se encuentra el perfil de cada grupo de ácidos grasos y las diferencias que hubo entre las cuatro dietas, los sexos y las piezas, sin embargo, los cuadros 9, 10, 11 y 12 muestran el resumen de los ácidos grasos, las diferencias estadísticas y la interacción que tiene cada ácido graso con la dieta, el sexo o la pieza. Asimismo, en el apéndice III se encuentra el cromatograma de estándar de los ésteres metílicos de los ácidos grasos y algunos cromatogramas obtenidos del análisis de las muestras de carne de pollo.

En el cuadro 9 se observa que los AGS aumentaron de manera significativa ( $p < 0.05$ ) a medida que se incorporó la HNA hasta 3% (977.19 mg/100 g). Los AGMI aumentaron significativamente con 2 y 3% de HNA (1,229.00 y 1,215.66 mg/100 g, respectivamente). Los AGPI y los omega-6 no fueron influenciados por la inclusión de HNA ( $p > 0.05$ ) a diferencia de los omega-3 que presentaron incremento significativo ( $p < 0.05$ ), como consecuencia, la relación n-6/n-3 disminuye significativamente ( $p < 0.05$ ). Los lípidos totales solo son influenciados con 1% de HNA ( $p < 0.05$ ).

El efecto de los lípidos provenientes de la dieta en el perfil de ácidos grasos de la carne de pollo se ha demostrado por varios autores variando la fuente de grasa (Yau *et al.*, 1991; Zollitsch *et al.*, 1997; Crespo y Esteve-García, 2001).

Los lípidos de la dieta tienen un efecto directo y generalmente predecible en la composición de ácidos grasos de la carne pues las aves de engorda incorporan fácilmente los ácidos grasos provenientes de la dieta a los tejidos del cuerpo logrando aumentos significativos de omega-3 en la carne (Chesworth *et al.*, 1998).

Comúnmente las dietas ofrecidas a las aves de corral son a base de cereales abasteciendo principalmente de omega-6 y una pequeña cantidad de omega-3 (Morrison, 1977). En este estudio la incorporación de HNA logró disminuir los omega-6 en las dietas, pero aun así se encontró en cantidades mayores respecto a los omega-3 (cuadro 8).

El perfil de ácidos grasos de la carne se debe al tipo de grasa predominante en la dieta y no a la cantidad de la misma (Vázquez, 2003). La modificación de los AGPI n-3 de la carne de pollo requiere de un suministro de AGPI n-3 provenientes de la dieta, esto se puede lograr mediante la adición de fuentes ricas en AGPI n-3 como el aceite de pescado o la harina de pescado en la dieta de aves de engorda. Sin embargo, la utilización de estas fuentes ha sido limitada por los efectos adversos que se pudieran presentar en la calidad sensorial. Se ha visto que los AGPI omega-3 están influenciados por la composición de la dieta, el sistema digestivo del animal y por los procesos de biosíntesis en el animal.

La harina de pescado ofrece de manera directa y abundante la deposición de omega-3 en la carne de pollo. Sin embargo, el potencial de la harina de pescado a alterar el sabor de la carne es ampliamente reconocido. Por esta razón, se ha recomendado que la inclusión de harina de pescado en aves productoras de carne se limiten al 5 % (Van, 1997).

En diversos estudios se han detectado olores inaceptables en las canales de pollos alimentados con aceite de pescado a niveles de 4% y 2% (Dansky, 1962; Edwards y May, 1965). Fry *et al.* (1965) recomiendan que no más del 1,5 % de aceite de pescado debe ser incorporado en las dietas de pollos de engorda.

Sin embargo, los productores de carne deben tener cuidado en el uso de aceite de pescado, deben de usar concentraciones no mayores de 1 a 2% en la dieta de aves de engorda pues puede crear problemas organolépticos en la carne (Hargis y Van-Elswyk, 1993).

Por otra parte, Ajuyah *et al.*, (1993) menciona que la inclusión de semilla de colza o de aceite de linaza como fuente alternativa de omega-3 implica en menor medida la presencia de malos olores o sabores, pero también da lugar a menos contenido de EPA y DHA en los tejidos de las aves.

La harina negra del atún (HNA) tiene mayor contenido de DHA en relación a EPA (cuadro 7). Como DHA es el omega-3 predominante, es probable que sea más eficaz utilizar la harina de atún que utilizar alguna otra fuente rica en ALA o EPA (Howe *et al*, 2002).

Muchos autores han estudiado el efecto de incluir diferentes fuentes de ácidos grasos en la dieta de pollos de engorda sobre la proporción de los ácidos grasos en la carne y la cantidad de grasa depositada (Scaife *et al.*, 1994; Hrdinka *et al.*, 1996; López-Ferrer *et al.*, 1999a, 1999b). Asimismo, se han hecho estudios para ver el efecto de aumentar los niveles de AGPI en la dieta sobre la cantidad y tipo de ácido graso depositado en los tejidos de pollo, sobre todo en las partes comestibles (Cortinas, 2004).

Sanz *et al.* (1999a) mencionan que la dieta influye en gran medida en el perfil de lípidos de la carne de pollo de manera que los AGS, AGMI y los AGPI tienden a parecerse al perfil de las dietas. Esto se corroboró con los resultados de este estudio, como se mencionó anteriormente los AGS y AGMI aumentaron a medida que se incrementó la HNA tanto en las dietas como en la carne, y los AGPI disminuyeron en ambos casos, observándose el mismo comportamiento entre los ácidos grasos totales de las dietas y la carne de pollo (cuadro 8 y 9). También mencionan que existe poca relación entre la concentración de los AGS y los fosfolípidos atribuyéndolo a la necesidad fisiológica de la membrana para mantener sus características físicas (Sanz *et al.*, 1999a). Ratnayake *et al.* (1989) mencionan que el perfil lipídico más favorable de la carne de pollo para el consumo humano en comparación con la carne de res que contiene bajos niveles de AGPI y altos niveles de AGS es: 33.5% de grasa saturada, 30.5% de grasa insaturada y 32% de poliinsaturada.

Las familias de AGPI omega-6 y omega-3 se incorporan a las membranas de las células, donde son precursores de los eicosanoides (prostaglandinas, prostaciclina, tromboxanos y leucotrienos), que intervienen en numerosos procesos fisiológicos tales como la coagulación de la sangre o las respuestas inflamatorias e inmunológicas. Los compuestos sintetizados a partir de cada una de estas familias tienen efectos opuestos, por lo que es muy importante mantener un equilibrio entre los dos grupos (Kyle, 2002).

Las recomendaciones nutrimentales sugieren una dieta con una relación omega-6: omega-3 no mayor a 5: 1 (FAO, 1994). Los resultados de este estudio

muestran una mejoría en la relación de omega-6: omega-3 con 3% de HNA como consecuencia de los aumentos significativos de los AGn-3 (cuadro 9).

Referente al sexo, los resultados muestran que los machos depositan más ácidos grasos que las hembras (cuadro 9), resultados contradictorios a los de Rondelli *et al.*, (2003) quienes informan que los machos depositan menos grasa que las hembras, también menciona que las hembras siempre depositaran más grasa que los machos debido a que las hormonas femeninas estimulan la deposición de grasa.

Rondelli *et al.*, (2004) realizaron un estudio para ver el efecto de tres fuentes distintas de lípidos y la interacción que tienen con el sexo, del que concluyen que el sexo afecta significativamente ( $p < 0.05$ ) la composición de ácidos grasos de la grasa abdominal. Estos resultados difieren de los resultados de un estudio previo que Olomu y Baraco (1991) han informado que no existe efecto por el sexo en los ácidos grasos de la grasa abdominal.

El sexo de las aves de engorda tiene influencia sobre el cambio del perfil de ácidos grasos de carne. Hulan *et al.*, (1989) encontraron que las hembras depositan en la carne aproximadamente 10% más de omega-3 en comparación con los machos, lo que no concuerda con los resultados de esta investigación donde los machos depositan 7% más que las hembras (cuadro 9).

Durante la madurez sexual las hembras depositan más grasa corporal que los machos, sin embargo, los pollos de engorda tienden a desarrollar sobrepeso y con ello la pérdida de la actividad reproductiva.

El inicio de la madurez sexual conduce a un rápido incremento de los depósitos de grasa, por lo general las hembras inician la deposición de grasa corporal antes y en mayor medida que los machos. Con la maduración del ave aparecen las hormonas sexuales que son muy influyentes en la deposición de grasa.

Morán (1986) señaló que el muslo ya cocinado de las hembras contenía más grasa que en los machos, sin embargo, la grasa de la piel de ambos sexos contenían cantidades similares.

Referente a la pieza, los ácidos grasos totales presentaron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre la pechuga y la pierna con muslo. La pierna con muslo es la pieza que depositó más ácidos grasos totales (cuadro 9).

Morales *et al.*, (2013) informaron que la adición de aceite de atún disminuye significativamente la deposición de AGS, AGMI y AGPI en la carne de pechuga, mientras que en la pierna con muslo este comportamiento es menos notable. En el cuadro 9 se puede observar este mismo comportamiento donde todos los ácidos grasos se depositaron preferentemente en la pierna con muslo.

Se ha demostrado que la testosterona puede reducir la acumulación de grasa en los gallos (Snapir *et al.*, 1983). Parte del efecto de la testosterona en la reducción de grasa es un mayor desarrollo muscular, especialmente en el área de la pelvis y el muslo.

El contenido de ácidos grasos encontrados en los tejidos analizados de este estudio mostró algunas diferencias con otros autores. Hrdinka *et al.*, (1996) reportaron 48.24% de AGS, 40.68% de AGMI y 7.12% de AGPI en la pierna de aves alimentadas con aceite de soya, mientras en este estudio se obtuvo 32% de AGS, 44% de AGMI y 24% de AGPI en la pierna con muslo. Estas diferencias se observaron por efecto de las diferentes fuentes de lípidos en las dietas de las aves.

Existen algunos informes sobre el contenido de lípidos en la pechuga. Algunos autores mostraron que el nivel de poliinsaturación de la grasa, no influye en el contenido de lípidos de la pechuga. Ajuyah, *et al.*, (1991) y Scaife, *et al.*, (1994) han encontrado un mayor contenido de grasa en la pechuga a medida que aumento el contenido de AGPI en la dieta.

Sin embargo, otros autores han encontrado que el contenido de lípidos es inferior en la pechuga de los pollos alimentados con dietas enriquecidas con aceites poliinsaturados (Sanz *et al.*, 1999b). Algunos estudios indican que las hembras muestran mayor proporción de grasa en la pechuga que los machos, y menor proporción en la pierna y el muslo (Mendes *et al.*, 1988; Lázzari y Paganini, 1999).

En este estudio se observó que los factores que influyeron en los ácidos grasos totales fueron la dieta y el sexo juntos, pero también se observó que la



interacción de la dieta, el sexo y la pieza influyen mucho más sobre la cantidad de ácidos grasos totales ( $p < 0.05$ ).

### 5.3.2 Ácidos grasos saturados (AGS)

Cuadro 10. Comparación de los AGS entre tratamiento, sexo y pieza y sus interacciones

Ácido graso	ACIDOS GRASOS SATURADOS (mg/100 g)									
	C14:0	C15:0	C16:0	C17:0	C18:0	C20:0	C21:0	C22:0	C23:0	C24:0
<b>Factor A (dieta)</b>										
	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$
0% HNA	10.53 <sup>b</sup>	4.11 <sup>a</sup>	426.5 <sup>c</sup>	5.34 <sup>a</sup>	218.12 <sup>a</sup>	3.02 <sup>b</sup>	1.34 <sup>a</sup>	1.20 <sup>a</sup>	0.56 <sup>a</sup>	0.23 <sup>a</sup>
1% HNA	12.44 <sup>a</sup>	1.89 <sup>c</sup>	634.1 <sup>b</sup>	4.04 <sup>b</sup>	185.34 <sup>b</sup>	2.75 <sup>b</sup>	0.73 <sup>b</sup>	1.15 <sup>a</sup>	0.58 <sup>a</sup>	0.14 <sup>a</sup>
2% HNA	11.43 <sup>ba</sup>	2.12 <sup>c</sup>	655.8 <sup>b</sup>	4.04 <sup>b</sup>	184.06 <sup>b</sup>	3.57 <sup>b</sup>	0.85 <sup>ba</sup>	1.40 <sup>a</sup>	0.57 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>
3% HNA	12.56 <sup>a</sup>	2.43 <sup>b</sup>	734.9 <sup>a</sup>	4.95 <sup>a</sup>	213.41 <sup>a</sup>	5.51 <sup>a</sup>	1.08 <sup>ba</sup>	1.53 <sup>a</sup>	0.69 <sup>a</sup>	0.13 <sup>a</sup>
<b>Factor B (sexo)</b>										
Macho	11.90 <sup>a</sup>	1.98 <sup>b</sup>	677.2 <sup>a</sup>	4.22 <sup>b</sup>	195.04 <sup>b</sup>	3.13 <sup>b</sup>	1.08 <sup>a</sup>	1.20 <sup>a</sup>	0.64 <sup>a</sup>	0.24 <sup>a</sup>
Hembra	1.58 <sup>a</sup>	3.29 <sup>a</sup>	548.5 <sup>b</sup>	4.97 <sup>a</sup>	205.43 <sup>a</sup>	4.30 <sup>a</sup>	0.92 <sup>a</sup>	1.44 <sup>a</sup>	0.55 <sup>a</sup>	0.01 <sup>a</sup>
<b>Factor C (pieza)</b>										
PCH	6.29 <sup>b</sup>	1.18 <sup>b</sup>	360.0 <sup>b</sup>	2.37 <sup>b</sup>	124.66 <sup>b</sup>	3.10 <sup>b</sup>	0.77 <sup>b</sup>	1.02 <sup>b</sup>	0.29 <sup>b</sup>	0.06 <sup>a</sup>
PM	17.19 <sup>a</sup>	4.09 <sup>a</sup>	865.6 <sup>a</sup>	6.81 <sup>a</sup>	275.81 <sup>a</sup>	4.32 <sup>a</sup>	1.23 <sup>a</sup>	1.62 <sup>a</sup>	0.91 <sup>a</sup>	0.19 <sup>a</sup>
<b>Interacciones entre factores</b>										
A x B	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0489	0.0001	0.1055	0.5845
A x C	0.0021	0.0001	0.0001	0.0001	0.29	0.0001	0.0433	0.001	0.7966	0.1791
B x C	0.0008	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0027	0.5747	0.0013	0.4264	0.2229
A x B x C	0.0112	0.0001	0.0001	0.0001	0.1436	0.0003	0.3318	0.3666	0.2474	0.2976

C14:0 (Mirístico), C15:0 (Pentadecanoico), C16:0 (Palmítico), C17:0 (Heptadecanoico), C18:0 (Esteárico), C20:0 (Araquídico), C21:0 (Heneicosanoico), C22:0 (Behénico), C23:0 (Tricosanoico), C24:0 (Lignocérico), PCH: pechuga, PM: pierna con muslo, HNA: harina negra del atún.

a,b: por columna, literales diferentes indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

En el cuadro 10 está el perfil de AGS obtenido de la carne de pollo y las diferencias entre los tratamientos, el sexo y la pieza. Se observa que los AGS que presentaron mayores concentraciones con 3% de HNA fueron el ácido palmítico (C16:0) con 734.90 mg/ 100 g y el ácido esteárico (C18:0) con 213.41 mg/100 g, de los cuales, el C16:0 es influenciado por la incorporación de la HNA ( $p < 0.05$ ). Efecto contrario presentó el ácido pentadecanoico (C15:0), de 4.11 mg/100 a 1.89 mg/100 g con 1% de HNA. El C18:0 disminuyó significativamente ( $p < 0.05$ ) con 1 y 2% de HNA, al 3% no se vio afectado ( $p > 0.05$ ). El mismo comportamiento se observó para el ácido heptadecanoico (C17:0).

Los ácidos grasos heneicosanoico (C21:0), behénico (C22:0), tricosanoico (C23:0) y lignocérico (C24:0) se presentaron en menor cantidad y no presentaron efecto alguno por la inclusión de HNA ( $p > 0.05$ ). En cuanto al ácido araquídico (C20:0) aumentó significativamente con 3% de HNA ( $p < 0.05$ ), donde hubo incremento de 3.02 a 5.51 mg/100 g.

En un estudio de López-Ferrer *et al* (2001) donde adicionaron aceite de pescado en las dietas de pollos con el fin de incrementar EPA, DPA y DHA obtuvieron un ligero incremento en el contenido de AGS a medida que se aumentó el aceite de pescado en las dietas predominando el ácido palmítico (C16:0) seguido del esteárico (C18:0). En este estudio se obtuvieron resultados similares, C16:0 y C18:0 fueron los AGS predominantes en la carne de pollo y aumentaron a medida que se incrementó la HNA (cuadro 10). El incremento de C18:0 se debe al origen del mismo, por un lado tenemos el depósito directo de la dieta y por el otro, la síntesis de *novo*.

Woods y Fearon (2009) mencionan que las dietas ricas en ácido oleico (C18:1) tienden a depositar ácido esteárico (C18:0) en la grasa de la canal, mientras que las dietas ricas en AGPI favorecen la deposición de C18:0 en la grasa de la pechuga y el muslo. La incorporación de HNA a las dietas logró que disminuyeran ligeramente los AGPI (cuadro 8) y, por tanto, disminuyó la deposición de C18:0 en la carne de pollo (Cuadro 10).

El ácido esteárico (C18:0) no presenta efectos negativos sobre la salud, aunque se carece de evidencias científicas suficientes, tiene un efecto menor sobre los lípidos y las lipoproteínas plasmáticas en contraste con otras grasas saturadas como el ácido mirístico (C14:0) y el palmítico (C16:0), y se comporta de manera diferente en el organismo. La respuesta está en el mecanismo de absorción de esta grasa, aunque no hay un consenso científico sobre esta cuestión. Tan sólo se han detectado indicios de que se absorbe de forma menos eficiente que otros ácidos grasos saturados. Este hecho podría explicar el efecto neutro que ejerce la ingesta del ácido esteárico sobre los triglicéridos, el colesterol total, el colesterol LDL y el colesterol HDL (Manera, 2009).

En ambos sexos se observó que el ácido palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0) predominaron en las canales de las aves, el C16:0 se presentó en mayor concentración en machos y el C18:0 lo fue en hembras ( $p < 0.05$ ). Lo mismo ocurrió en ambas piezas C16:0 y C18:0 fueron los de mayor concentración, aunque todos los AGS se depositaron más en la pierna con muslo ( $p < 0.05$ ).

La interacción que se presenta entre la dieta y el sexo son los factores que más influyeron en la deposición de AGS en las canales de las aves ( $p < 0.05$ ).

### 5.3.3 Ácidos grasos monoinsaturados (AGMI)

Cuadro 11. Comparación de los AGMI entre tratamiento, sexo y pieza y sus interacciones

Acido graso	ACIDOS GRASOS MONOINSATURADOS (mg/100 g)							
	C15:1	C16:1	C17:1	C18:1 n-9 t	C18:1 n-9 c	C20:1	C22:1 n-9	C24:1 n-9
<b>Factor A (dieta)</b>								
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
0% HNA	4.60 <sup>a</sup>	100.12 <sup>c</sup>	4.27 <sup>a</sup>	3.25 <sup>b</sup>	910.18 <sup>b</sup>	8.12 <sup>ba</sup>	0.62 <sup>a</sup>	0.04 <sup>a</sup>
1% HNA	6.22 <sup>a</sup>	159.92 <sup>b</sup>	1.71 <sup>c</sup>	2.66 <sup>c</sup>	880.94 <sup>b</sup>	7.30 <sup>b</sup>	0.50 <sup>a</sup>	0.09 <sup>a</sup>
2% HNA	4.29 <sup>a</sup>	179.01 <sup>a</sup>	1.98 <sup>c</sup>	3.74 <sup>a</sup>	1031.07 <sup>a</sup>	8.53 <sup>a</sup>	0.37 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>
3% HNA	5.09 <sup>a</sup>	165.56 <sup>ba</sup>	2.81 <sup>b</sup>	3.27 <sup>b</sup>	1029.45 <sup>a</sup>	8.85 <sup>a</sup>	0.45 <sup>a</sup>	0.17 <sup>a</sup>
<b>Factor B (sexo)</b>								
Macho	6.14 <sup>a</sup>	173.88 <sup>a</sup>	1.89 <sup>b</sup>	3.37 <sup>a</sup>	985.13 <sup>a</sup>	8.15 <sup>a</sup>	0.59 <sup>a</sup>	0.02 <sup>b</sup>
Hembra	3.96 <sup>a</sup>	128.43 <sup>b</sup>	3.50 <sup>a</sup>	3.08 <sup>b</sup>	940.69 <sup>a</sup>	8.25 <sup>a</sup>	0.38 <sup>a</sup>	0.13 <sup>a</sup>
<b>Factor C (pieza)</b>								
PCH	3.97 <sup>a</sup>	72.27 <sup>b</sup>	0.78 <sup>b</sup>	2.96 <sup>b</sup>	504.26 <sup>b</sup>	4.94 <sup>b</sup>	0.08 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>
PM	6.13 <sup>a</sup>	230.04 <sup>a</sup>	4.60 <sup>a</sup>	3.50 <sup>a</sup>	1421.56 <sup>a</sup>	11.45 <sup>a</sup>	0.89 <sup>a</sup>	0.15 <sup>a</sup>
<b>Interacciones entre factores</b>								
A x B	0.0197	0.0001	0.0001	0.0017	0.0001	0.0001	0.6824	0.0256
A x C	0.0512	0.0001	0.0001	0.0032	0.0788	0.0001	0.436	0.1129
B x C	0.0103	0.0006	0.0001	0.528	0.1852	0.0001	0.2173	0.0333
A x B x C	0.3202	0.0001	0.0001	0.0018	0.0001	0.0001	0.6557	0.0256

C15:1 (Cis, 10-pentadecanoico), C16:1 (Palmitoleico), C17:1 (Cis, 10-heptadecanoico), C18:1 n-9 *trans* (Elaidico), C18:1 n-9 *cis* (Oleico), C20:1 (Eicosenoico), C22:1 n-9 (Erúcido), C24:1 n-9 (Nervónico), PCH: pechuga, PM: pierna con muslo, HNA: harina negra del atún.

a,b: por columna, literales diferentes indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

En el cuadro 11 se muestran los AGMI obtenidos de la carne de pollo enriquecida, de los cuales los ácidos palmitoleico (C16:1) y oleico (C18:1 n9, *cis*) predominaron en los cuatro tratamientos. C16:1 tuvo aumento significativo a medida

que aumentó la HNA hasta 2% ( $p < 0.05$ ) de 100.12 a 179.01 mg/100 g. El mismo comportamiento se observó en el C18:1 *cis* con 2 y 3% de HNA.

El ácido *cis*, 10-pentadecanoico (C15:1), eicosanoico (C20:1), erúxico (C22:1) y nervónico (C24:1) no presentaron diferencia significativa por la inclusión de HAN ( $p > 0.05$ ). C22:1 y C24:1 son los AGMI de menor concentración que van desde 0.00 hasta 0.62 mg/100 g. El ácido elaídico (C18:1, n9, *trans*) fue influenciado por la dieta solo con 1 y 2% de HNA.

La razón de que los ácidos grasos palmitoleico (C16:1) y oleico (C18:1) predominaran los AGMI en la carne de pollo es por el elevado contenido de los ácidos palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0) en la dieta y la carne, y con ello, a las reacciones de desaturación por la enzima  $\Delta 9$ -desaturasa. Es importante mencionar que el ácido oleico (C18:1) predominó en todas las dietas (cuadro 8), así que por influencia directa de la dieta se depositó en mayores cantidades en la carne de pollo. Hrdinka *et al.*, (1996) encontraron que este ácido graso predomina en los tejidos de animales alimentados con dietas adicionadas de aceite de soya que contiene un alto nivel de LA.

Los ácidos grasos palmitoleico (C16:1) y oleico (C18:1) predominaron en ambos sexos, de los cuales solo el C16:1 se depositó más en el macho y el C18:1 se depositó igual en las hembras (cuadro 11).

Todos los AGMI se depositaron preferentemente en la pierna con muslo ( $p < 0.05$ ). El ácido graso principal de esta fracción lipídica fue el oleico (C18:1) en ambos tejidos, pero entre piezas la pierna con muslo presentó mayores cantidades (cuadro 11). Este ácido graso predomina más en los lípidos neutros que en los lípidos polares (Woods y Fearon, 2009), de ahí que este ácido graso se deposita más en la pierna con muslo que en la pechuga.

En cuanto a las interacciones, la mayoría de los AGMI fueron influenciados por la dieta, el sexo y la pieza.

### 5.3.4 Ácidos grasos poliinsaturados (AGPI)

Cuadro 12. Comparación de los AGPI entre tratamiento, sexo y pieza y sus interacciones

ACIDOS GRASOS POLIINSATURADOS (mg/100 g)											
Acido graso	C18:2 n-6 t	C18:2 n-6, c LA	C18:3 n-6	C18:3 n-3 ALA	C20:2	C20:3 n-6	C20:3 n-3	C20:4 AA	C22:5 n-3 EPA	C22:2	C22:6 n-3 DHA
<b>Factor A (dieta)</b>											
	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$	$\bar{X}$
0% HNA	0.98 <sup>b</sup>	470.91 <sup>ba</sup>	4.27 <sup>a</sup>	40.30 <sup>ba</sup>	7.00 <sup>ba</sup>	13.4 <sup>a</sup>	0.05 <sup>b</sup>	56.17 <sup>a</sup>	4.59 <sup>c</sup>	0.12 <sup>a</sup>	12.02 <sup>d</sup>
1% HNA	1.06 <sup>b</sup>	494.97 <sup>a</sup>	4.40 <sup>a</sup>	42.59 <sup>a</sup>	6.17 <sup>b</sup>	10.0 <sup>c</sup>	0.07 <sup>b</sup>	49.86 <sup>bc</sup>	4.54 <sup>c</sup>	0.18 <sup>a</sup>	17.29 <sup>c</sup>
2% HNA	1.53 <sup>a</sup>	464.79 <sup>ba</sup>	4.29 <sup>a</sup>	38.91 <sup>ba</sup>	7.60 <sup>a</sup>	11.0 <sup>b</sup>	0.08 <sup>b</sup>	53.02 <sup>ba</sup>	6.67 <sup>b</sup>	0.31 <sup>a</sup>	32.72 <sup>b</sup>
3% HNA	1.44 <sup>a</sup>	444.99 <sup>b</sup>	4.11 <sup>a</sup>	36.54 <sup>b</sup>	7.94 <sup>a</sup>	11.3 <sup>b</sup>	0.40 <sup>a</sup>	45.41 <sup>c</sup>	8.34 <sup>a</sup>	0.04 <sup>a</sup>	40.19 <sup>a</sup>
<b>Factor B (sexo)</b>											
Macho	1.17 <sup>b</sup>	481.45 <sup>a</sup>	4.55 <sup>a</sup>	40.83 <sup>a</sup>	7.30 <sup>a</sup>	11.2 <sup>a</sup>	0.06 <sup>b</sup>	51.26 <sup>a</sup>	6.11 <sup>a</sup>	0.13 <sup>a</sup>	26.60 <sup>a</sup>
Hembra	1.33 <sup>a</sup>	456.37 <sup>b</sup>	3.99 <sup>b</sup>	38.34 <sup>b</sup>	7.06 <sup>a</sup>	11.7 <sup>a</sup>	0.24 <sup>a</sup>	50.97 <sup>a</sup>	5.96 <sup>a</sup>	0.20 <sup>a</sup>	24.51 <sup>b</sup>
<b>Factor C (pieza)</b>											
PCH	0.43 <sup>b</sup>	237.30 <sup>b</sup>	2.04 <sup>b</sup>	18.98 <sup>b</sup>	6.70 <sup>b</sup>	9.2 <sup>b</sup>	0.02 <sup>b</sup>	40.36 <sup>b</sup>	5.46 <sup>b</sup>	0.01 <sup>b</sup>	26.67 <sup>a</sup>
PM	2.07 <sup>a</sup>	700.53 <sup>a</sup>	6.50 <sup>a</sup>	60.19 <sup>a</sup>	7.65 <sup>a</sup>	13.7 <sup>a</sup>	0.28 <sup>a</sup>	61.86 <sup>a</sup>	6.16 <sup>a</sup>	0.31 <sup>a</sup>	24.44 <sup>b</sup>
<b>Interacciones entre factores</b>											
A x B	0.0047	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.8921	0.0001
A x C	0.0017	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0327	0.0001	0.4635	0.0001
B x C	0.0001	0.0005	0.0646	0.0001	0.998	0.0001	0.0003	0.0001	0.0001	0.7401	0.0001
A x B x C	0.6211	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0034	0.2854	0.9738	0.0001

C18:2 n-6 *trans* (Linoleaidico), C18:2 n-6 *cis* (Linoleico, LA), C18:3 n-6 ( $\gamma$ -linolénico), C18:3 n-3 ( $\alpha$ -linolénico, ALA), C20:2 (*cis*, 11,14-eicosadienoico), C20:3 n-6 (*cis*, 8,11,14-eicosatrienoico), C20:3 n-3 (*cis*, 11,14,17-eicosatrienoico), C20:4 (Araquidónico, AA), C22:5 n-3 (Eicosapentaenoico, EPA), C22:2 (*cis*,13,16-docosadienoico), C22:6 n-3 (Docosahexaenoico, DHA), PM: pierna con muslo, PCH: pechuga, HNA: harina negra del atún.

a,b: por columna, literales diferentes indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre dieta, sexo o pieza.

En el cuadro 12 se muestra el contenido de AGPI encontrados en la carne de pollo. El ácido linoleico (C18:2, n-6, *cis*, LA), el ácido  $\alpha$ -linolénico (C18:3, n-3, ALA), el ácido araquidónico (C20:4, AA) y el ácido docosahexaenoico (C22:6, n-3, DHA) fueron los de mayor concentración. LA y ALA no presentaron diferencias entre dietas ( $p > 0.05$ ). AA disminuyó significativamente ( $p < 0.05$ ) con 1 y 3% de HNA, (49.86 y 45.41 mg/100 g, respectivamente).

Los de menor concentración fueron: ácido linoleaidico (C18:2, n-6, *trans*), ácido *cis*, 11, 14,17-eicosatrienoico (C20:3) y el ácido *cis*, 13,16-docosadienoico (C22:2).

Los ácidos grasos eicosapentaenoico (C22:5, n-3, EPA) y docosahexaenoico (C22:6, n-3, DHA) aumentaron significativamente ( $p < 0.05$ ) a medida que se aumentó la inclusión de HNA. Para el caso de EPA no se observó efecto con 1% de HNA ( $p > 0.05$ ) pero con 2 y 3% se obtuvieron las mayores concentraciones (6.67 y 8.34 mg/100 g, respectivamente). En el caso de DHA la concentración aumentó significativamente de 12.02 a 40.19 mg/100 g ( $p < 0.05$ ).

El ALA en la carne de pollo no presentó efecto significativo ( $p > 0.05$ ) por la incorporación de HNA a las dietas a diferencia de EPA y DHA quienes mostraron incrementos significativos. Este resultado coincide con Chanmugam *et al.*, (1992) quienes mencionan que la concentración de ALA en la carne de pollo tiende a permanecer sin cambios después de la alimentación a pollos de engorda con ácidos grasos omega-3 proveniente de fuentes marinas. Cabe mencionar que ALA presentó ligera disminución pero no fue influenciado por la incorporación de HNA ( $p > 0.05$ ), esto se debe a que este ácido graso es el precursor de EPA y DHA, los cuales se incrementaron significativamente al incrementar la HNA ( $p < 0.05$ ). Los mismos resultados reporta Carrillo *et al.*, (2013) quienes usaron aceite de atún.

La incorporación de HNA a las dietas de pollos de engorda dio como resultado un incremento de EPA, DHA y el total de omega-3, estos resultados coinciden con un estudio realizado por Morales *et al.*, (2013) que usaron aceite de atún en la dieta de los pollos y se observó el mismo comportamiento.

El metabolito más importante de LA es AA. Normalmente AA disminuye cuando aumentan los omega-3, por esta razón, AA disminuyó significativamente cuando se incrementó el contenido la HNA en la dieta, el cual tiene efectos inflamatorios. La reducción de AA explica también la disminución del total de omega-6 (cuadro 9). Estos resultados son consistentes con la teoría de que LA y ALA compiten por la misma serie de enzimas (Betti *et al.*, 2009). La disminución del total de omega-6 y su principal ácido graso (LA) en la carne de pollo se debe a la competencia directa que existe con ALA puesto que se utilizan las mismas enzimas para desaturar y elongar tales ácidos grasos. La afinidad de la  $\Delta 6$ -desaturasa por ambos ácidos grasos es muy distinta, es mucho mayor por ALA que por LA, por lo

tanto, si el aporte nutrimental del ALA es muy alto, se va a dificultar la formación de los derivados de LA.

En el cuerpo, los AGPI omega-6 específicamente LA, se alargan y forman el AA que se incorpora a las células y a las membranas de las células ofreciendo un soporte estructural. También se puede encontrar en órganos vitales como el cerebro, los ojos y los riñones y es parte importante de la señalización celular (Tarka, 2010).

En relación a las recomendaciones nutrimentales de ingesta de ácidos grasos omega-3, la Sociedad Internacional para el Estudio de Ácidos Grasos y Lípidos (ISSFAL) sugiere la cantidad de 0.65 g/día de DHA más 1 g/día de ALA (Simopoulos *et al.*, 1999). Por otra parte, las nuevas recomendaciones de la Sociedad Americana del Corazón (AHA) son:

- Las personas adultas han de consumir pescado al menos dos veces por semana.
- Para pacientes con enfermedad coronaria las recomendaciones de consumo son de 1 g/día de EPA + DHA procedente de aceites de pescado o suplementos.
- Para pacientes con hipertrigliceridemia se recomienda el suplemento de 2 a 4 g/d de EPA + DHA a fin de disminuir en un 20 a 30% los niveles de triglicéridos en plasma (Kris-Etherton *et al.*, 2003).

Otro tipo de recomendaciones se han dado con base en la proporción de ácidos grasos n-6/n-3. Por ejemplo la OMS recomienda una proporción de 10:1.

Los ácidos grasos LA, ALA, AA y DHA también fueron los de mayor cantidad en ambos sexos, pero la mayoría de ellos se depositaron más en los machos que en las hembras.

En cuanto a la pieza la mayoría de los AGPI se depositaron en la pierna con muslo, excepto DHA, que se depositó en la pechuga ( $p < 0.05$ ). González-Esquerri y Leeson (2001) informaron que ALA no se almacena en los fosfolípidos del músculo de la pechuga de pollo, esta es la razón de que ALA también se deposite más en pierna con muslo que en la pechuga (cuadro 12).

El mayor contenido de ALA de la pierna con muslo en comparación con la carne de la pechuga se debe a la mayor cantidad de triglicéridos en el muslo y concuerda con la observación de que ALA se deposita principalmente en los triglicéridos que en los fosfolípidos, cabe mencionar que en la pechuga de pollo existe mayor contenido de fosfolípidos pues son parte fundamental de las membranas celulares, y por esta razón ALA es utilizado principalmente como fuente de energía y no como parte estructural de las membranas celulares (Plourde y Cunnane, 2007).

El AGPI omega-3 predominante en la pechuga fue DHA y en la pierna con muslo fue EPA (cuadro 12). Resultados similares han sido reportados por otros autores que encontraron una mayor deposición de AGPI en la pechuga en comparación con el muslo (Hulan, *et al.*, 1988; López-Ferrer *et al.*, 1999a; González Esquerra y Leeson, 2000; Crespo y Esteve-García, 2001).

En un estudio de Ratnayake *et al.*, (1989) donde se variaron los niveles de inclusión de harina de salmón de 4 a 12%, el muslo y la pechuga depositaron hasta 6% más de DHA. Resultados similares se obtuvieron en nuestro estudio pero solo en la pechuga, quien presentó 9% más de DHA respecto a la pierna con muslo y 12% más de EPA en la pierna con muslo respecto a la pechuga (cuadro 12).

Las diferencias en el perfil de ácidos grasos entre tejidos podrían atribuirse a los diferentes roles que estos tienen en los tejidos o a la diferencia en el contenido de fosfolípidos. Los AGPI se incorporan preferentemente en los fosfolípidos (Hulan *et al.*, 1988) y estos están en una proporción más alta en la pechuga de pollo (Ratnayake *et al.*, 1989). López-Ferrer *et al.*, (2001) ha observado que el contenido de AGPI en los tejidos del pollo depende más de la variación del contenido de ácidos grasos en la dieta, sin embargo, Hrdinka *et al.*, (1996) observaron que existe poca relación entre la dieta y el contenido de AGPI (Cortinas, *et al.*, 2004).

Las concentraciones de fosfolípidos y triglicéridos en la carne difieren significativamente entre varias porciones. La carne de pechuga contiene más fosfolípidos mientras que los triglicéridos predominan en la carne del muslo. De esta forma, los omega-3 se almacenan más fácilmente en fosfolípidos y ALA se almacena principalmente en triglicéridos.



Los omega-6 y los omega-3 fueron mayores en la pierna con muslo respecto a la pechuga, lo mismo se indica en un estudio que se realizó para establecer la distribución de los omega-3 entre los triglicéridos y los fosfolípidos de la carne de la pierna y la pechuga (Betti *et al.*, 2009), que indican que los omega-6 y los omega-3 fueron más altos en los fosfolípidos de la pierna que en los fosfolípidos de la pechuga. Estos resultados podrían estar relacionados con la diferente composición de fibras musculares de la pierna (*biceps femoral musculus*) en comparación con el músculo de la pechuga (pectoral mayor).

Kriketos *et al.*, (1995) informan que existe una mayor concentración de omega-6 y omega-3 en la fibra muscular de tipo I (contracción lenta oxidativo) y la fibra muscular de tipo IIa (contracción rápida oxidativa glucolítica) que en las fibras musculares del tipo IIb (contracción rápida glicolítica). El mayor contenido de AGPI de la pierna con muslo podría explicarse como resultado de una mayor proporción de los tipos de fibras I y IIa en el *biceps femoral musculus* en comparación con el pectoral mayor. La función de las fibras musculares rápidas está relacionada con los movimientos rápidos (atrapamiento, huida), mientras que las fibras lentas están relacionadas más con los movimientos tónicos y posturales, y los movimientos finos como los de los músculos oculares para el acomodo de la visión (Andrade, 2004). Por lo anterior, es ideal que en futuras investigaciones se realice la comparación entre las hembras y los machos para evaluar quien posee más fibras del tipo I y tipo II e inferir en cuál de los dos sexos se depositan más AGn-3.

## 6. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en este estudio indican que la incorporación de la harina negra del atún incrementa el total de ácidos grasos omega-3, EPA y DHA en la carne de pollo.
- A medida que se incrementó la harina negra del atún hasta 3% en las dietas de las aves la concentración del total de omega-3 aumentó de manera significativa 50% más de la concentración inicial en la carne de pollo.
- Los ácidos grasos omega-6 no presentaron efecto significativo por la incorporación de harina de la carne negra del atún en la carne de pollo.
- Los ácidos grasos saturados (AGS) se incrementaron 45% más de la concentración inicial en la carne de pollo cuando se adiciono 3% de harina de atún en la dieta de los pollos.
- Los ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) incrementaron su concentración 18% más de la concentración inicial cuando se adiciono 3% de harina de atún en la dieta de los pollos.
- Los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) no presentaron efecto significativo por la incorporación de la harina de atún en la dieta de los pollos.
- El sexo influyó de manera significativa en la deposición de ácidos grasos omega-3. Los machos depositaron 7% más de ácidos grasos omega-3 respecto a las hembras.
- La pieza influyó de manera significativa en la deposición de ácidos grasos omega-3. La pierna con muslo presentó 79% más ácidos grasos omega-3 que la pechuga.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Ajuyah, A. O., Hardin, R. T. y Sim, J. S. (1993). Studies on canola seed in turkey grower diet: effects on n-3 fatty acid composition of breast meat, breast skin and selected organs. *Can. J. Anim. Sci.* 73, 177-181.
- Ajuyah, A. O., Lee, K. H., Hardin, R. T. y Sim, J. S. (1991). Changes in the yield and in the fatty acid composition of whole carcass and selected meat portions of broiler chickens fed full-fat oil seeds. *Poult. Sci.* 70(11), 2304–2314.
- Akabas S. y Deckelbaum R. (2006). N-3 fatty acids: recommendations for therapeutic and prevention. *Am. J. Clin. Nutr.* 83, 1451-1462.
- Akoh, C. C y Min, B. D. (2002). Food Lipids. Chemistry, Nutrition and Biotechnology. (2a Ed.) New York: Marcel Dekker.
- Andrade, U., (2004). Efecto de la glibenclamida sobre la fatiga en musculo esquelético lento de pollo. (Tesis doctoral). Universidad de Colima, Colima
- Ansorena, D y Astiasaran, I. (2013). Enrichment of meat products with omega-3 fatty acids by methods other than modification of animal diet. En Ch. Jacobsen, N. Skall Nielsen, A. Frisenfeldt Horn y A-D. Moltke Sorensen (Eds). Food Enrichment with Omega-3 Fatty Acids. Cambridge: Woodhead Publishing Limited. Pp. 299-306.
- AOAC. 2000. Association of Official Analytical Chemists. Methods of Analysis. Washington, D.C. USA.
- Aquerreta, Y. (2003) Pescados, en Astasaran, L. y Martínez, J. A.: Alimentos, composición y propiedades. Madrid: McGraw-Hill Interamericana. Pp. 29-52.
- Badui, D. S. (2006). Química de los Alimentos. (4a Ed.) Mexico: Pearson Educación. Pp. 247-250.
- Barker, D. J. P. (2003). Coronary Heart Disease: A Disorder of Growth. *Horm. Res.* 59(1), 35-41.
- Belitz, H-D. y Grosch, W. (2009), *Química de los Alimentos*, Zaragoza, España: Acribia. Pp. 128-131

- Betti, M., Pérez, T. I., Zuidhof, M. J. y Renema, R. A. (2009). Omega-3-enriched broiler meat: 3. Fatty acid distribution between triacylglycerol and phospholipid classes. *Poult. Sci.* 88(8), 1740-1754.
- Calder, P. C. (2013). Nutritional benefits of omega-3 fatty acids. En Ch. Jacobsen, N. Skall Nielsen, A. Frisenfeldt Horn y A-D. Moltke Sorensen (Eds). *Food Enrichment with Omega-3 Fatty Acids*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited. Pp. 4-5.
- Carbajal, A. Hábitos de consumo de carne de pollo y huevos. Calidad nutricional y relación con la salud. En: XLII Symposium Científico de Avicultura. Ponencias. Madrid, España, 2005.
- Carrero, J. J., Martín-Bautista, E., Baró, L., Fonollá, J., Jiménez, J., Boza, J.J. Y López-Huertas, E. (2005). Efectos cardiovasculares de los ácidos grasos Omega-3 y alternativas para incrementar su ingesta. *Nutr. Hosp.* 20(1), 63-69.
- Carrillo, F. L., Dalmau, S.J., Martínez, A. J., Sola, A. R. y Pérez, J. F. (2011). Grasas de la dieta y salud cardiovascular. *Aten. Prim.* 43(3), 157.e1-157.e16.
- Carrillo, D. S., Domínguez, G. L., González, A. M., Castillo, D. R., Prado, R. O. y Morales, B. J. (2013). Adición de ácidos grasos omega tres en la carne de pollo con aceite de atún. *Sociedades Rurales. Producción y Medio Ambiente.* 13(26), 87-98.
- Castaneda, C., Charnley, J. M., Evans, W. J. y Crim, M. C. (1995a). Elderly women accommodate to a low-protein diet with losses of body cell mass, muscle function, and immune response. *Am. J. Clin. Nutr.* 62(1), 30-39.
- Castaneda, C., Dolnikowski, G. G., Dallal, G. E., Evans, W. J. y Crim, M. C., (1995b). Protein turnover and energy metabolism of elderly women fed a low-protein diet. *Am. J. Clin. Nutr.* 62(1), 40-48.
- Chanmugan, P., Boudreau, M., Boutte, T., Park, R. S., Hebert, J. y Hwang, D. H., (1992). Incorporation of different types of n-3 fatty acid into tissue lipids of poultry. *Poult. Sci.* 71(3), 516-521.
- Chesworth, J: M., Stuchbury, T., Scaife, J. R., (1998). *An Introduction to Agricultural Biochemistry*. Chapman and Hall, London, UK.

- Chizzolini, R., Zanardi, E., Dorigoni, V. y Ghidini, S. (1999). Calorific value and cholesterol content of normal and low-fat meat and meat products. *Trends. Food Sci. Technol.* 10(4), 119-128.
- Codony, S. R., Guardiola, I. F. y Bou, N. R. (2011). Informe nutricional. Características nutricionales y saludables de la carne de pollo y pavo. Disponible en <https://100per100salut.files.wordpress.com/2012/11/informe-nutricional-federacio-avicola-def1.pdf>
- Coronado, H. M., Vega y León, S., Gutiérrez, T. R., García, F. B y Díaz, G. G. (2006). Los Ácidos Grasos Omega-3 y Omega-6: Nutrición, Bioquímica y Salud. *REB*, 25(3), 72-79.
- Cortinas, L., Villaverde, C., Galobart, J., Baucells, M. D., Codony, R. Barroeta, A. C. (2004). Fatty Acid Content in Chicken Thigh and Breast as Affected by Dietary Polyunsaturation Level. *Poult. Sci.* 83(7), 1155–1164.
- Crespo, N. y Esteve-Garcia, E. (2001), Dietary fatty acid profile modifies abdominal fat deposition in broiler chickens. *Poult. Sci.* 80(1), 71–78.
- Dansky, L. M. (1962). The growth promoting properties of menhaden fish oil as influenced by various fats. *Poult. Sci.* 41(4), 1352-1354.
- Dorado, M., Martín-Gómez, E. M., Jiménez-Colmenero, F. y Masoud, T. A., (1999). Cholesterol and fat contents of Spanish commercial pork cuts. *Meat Sci*, 51(4), 321-323.
- Edwards, H. M. y May, K. N. (1965). Studies with menhaden fish oil practice-type broiler rations. *Poult. Sci.* 44, 685-689.
- Fennema, O. R., (1993). *Química de los Alimentos*. (3a ed.) Zaragoza: Acribia. Pp. 158-160.
- Folch, J. M., Less, M. y Sloane, S. G. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226(1), 497-509.
- FAO. (1994). Food and Agricultural Organization. Fats and oils in human nutrition: Report of a joint expert consultation. Food and Nutrition Paper N: 57. FAO; Roma, Italia.

- Fry, J. L., Van, W. P., Waldroup, P. W. y Harms, R. H. (1965). Fish meal studies. 2. Effects of level and sources on “fishy flavour” in broiler meat, *Poult. Sci.* 44(4), 1016-1019.
- GBC Group. (2011). Global Biotech Consulting Group. *Red de Genómica, Pesca, y Acuicultura para la Innovación*. [en línea]. Disponible en <http://www.gbcbiotech.com/genomicaypesca/especies/peces/atun.html> [ultimo acceso el 08 de marzo de 2016].
- Gil, H. A. (2010). *Tratado de Nutrición: Bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición*. (2ª Ed.). Madrid: Medica Panamericana. Pp. 305-310
- González-Esquerria, R. y Leeson, S. (2000). Effects of menhaden oil and flaxseed in broiler diets on sensory quality and lipid composition of poultry meat. *Br. Poult. Sci.* 41(4), 481–488.
- González-Esquerria, R. y Leeson, S. (2001), Alternatives for enrichment of eggs and chicken meat with n-3 fatty acid. *Can. Anim. Sci.* 81(3), 295-305.
- Grau de Marín, C. Marvail, H. y Zerpa de Marcano, A. (2007). Utilización de la harina de pescado en la formulación de alimentos para crecimiento y engorde animal. Disponible en [http://www.produccionanimal.com.ar/informacion\\_tecnica/suplementacion\\_proteica\\_y\\_con\\_nitrogeno\\_no\\_proteico/49harina\\_pescado.pdf](http://www.produccionanimal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion_proteica_y_con_nitrogeno_no_proteico/49harina_pescado.pdf)
- Hamilton, R. J. y Hamilton, S. (1992). *Lipid analysis: a practical approach*. Oxford: Irl. Pp. 20-21.
- Hargis, P. S. y Van-Elswyk, M. E. (1993). Manipulating the fatty acid composition of poultry meat and eggs for the health conscious consumer. *Words Poult. Sci. J.* 49(3), 251-264.
- Hearn, T. L., Sgoutas, S. A., Hearn, J. A. y Sgoutas, D. S. (1987). Polyunsaturated fatty acid and fat in fish flesh for selecting species for health benefits. *J. Food Sci.* 52(5), 1209-1211.
- Hemming, F. W. y Hawthorne, J. N. (2001). *Análisis de lípidos*. Zaragoza, España: Acribia. Pp. 5-7,118.

- Howe, P., Downing, J., Grenyer, B., Grigonis-Deane, E. y Bryden, W. (2002). Tuna fishmeal as a source of DHA for n-3 PUFA enrichment of pork, chicken, and eggs. *Lipids*. 37(11), 1067-1076.
- Hrdinka, C., Zollitsch, W., Knaus, W. y Lettner, F. (1996). Effects of dietary fatty acid pattern on melting point and composition of adipose tissues and intramuscular fat of broiler carcasses. *Poult. Sci.* 75(2), 208–215.
- Hulan, H. W., Ackman, R. G., Ratnayake, W. M. N y Proudfoot, F. G. (1988). Omega-3 fatty acid levels and performance of broiler chickens fed redfish meal or redfish oil. *Can. J. Anim. Sci.* 68(2), 533–547.
- Hulan, H. W., Ackman, R. G., Ratnayake, W. M. N. y Proudfoot, F. G. (1989). Omega-3 fatty acid levels and general performance of commercial broilers fed practical levels of redfish meal. *Poult. Sci.* 68(1), 153-162.
- Kriketos, A. D., Pan, D. A., Sutton, J. R., Baur, J. Fcooney, L. A., Jenkins, G. J. y Storlein, L. H. (1995). Relationships between muscle membrane lipids, fiber type and enzyme activities in sedentary and exercised rats. *Am. J. Physiol.*, 269(5), 1154-1162.
- Kris-Etherton, P. M., Harris, W. S., Appel, L. J., (2003). Omega-3 Fatty Acids and Cardiovascular Disease: new recommendations from the American Heart Association. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* 23, e20-e30.
- Kylie, D. (2002) Essential fatty acid as food additives. En A.L. Brenen, P.M. Davidson, S. Salminen, J.H. Thorngate Iii (Eds), *Food additives*. Mercel Deckker: Inc USA. Pp. 277-309.
- Lázzari, G. L. y Paganini, J. L., (1999). Dimorfismo sexual en el crecimiento muscular y óseo en pollos parrilleros de la línea Cobb 500. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 19, 75-79.
- Lopez-Ferrer, S., Baucells, M. D., Barroeta, A. C. y Grashorn, M. A. (1999a), N-3 enrichment of chickenmeat using fish oil: Alternative substitution with rapeseed and linseed oils. *Poult. Sci.* 78, 356–365.
- Lopez-Ferrer, S., Baucells, M. D., Barroeta, A. C. y Grashorn, M. A. (1999b), Influence of vegetable oil sources on quality parameters of broiler meat. *Arch. Geflugelk.* 63, 29–35.

- Lopez-Ferrer, S., Baucells, M. D., Barroeta, A. C. y Grashorn, M. A. (2001), N-3 enrichment of chicken meat. 1. Use of very long-chain fatty acids in chicken diets and their influence on meat quality: Fish oil. *Poult. Sci.* 80, 741–752.
- Manera, M. (2009). Acido esteárico y salud cardiovascular. Eroski Consumer. Recuperado de <http://www.consumer.es/web/es/alimentacion/tendencias/2009/09/17/188013.php>.
- Mataix, J. y Gil. A. (2004). Libro blanco de los omega-3: los ácidos grasos poliinsaturados Omega 3 y monoinsaturados tipo oleico y su papel en la salud. Madrid, España: Medica Panamericana. Pp. 14-18.
- Mendes, A. A., García, E. A. y Inaldo, S. P., (1988). Desempenho e rendimento de carcaças de cinco linhagens comerciais de frango de corte. *Boletim Técnico Bigbirds.* 1, 1-10.
- Molina-Peralta, A. y Mach, N., (2014). Alimentos ricos en ácidos grasos n-3 libres de contaminantes y aptos para vegetarianos, y su importancia en el desarrollo neurológico normal. *Rev. Esp. Nutr. Hum. Diet.* 18(2), 89-99.
- Morales, B. J., González, A. M., Castillo, D. R., Prado, R. O., Hernández, V. X., Menconi, A., Tellez, G., Marshal, H. B. y Carrillo, D. S. (2013). Fatty acid deposition on broiler meat in chickens supplemented with tuna oil. *Food and Nutr. Sci.* 4:16-20.
- Moran, Jr. (1986). Variation in body composition of poultry. *Proceedings of the Nutrition Society.* 45, 101-109.
- Moreiras, O., Carbajal, A., Cabrera, L. y Cuadrado, M., (Eds.), (2005), *Tablas de composición de alimentos.* Madrid, España: Ediciones Pirámide.
- Morrison, W. R. (1977). Cereal Lipids. *Proc. Nutr. Soc.* 36(2), 143-148.
- NRC. (1994). Nutrient Requirements of Poultry. National Research Council. 9ª edition. National Academy Press. Washington, D. C., USA.
- Olomu, J. M. y Baraco, V. E. (1991). Influence of dietary flaxseed oil on the performance, muscle protein deposition and fatty acid composition of broiler chicks. *Poult. Sci.* 70(6), 1403-1411.



- OMS. (2010). Organización Mundial de Salud. *Informe sobre la situación mundial de las enfermedades no transmisibles 2010*. [en línea]. Disponible en [http://www.who.int/nmh/publications/ncd\\_report2010/es/](http://www.who.int/nmh/publications/ncd_report2010/es/) [ultimo acceso el 27 de septiembre de 2016].
- OMS. (2015). Organización Mundial de Salud. *Enfermedades cardiovasculares. Datos y cifras*. [en línea]. Disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/es/> [ultimo acceso el 27 de septiembre de 2016].
- Ordoñez, J. A. y De la Hoz, L. (1999). Carnes, pescados y huevos, en Hernández, M. y Sastre, A., Tratado de Nutrición, Díaz de Santos, Madrid. Pp. 363-375.
- Plourde, M. y Cunnane, S. C. (2007). Extremely limited synthesis of long chain polyunsaturates in adults: Implication for their dietary essentiality and use as supplement. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 32, 619-634.
- Ratnayake, W. M. N., Ackman, R. G. y Hulan, H. W., (1989). Effects of redfish meal enriched diets on the taste and n-3 PUFA of 42-day-old broiler chickens. *J. Sci. Food Agric.* 49(1), 59-74.
- Rondelli, S., Martínez, O. y García, P.T., (2003). Sex effect on productive parameters, carcass and body fat composition of two commercial broilers lines. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 5(3), 169-173.
- Rondelli, S., Martínez, O. y García, P.T., (2004). Effects of different dietary lipids on the fatty acid composition of broiler abdominal fat. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 6(3):171-175.
- Rosas-Peralta, M. y Attie, F. (2007). Enfermedad cardiovascular. Primera causa de muerte en adultos de México y el mundo. *Arch. Cardiol. Mex.* 77(2), 91-93.
- Sandoval Mejía, Ana L. (2011). La harina de calamar (*Dosidicus gigas*) en dietas para pollo de engorda y su enriquecimiento con ácidos grasos omega-3. (Tesis de maestría en ciencias agropecuarias). Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F.

- Sanz, M., Flores, A. y López-Bote, C. J. (1999a). Effect of fatty acid saturation in broiler diets on abdominal fat and breast muscle fatty acid composition and susceptibility to lipid oxidation. *Poult. Sci.* 78, 378-382.
- Sanz, M., Flores, A., Pérez de Ayala, P. y Lopez-Bote, C. J. (1999b), Higher lipid accumulation in broilers fed on saturated fats than in those fed on unsaturated fats. *Br. Poult. Sci.* 40, 95–101.
- Scaife, J. R., Moyo, J., Galbraith, H., Michie, W. y Campbell, B., (1994), Effect of different dietary supplemental fats and oils on the tissue fatty acid composition and growth of female broilers. *Br. Poult. Sci.* 35, 107-118.
- SIAP. (2013). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. *Sinaloa líder en la producción de camarón y atún*. [en línea]. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/produccion-camaron-atun/> [ultimo acceso el 22 de agosto de 2016].
- Simopoulos, A. P., Leaf, A. y Salem, N. Jr. (1999). Essentiality of and recommended dietary intakes for omega-6 and omega-3 fatty acids. *Am Nutr Metab*, 43(2), 127-130.
- Simopoulos, A. P., (2000). Human Requirement for N-3 Polyunsaturated Fatty Acids. Symposium: Role of poultry products in enriching the human diet with n-3 PUFA. *Poultry Science*, 79(7), 961-970.
- Snapir, N., Robinzon B. y Shalita B. (1983). The involvement of gonads and gonadal steroids in the regulation of food intake, body weight and adiposity in the White Leghorn cock. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 19, 617–624.
- Tarka, M. *Hoja de datos sobre ácidos grasos omega 6 y salud de la Fundación del Consejo Internacional de Información Alimentaria*, [en línea], septiembre 30 2010, [fecha de consulta: 25 de marzo de 2016]. Disponible en <http://www.foodinsight.org/articles/hoja-de-datos-sobre-acidos-grasos-omega-6-y-salud-de-la-fundacion-del-consejo-internacional>.
- UNA. (2015). Unión Nacional de Avicultores. Compendio de indicadores económicos del sector avícola 2015. Dirección de Estudios Económicos.

- Valenzuela, A., (2009). Docosahexaenoic acid (DHA), an essential fatty acid for the proper development of the brain and visual function. *Grasas y aceites*, 60, 203-212.
- Valenzuela, B. R., Tapia, O. G., González, E. M. y Valenzuela, B. A. (2011). Ácidos grasos omega-3 (EPA Y DHA) y su aplicación en diversas situaciones clínicas. *Rev. Chil. Nutr.* 38(3), 356-367.
- Valenzuela, B. A. y Uauy, D. R. (2010). Funciones y metabolismo de los ácidos grasos esenciales y de sus derivados activos. En F. Sánchez de Medina (Coord.). *Tratado de Nutrición. Bases Fisiológicas y Bioquímicas de la Nutrición*. Madrid: Medica Panamericana. Pp. 305-318.
- Valenzuela, A. y Valenzuela, R. (2014). Ácidos grasos omega-3 en la nutrición, ¿Cómo aportarlos? *Rev. Chil. Nutr.* 41(2), 205-211.
- Van, B. R., (1997). Fishmeal in pig diets- The effect on pork and pork product quality. *Pig Industry News* (July). Pp. 21-23.
- Vázquez, V. (2003). Comportamiento productivo y calidad de huevo de gallinas alimentadas con aceite de atún en sustitución de aceite crudo de soya. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México. Pp. 36
- Villarino, A. L., Moreno, P. y Ortuño, I. (2005). Valor Nutritivo del Pescado. En J. A., Pinto (ed). *Nutrición y Salud. El pescado en la dieta*. España: Nueva Imprenta. Pp. 51-62.
- Woods, B. V. y Fearon, M. A., "Dietary sources of unsaturated fatty acids for animals and their transfer into meat, milk and eggs: A review." *Livestock Science*, Vol. 126, No. 1-3, 2009, pp.1-20. [doi:10.1016/j.livsci.2009.07.002](https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.07.002)
- Yau, J. C., Denton, J. H. Bailey, C. A. y Sams, A. R. (1991). Customizing the fatty acid content of broilers tissues. *Poult Sci.* 70(1), 167-172.
- Zollitsch, W., Knaus, W., Aichinger, F. y Lettner, F. (1997). Effects of different dietary fat sources on performance and carcass characteristics of broilers. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 66, 63-73.

## APÉNDICE I

### Fundamento de la técnica de extracción de lípidos y derivatización de los lípidos a ácidos grasos.

#### a. Extracción de lípidos totales. Método de Folch (1957)

Fundamento: con el fin de extraer los lípidos de los tejidos, es necesario el uso de disolventes que no solo disuelvan los lípidos fácilmente sino que también puedan romper las interacciones entre los lípidos y la matriz del tejido. Folch demostró que la forma más efectiva de extraer lípidos de tejidos era mediante una mezcla de disolvente polar y no polar. Los lípidos no polares, como los triglicéridos se presentan en tejidos unidos a otros lípidos o a las regiones hidrofóbicas de proteínas por enlaces relativamente débiles de Van der Waals o hidrofóbicos. Los lípidos más polares, como los fosfolípidos, pueden estar unidos a proteínas por puentes de hidrogeno y asociaciones electrostáticas, así como por interacciones hidrófobas. Los lípidos pueden ser extraídos por solventes relativamente no polares como hexano, cloroformo o benceno. Es necesario el uso de cloroformo: metanol para extraer fosfolípidos. Los lípidos asociados a la membrana y las lipoproteínas requieren de solventes polares como el metanol o etanol para romper los enlaces de puentes de hidrogeno entre el lípido y la proteína. Muchas moléculas lipídicas como los AGPI, contienen dobles enlaces sensibles a la oxidación. Es aconsejable saturar los disolventes que se van a utilizar con nitrógeno y/o de ser posible, realizar la extracción en atmosfera de nitrógeno (Hamilton y Hamilton, 1992; Hemming y Hawthorne, 2001).

Material: tubos de ensayo con tapa de rosca, embudos de vidrio, papel filtro Whatman N° 41, pipetas Pasteur, bulbos para pipetas.

Reactivos: Cloroformo RA ( $\text{CHCl}_3$ ), Etanol RA ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ) y Sulfato de Sodio Anhídrico ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).

Equipo: Balanza analítica, vortex, agitador mecánico, centrifuga, Baño María (BM), tanque de nitrógeno.

## **b. Derivatización de los ácidos grasos a ésteres metílicos (FAME).**

### **Método 969.33 de la AOAC (2000)**

Fundamento: Una vez extraídos los lípidos se saponifican para liberar los ácidos grasos y a continuación formar los ésteres metílicos de bajo peso molecular que se separaran mediante cromatografía de gases. Los triglicéridos y fosfolípidos son saponificados y los ácidos grasos son liberados y esterificados en presencia de  $\text{BF}_3$ . Los ácidos grasos que se encuentran en forma de triglicéridos son metilados mediante una reacción de transesterificación con hidróxido de sodio metanólico. Una hidrolisis alcalina suave elimina los ácidos grasos de los diacilfosfolípidos. También los fosfoesfingolípidos resisten el tratamiento alcalino suave, esta característica permite aislarlos de muestras de tejido (Hemming y Hawthorne, 2001). En estas condiciones se puede proceder a la formación de los ésteres metílicos añadiendo  $\text{BF}_3$  en metanol que actúa como un ácido de Lewis, en forma de un complejo de coordinación, potente catalizador para la esterificación de los ácidos grasos. La esterificación de ácidos grasos libres está completa en dos minutos con 12 a 14% en metanol.

Material: tubos de ensayo, pipetas Pasteur, viales de inyección, pipeta automática, puntas para pipeta automática.

Reactivos: hexano ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ ) RA, ácido miristoleico ( $\text{C}_{14}:1$ , 1 mg/mL), hidróxido de sodio metanólico ( $\text{NaOH}/\text{MeOH}$ ) 2%, trifluoruro de boro ( $\text{BF}_3$ ), heptano RA ( $\text{C}_7\text{H}_{16}$ ), solución saturada de cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ), hexano ( $\text{C}_6\text{H}_{14}$ ) HPLC.

Equipo: vortex, Baño María (BM), centrifuga.

## APÉNDICE II

### Perfil de ácidos grasos en la carne de pollo

#### a. Ácidos grasos totales

Cuadro 13. Contenido de los ácidos grasos totales y lípidos totales en la carne de pollo entre tratamiento, sexo y pieza (mg/100 g)

Ácido graso	0% HNA				1% HNA				2 % HNA				3% HNA			
	MACHO		HEMBRA		MACHO		HEMBRA		MACHO		HEMBRA		MACHO		HEMBRA	
	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM
AGS	541.3 <sup>ed</sup>	1310.2 <sup>ba</sup>	463.6 <sup>e</sup>	368.7 <sup>e</sup>	383 <sup>e</sup>	1175 <sup>bc</sup>	503.5 <sup>ed</sup>	1311 <sup>bac</sup>	533 <sup>ed</sup>	1167.3 <sup>c</sup>	467.9 <sup>e</sup>	1288 <sup>bac</sup>	688.0 <sup>d</sup>	1375 <sup>ba</sup>	418.1 <sup>e</sup>	1428 <sup>a</sup>
AGMI	653 <sup>def</sup>	1816.2 <sup>ba</sup>	500.3 <sup>ef</sup>	1156 <sup>c</sup>	374.1 <sup>f</sup>	1516.4 <sup>b</sup>	588 <sup>def</sup>	1758.7 <sup>ba</sup>	699 <sup>de</sup>	1827 <sup>ba</sup>	551 <sup>ef</sup>	1839.4 <sup>a</sup>	871 <sup>dc</sup>	1676 <sup>ba</sup>	478 <sup>ef</sup>	1836 <sup>a</sup>
AGPI	347.4 <sup>ef</sup>	1003.2 <sup>b</sup>	324.0 <sup>ef</sup>	764.8 <sup>c</sup>	264.2 <sup>f</sup>	771.2 <sup>c</sup>	304.1 <sup>f</sup>	1185.0 <sup>a</sup>	462 <sup>ed</sup>	837.1 <sup>c</sup>	319.8 <sup>f</sup>	864.9 <sup>cb</sup>	507.3 <sup>d</sup>	852.6 <sup>c</sup>	248.6 <sup>f</sup>	794.4 <sup>c</sup>
n-6	253.4 <sup>ed</sup>	842.2 <sup>b</sup>	243 <sup>ed</sup>	620.3 <sup>c</sup>	180 <sup>e</sup>	628.3 <sup>c</sup>	228.0 <sup>e</sup>	1005.2 <sup>a</sup>	350.4 <sup>d</sup>	684.6 <sup>c</sup>	220.2 <sup>e</sup>	671.4 <sup>c</sup>	355.0 <sup>d</sup>	692.9 <sup>c</sup>	162.0 <sup>e</sup>	637.5 <sup>c</sup>
n-3	45.7 <sup>kji</sup>	84.4 <sup>dec</sup>	31.7 <sup>k</sup>	66.1 <sup>fg</sup>	37.0 <sup>kj</sup>	79.1 <sup>fe</sup>	35.1 <sup>k</sup>	106.7 <sup>ba</sup>	63.3 <sup>hg</sup>	88.8 <sup>dec</sup>	52.1 <sup>hgi</sup>	109.4 <sup>a</sup>	93.9 <sup>bdc</sup>	96.6 <sup>bdac</sup>	50.3 <sup>hji</sup>	101 <sup>bac</sup>
n-6/n-3	5.6 <sup>ed</sup>	10.1 <sup>a</sup>	7.7 <sup>b</sup>	9.3 <sup>a</sup>	4.9 <sup>ef</sup>	7.9 <sup>b</sup>	6.5 <sup>cd</sup>	9.4 <sup>a</sup>	5.5 <sup>ed</sup>	7.7 <sup>b</sup>	4.2 <sup>gh</sup>	6.1 <sup>cd</sup>	3.8 <sup>gf</sup>	7.2 <sup>cb</sup>	3.3 <sup>g</sup>	6.3 <sup>cd</sup>
% LT	4.1 <sup>d</sup>	5.9 <sup>b</sup>	3.8 <sup>ed</sup>	5.0 <sup>c</sup>	3.1 <sup>f</sup>	6.1 <sup>ba</sup>	3.9 <sup>d</sup>	6.6 <sup>a</sup>	3.8 <sup>d</sup>	5.7 <sup>b</sup>	3.7 <sup>ed</sup>	5.7 <sup>b</sup>	4.0 <sup>d</sup>	5.9 <sup>b</sup>	3.2 <sup>ef</sup>	5.9 <sup>b</sup>

AGS: ácidos grasos saturados, AGMI: ácidos grasos monoinsaturados, AGPI: ácidos grasos poliinsaturados, n-6: ácidos grasos omega-6, n-3: ácidos grasos omega-3, n-6/n-3: relación omega-6:omega-3, %LT: lípidos totales, PCH: pechuga, PM: pierna con muslo, HNA: harina negra del atún.

a,b,c,d,e,f,g: por renglón, literales diferentes indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre tratamiento, sexo o pieza.

**b. Ácidos grasos saturados (AGS)**

*Cuadro 14. Contenido de AGS en la carne de pollo entre tratamiento, sexo y pieza (mg/100 g)*

Ácido graso	0% HNA				1% HNA				2% HNA				3% HNA			
	MACHO		HEMBRA		MACHO		HEMBRA		MACHO		HEMBRA		MACHO		HEMBRA	
	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM
C14:0	7.3 <sup>ef</sup>	17.3 <sup>bc</sup>	4.3 <sup>f</sup>	13.2 <sup>d</sup>	5.7 <sup>ef</sup>	16.2 <sup>c</sup>	6.9 <sup>ef</sup>	20.9 <sup>a</sup>	7.5 <sup>e</sup>	16.5 <sup>c</sup>	5.4 <sup>ef</sup>	16.3 <sup>c</sup>	7.5 <sup>e</sup>	17.2 <sup>bc</sup>	5.7 <sup>ef</sup>	19.8 <sup>ba</sup>
C15:0	1.3 <sup>ef</sup>	1.5 <sup>ef</sup>	0.5 <sup>g</sup>	13.1 <sup>a</sup>	0.9 <sup>gf</sup>	2.4 <sup>cd</sup>	1.2 <sup>gf</sup>	3.0 <sup>cb</sup>	1.5 <sup>ef</sup>	2.9 <sup>cb</sup>	1.1 <sup>gf</sup>	2.9 <sup>cb</sup>	1.9 <sup>ed</sup>	3.3 <sup>b</sup>	1.0 <sup>gf</sup>	3.4 <sup>b</sup>
C16:0	385 <sup>ed</sup>	986.0 <sup>bac</sup>	322.7 <sup>e</sup>	12.3 <sup>f</sup>	282.9 <sup>e</sup>	909.5 <sup>bc</sup>	365.0 <sup>ed</sup>	979.0 <sup>bac</sup>	399.7 <sup>ed</sup>	897.2 <sup>c</sup>	343.6 <sup>ed</sup>	982.6 <sup>bac</sup>	493.7 <sup>d</sup>	1063.5 <sup>ba</sup>	287.8 <sup>e</sup>	1094.6 <sup>a</sup>
C17:0	2.0 <sup>g</sup>	4.8 <sup>de</sup>	1.7 <sup>g</sup>	12.7 <sup>a</sup>	1.3 <sup>g</sup>	5.7 <sup>cd</sup>	2.4 <sup>gf</sup>	6.7 <sup>cb</sup>	3.4 <sup>f</sup>	4.9 <sup>ed</sup>	1.5 <sup>g</sup>	6.2 <sup>cb</sup>	4.5 <sup>e</sup>	6.9 <sup>b</sup>	1.9 <sup>g</sup>	6.4 <sup>cb</sup>
C18:0	139.8 <sup>dc</sup>	293.2 <sup>a</sup>	130.7 <sup>dc</sup>	308.7 <sup>a</sup>	92.0 <sup>d</sup>	233.1 <sup>b</sup>	124.6 <sup>dc</sup>	291.7 <sup>a</sup>	116.4 <sup>d</sup>	235.7 <sup>b</sup>	111.8 <sup>d</sup>	272.3 <sup>ba</sup>	173.4 <sup>c</sup>	276.6 <sup>ba</sup>	108.5 <sup>d</sup>	295.0 <sup>a</sup>
C20:0	3.1 <sup>cb</sup>	3.4 <sup>cb</sup>	1.3 <sup>cb</sup>	4.2 <sup>cb</sup>	0.3 <sup>c</sup>	5.3 <sup>b</sup>	1.6 <sup>cb</sup>	3.8 <sup>cb</sup>	2.1 <sup>cb</sup>	5.2 <sup>b</sup>	2.9 <sup>cb</sup>	3.9 <sup>cb</sup>	1.8 <sup>cb</sup>	3.8 <sup>cb</sup>	11.6 <sup>a</sup>	4.8 <sup>b</sup>
C21:0	1.6 <sup>a</sup>	1.3 <sup>ba</sup>	1.2 <sup>ba</sup>	1.2 <sup>ba</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.9 <sup>ba</sup>	0.3 <sup>ba</sup>	1.6 <sup>a</sup>	0.5 <sup>ba</sup>	1.4 <sup>ba</sup>	0.6 <sup>ba</sup>	0.7 <sup>ba</sup>	1.3 <sup>ba</sup>	1.5 <sup>ba</sup>	0.3 <sup>ba</sup>	1.2 <sup>ba</sup>
C22:0	0.7 <sup>de</sup>	1.1 <sup>bdec</sup>	0.9 <sup>dec</sup>	2.0 <sup>bac</sup>	0.0 <sup>e</sup>	1.1 <sup>bdec</sup>	1.1 <sup>bdec</sup>	2.4 <sup>a</sup>	1.5 <sup>bdac</sup>	1.5 <sup>bdac</sup>	0.6 <sup>de</sup>	1.9 <sup>bac</sup>	2.2 <sup>ba</sup>	1.4 <sup>bdac</sup>	1.1 <sup>bdec</sup>	1.4 <sup>bdac</sup>
C23:0	0.3 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	0.2 <sup>a</sup>	1.2 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	0.3 <sup>a</sup>	1.4 <sup>a</sup>	0.2 <sup>a</sup>	1.6 <sup>a</sup>	0.1 <sup>a</sup>	0.3 <sup>a</sup>	1.1 <sup>a</sup>	0.8 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.9 <sup>a</sup>
C24:0	0.0 <sup>a</sup>	0.9 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.6 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.4 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.1 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>

C14:0 (Mirístico), C15:0 (Pentadecanoico), C16:0 (Palmítico), C17:0 (Heptadecanoico), C18:0 (Esteárico), C20:0 (Araquídico), C21:0 (Heneicosanoico), C22:0 (Behénico),

C23:0 (Tricosanoico), C24:0 (Lignocérico), PCH: pechuga, PM: pierna con muslo, HNA: harina negra del atún.

a,b,c,d,e,f,g: por renglón, literales diferentes indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre tratamiento, sexo o pieza.

### c. Ácidos grasos monoinsaturados (AGMI)

Cuadro 15. Contenido de AGMI en la carne de pollo entre tratamiento, sexo y pieza (mg/100 g)

Ácido graso	0% HNA				1% HNA				2% HNA				3% HNA			
	MACHO		HEMBRA		MACHO		HEMBRA		MACHO		HEMBRA		MACHO		HEMBRA	
	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM
C15:1	0.8 <sup>a</sup>	3.01 <sup>a</sup>	0.7 <sup>a</sup>	13.9 <sup>a</sup>	6.8 <sup>a</sup>	11.1 <sup>a</sup>	2.2 <sup>a</sup>	4.7 <sup>a</sup>	12.0 <sup>a</sup>	3.3 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	1.4 <sup>a</sup>	8.3 <sup>a</sup>	3.8 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	7.9 <sup>a</sup>
C16:1	83.5 <sup>cbd</sup>	258.1 <sup>a</sup>	45.5 <sup>ed</sup>	13.3 <sup>e</sup>	52.9 <sup>ed</sup>	262.0 <sup>a</sup>	71.1 <sup>cbd</sup>	253.6 <sup>a</sup>	109.7 <sup>b</sup>	268.1 <sup>a</sup>	62.5 <sup>cd</sup>	275.8 <sup>a</sup>	103.2 <sup>cb</sup>	253.5 <sup>a</sup>	49.7 <sup>ed</sup>	255.8 <sup>a</sup>
C17:1	0.9 <sup>gfh</sup>	2.53 <sup>ed</sup>	0.0 <sup>h</sup>	13.6 <sup>a</sup>	0.1 <sup>gh</sup>	2.7 <sup>d</sup>	0.8 <sup>gfh</sup>	3.2 <sup>cd</sup>	1.1 <sup>gf</sup>	2.5 <sup>ed</sup>	0.2 <sup>gh</sup>	4.1 <sup>cb</sup>	1.5 <sup>ef</sup>	3.8 <sup>cb</sup>	1.6 <sup>ef</sup>	4.4 <sup>b</sup>
C18:1 n-9 <i>t</i>	3.6 <sup>ba</sup>	3.3 <sup>bac</sup>	2.5 <sup>bdc</sup>	3.6 <sup>ba</sup>	1.8 <sup>d</sup>	3.4 <sup>ba</sup>	2.1 <sup>dc</sup>	3.3 <sup>bac</sup>	3.6 <sup>ba</sup>	3.6 <sup>ba</sup>	3.5 <sup>ba</sup>	4.2 <sup>a</sup>	3.5 <sup>ba</sup>	4.1 <sup>a</sup>	2.9 <sup>bdac</sup>	2.5 <sup>bdc</sup>
C18:1 n-9 <i>c</i>	559.6 <sup>ed</sup>	1533.8 <sup>a</sup>	447.7 <sup>e</sup>	1099.6 <sup>c</sup>	309.7 <sup>e</sup>	1226.6 <sup>bc</sup>	506.4 <sup>ed</sup>	1481.0 <sup>ba</sup>	564.8 <sup>ed</sup>	1540.4 <sup>a</sup>	478.9 <sup>ed</sup>	1540.2 <sup>a</sup>	747.5 <sup>d</sup>	1398.7 <sup>ba</sup>	419.6 <sup>e</sup>	1552.1 <sup>a</sup>
C20:1	4.25 <sup>hg</sup>	13.9 <sup>a</sup>	3.9 <sup>hg</sup>	10.4 <sup>bc</sup>	2.6 <sup>h</sup>	9.5 <sup>dc</sup>	5.5 <sup>egf</sup>	11.5 <sup>bac</sup>	7.5 <sup>ed</sup>	7.9 <sup>d</sup>	5.1 <sup>gf</sup>	13.6 <sup>a</sup>	7.4 <sup>edf</sup>	12.2 <sup>ba</sup>	3.3 <sup>hg</sup>	12.5 <sup>ba</sup>
C22:1 n-9	0.15 <sup>a</sup>	1.3 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	1.1 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	1.1 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.9 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	1.3 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.2 <sup>a</sup>	0.2 <sup>a</sup>	0.8 <sup>a</sup>	0.3 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>
C24:1 n-9	0.00 <sup>b</sup>	0.1 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.3 <sup>ba</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.7 <sup>a</sup>

C15:1 (Cis, 10-pentadecanoico), C16:1 (Palmitoleico), C17:1 (Cis, 10-heptadecanoico), C18:1 n-9 *trans* (Elaidico), C18:1 n-9 *cis* (Oleico), C20:1 (Eicosenoico), C22:1 n-9 (Erúcico), C24:1 n-9 (Nervónico), PCH: pechuga, PM: pierna con muslo, HNA: harina negra del atún.

a,b,c,d,e,f,g: por renglón, literales diferentes indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre tratamiento, sexo o pieza.



#### d. Ácidos grasos poliinsaturados (AGPI)

Cuadro 16. Contenido de AGPI en la carne de pollo entre tratamiento, sexo y pieza (mg/100 g)

Ácido graso	0% HNA				1% HNA				2% HNA				3% HNA			
	MACHO		HEMBRA		MACHO		HEMBRA		MACHO		HEMBRA		MACHO		HEMBRA	
	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM	PCH	PM
C18:2 n-6 <i>t</i>	0.0 <sup>g</sup>	1.7 <sup>dc</sup>	0.0 <sup>g</sup>	2.2 <sup>bac</sup>	0.3 <sup>gf</sup>	1.8 <sup>bc</sup>	0.0 <sup>g</sup>	2.1 <sup>bac</sup>	1.0 <sup>edf</sup>	2.2 <sup>bac</sup>	0.4 <sup>gf</sup>	2.4 <sup>ba</sup>	0.8 <sup>ef</sup>	1.5 <sup>edc</sup>	0.9 <sup>ef</sup>	2.5 <sup>a</sup>
C18:2 n-6 <i>c</i>	240.3 <sup>ed</sup>	816.5 <sup>b</sup>	228.6 <sup>ed</sup>	598.2 <sup>c</sup>	172.6 <sup>e</sup>	609.8 <sup>c</sup>	219.0 <sup>ed</sup>	978.5 <sup>a</sup>	336.7 <sup>d</sup>	665.5 <sup>c</sup>	210.0 <sup>e</sup>	646.9 <sup>c</sup>	337.2 <sup>d</sup>	673.0 <sup>c</sup>	154.0 <sup>e</sup>	615.8 <sup>c</sup>
C18:3 n-6	1.9 <sup>ef</sup>	7.9 <sup>ba</sup>	2.0 <sup>ef</sup>	5.2 <sup>c</sup>	1.6 <sup>f</sup>	5.6 <sup>c</sup>	1.9 <sup>ef</sup>	8.5 <sup>a</sup>	2.9 <sup>ed</sup>	7.2 <sup>b</sup>	1.3 <sup>f</sup>	5.7 <sup>c</sup>	3.3 <sup>d</sup>	6.0 <sup>c</sup>	1.4 <sup>f</sup>	5.8 <sup>c</sup>
C18:3 n-3	17.9 <sup>ef</sup>	73.7 <sup>a</sup>	17.2 <sup>ef</sup>	52.4 <sup>cb</sup>	14.4 <sup>f</sup>	58.2 <sup>cb</sup>	17.5 <sup>ef</sup>	8.2 <sup>a</sup>	27.4 <sup>ed</sup>	54.0 <sup>cb</sup>	12.7 <sup>f</sup>	61.6 <sup>b</sup>	30.5 <sup>d</sup>	50.5 <sup>c</sup>	14.3 <sup>f</sup>	50.8 <sup>cb</sup>
C20:2	6.4 <sup>fdec</sup>	6.6 <sup>fdec</sup>	6.4 <sup>fdec</sup>	8.6 <sup>bdac</sup>	4.9 <sup>fde</sup>	6.3 <sup>fdec</sup>	3.7 <sup>f</sup>	9.7 <sup>bac</sup>	7.8 <sup>bddec</sup>	11.7 <sup>ba</sup>	4.2 <sup>fe</sup>	6.7 <sup>fdec</sup>	8.2 <sup>bdc</sup>	6.5 <sup>fdec</sup>	12.0 <sup>a</sup>	5.0 <sup>fde</sup>
C20:3 n-6	11.2 <sup>fde</sup>	15.9 <sup>ba</sup>	11.9 <sup>de</sup>	14.8 <sup>bac</sup>	5.7 <sup>h</sup>	11.1 <sup>fde</sup>	7.1 <sup>hg</sup>	16.0 <sup>ba</sup>	9.9 <sup>feg</sup>	9.7 <sup>feg</sup>	8.4 <sup>fhg</sup>	16.3 <sup>a</sup>	13.7 <sup>bdac</sup>	12.4 <sup>dec</sup>	5.8 <sup>h</sup>	13.3 <sup>bdc</sup>
C20:3 n-3	0.2 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.3 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.3 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	1.6 <sup>a</sup>
C20:4	42.0 <sup>gf</sup>	70.1 <sup>ba</sup>	43.3 <sup>gf</sup>	69.3 <sup>bac</sup>	42.1 <sup>gf</sup>	57.2 <sup>edc</sup>	37.2 <sup>g</sup>	63.0 <sup>bdc</sup>	40.7 <sup>gf</sup>	51.3 <sup>edf</sup>	43.3 <sup>gf</sup>	76.8 <sup>a</sup>	50.2 <sup>ef</sup>	56.5 <sup>ed</sup>	24.2 <sup>h</sup>	50.7 <sup>edf</sup>
C22:5 n-3	5.9 <sup>dc</sup>	3.7 <sup>f</sup>	4.1 <sup>dfe</sup>	4.6 <sup>dfe</sup>	3.9 <sup>fe</sup>	4.4 <sup>dfe</sup>	3.0 <sup>f</sup>	6.8 <sup>bc</sup>	5.8 <sup>dc</sup>	6.6 <sup>c</sup>	5.7 <sup>dce</sup>	8.6 <sup>ba</sup>	9.5 <sup>a</sup>	9.0 <sup>a</sup>	5.7 <sup>dce</sup>	9.1 <sup>a</sup>
C22:2	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.1 <sup>a</sup>	0.4 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.4 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.4 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.6 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.6 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.0 <sup>a</sup>	0.2 <sup>a</sup>
C22:6 n-3	21.7 <sup>fe</sup>	6.9 <sup>j</sup>	10.3 <sup>ijh</sup>	9.1 <sup>ij</sup>	18.7 <sup>fg</sup>	16.2 <sup>fgh</sup>	14.6 <sup>gh</sup>	19.7 <sup>fg</sup>	30.1 <sup>cd</sup>	28.2 <sup>ed</sup>	33.7 <sup>cbd</sup>	38.8 <sup>b</sup>	53.9 <sup>a</sup>	37.1 <sup>cb</sup>	30.3 <sup>cd</sup>	39.5 <sup>b</sup>

C18:2 n-6 *trans* (Linoleaidico), C18:2 n-6 *cis* (Linoleico), C18:3 n-6 ( $\gamma$ -linolénico), C18:3 n-3 ( $\alpha$ -linolénico), C20:2 (cis, 11,14-eicosadienoico), C20:3 n-6 (cis, 8,11,14-eicosatrienoico), C20:3 n-3 (cis, 11,14,17-eicosatrienoico), C20:4 n-6 (Araquidónico), C22:5 n-3 (Eicosapentaenoico, EPA), C22:2 (cis,13,16-docosadienoico), C22:6 n-3 (Docosahexadienoico, DHA).

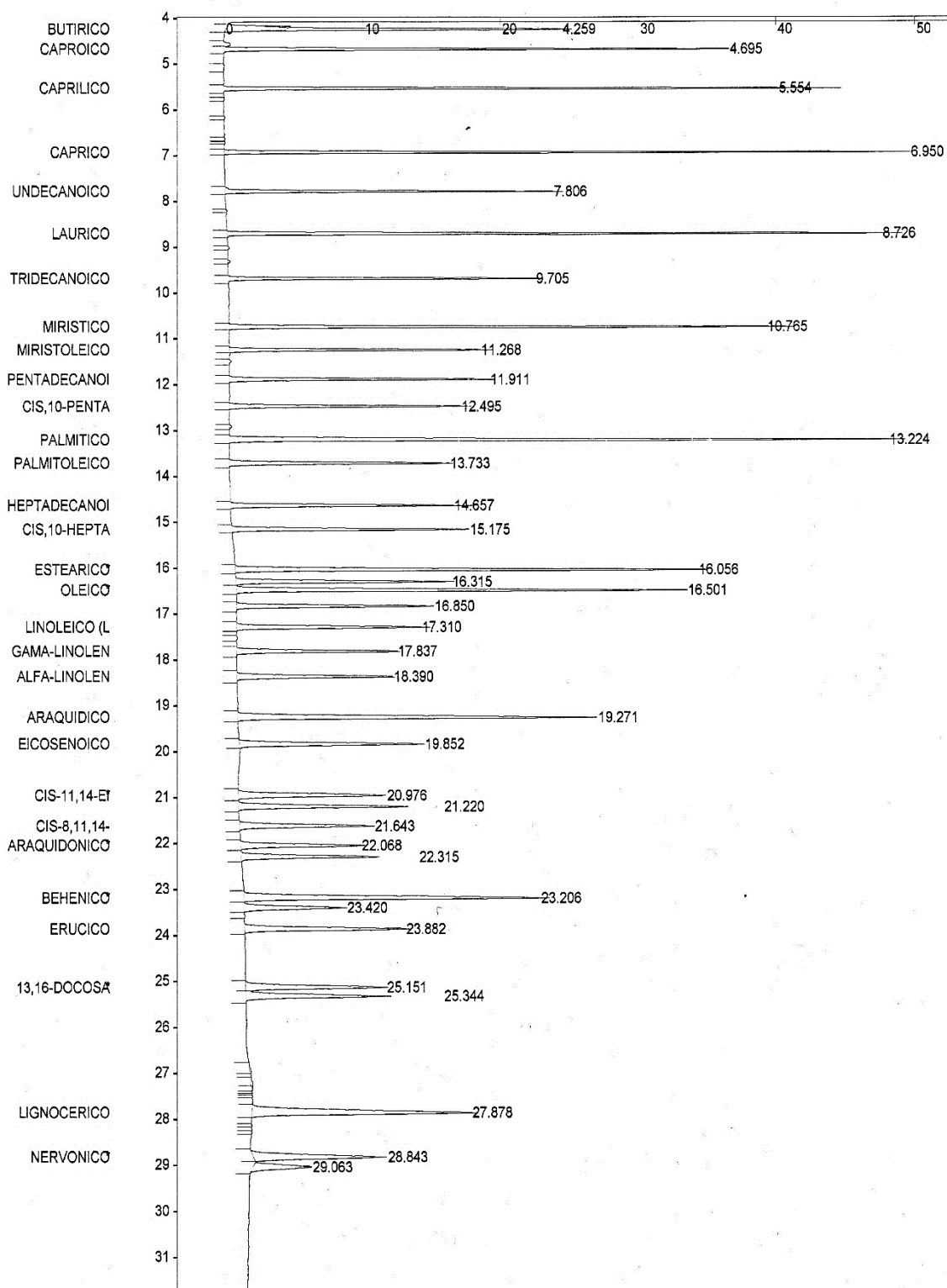
PCH: pechuga, PM: pierna con muslo, HNA: harina negra del atún.

a,b,c,d,e,f,g: por renglón, literales diferentes indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre tratamiento, sexo o pieza.

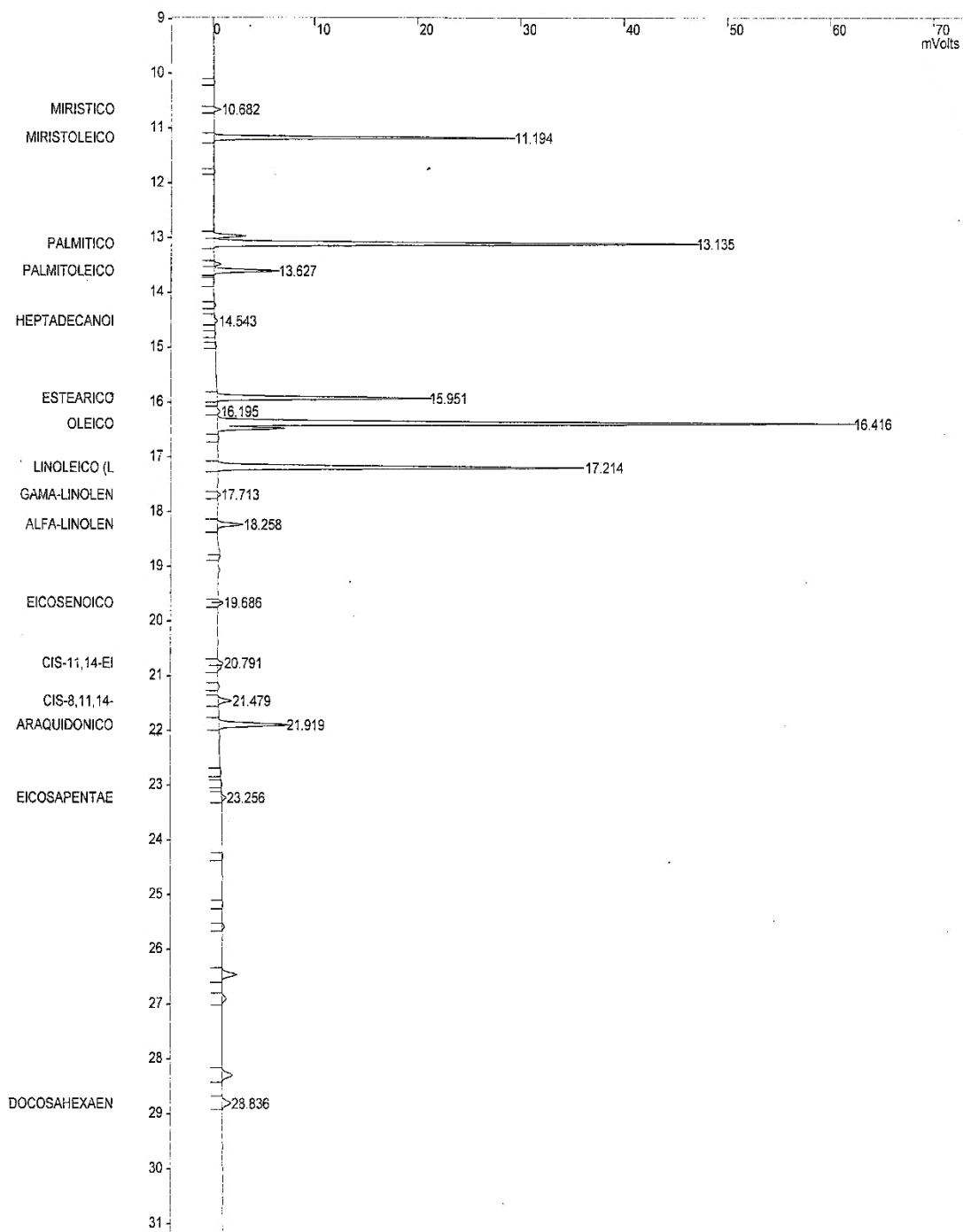
## **APÉNDICE III**

**Cromatogramas del estándar de ácidos grasos y de las muestras de carne de pollo**

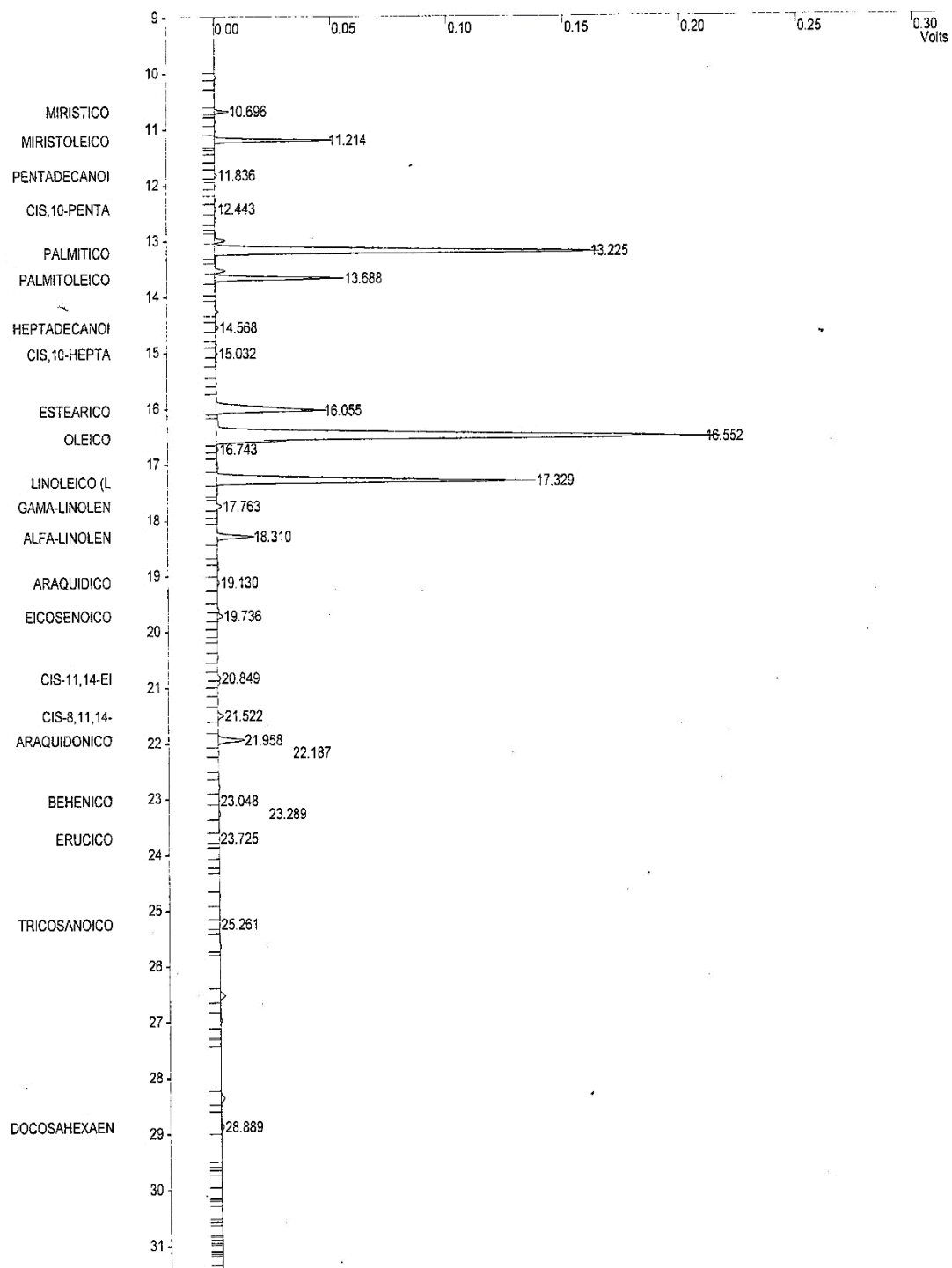
## a. Cromatograma del estándar de los ésteres metílicos de los ácidos grasos



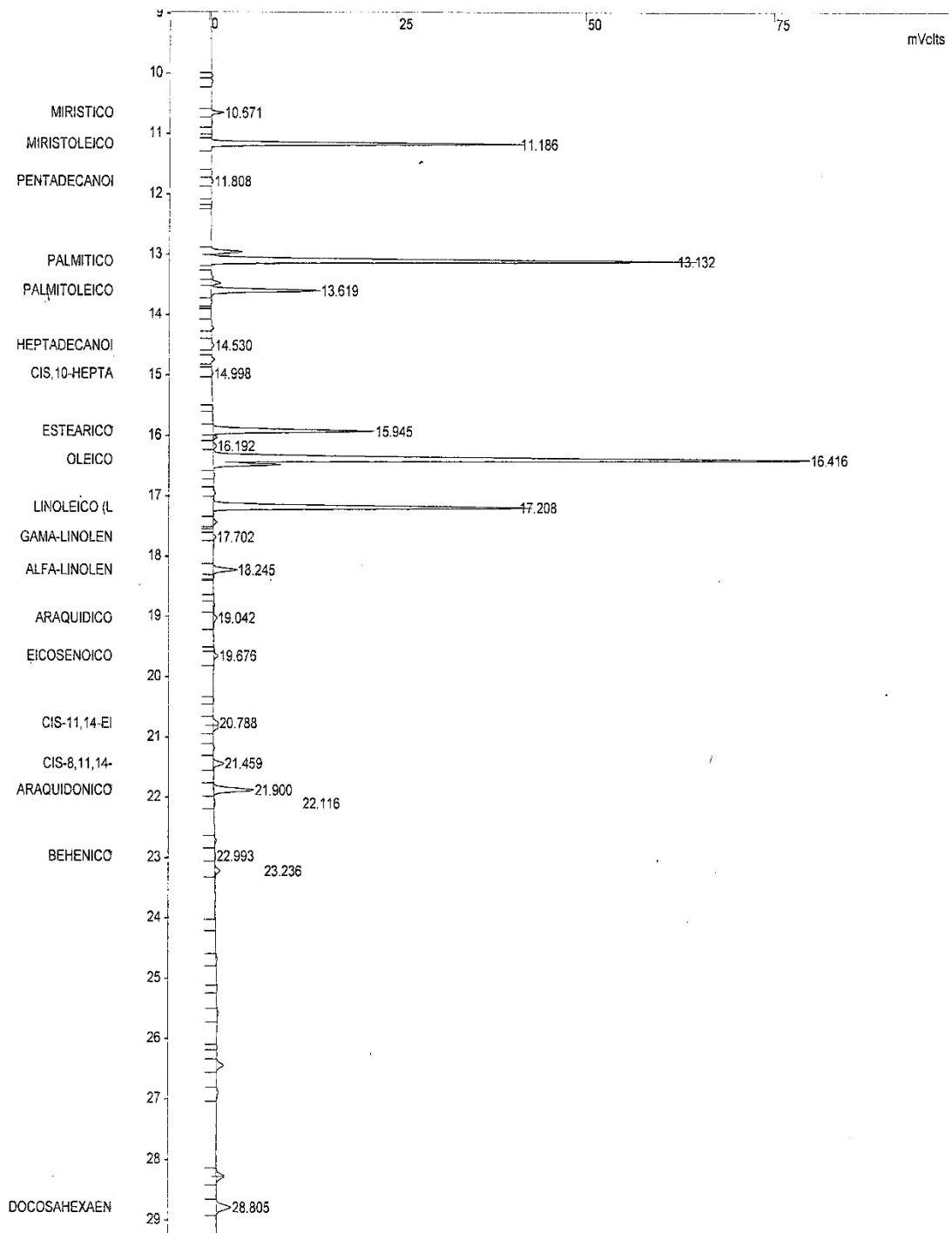
## b. Cromatograma de la carne de la pechuga de hembras sin HNA



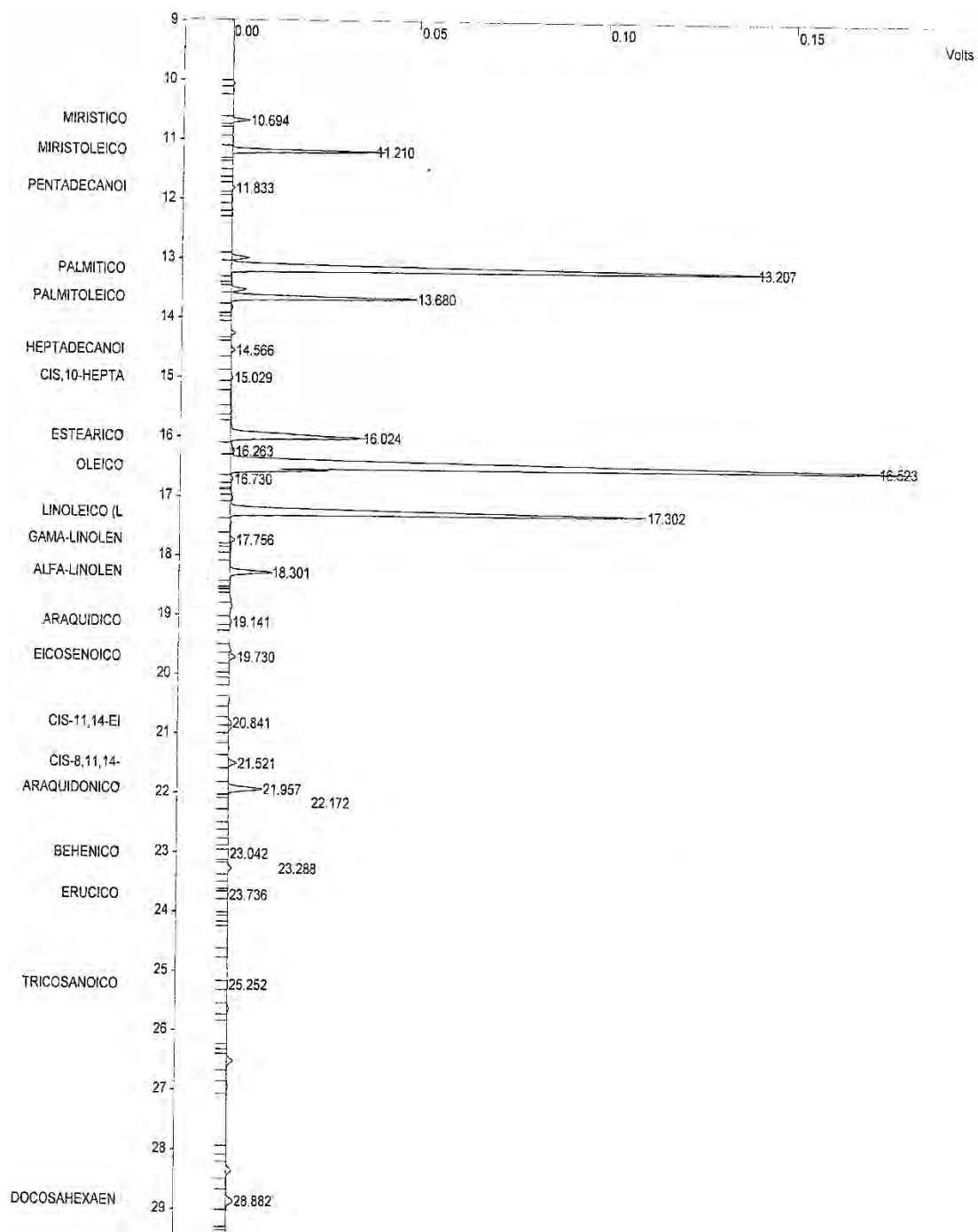
### c. Cromatograma de la carne de la pierna con muslo de hembras sin HNA



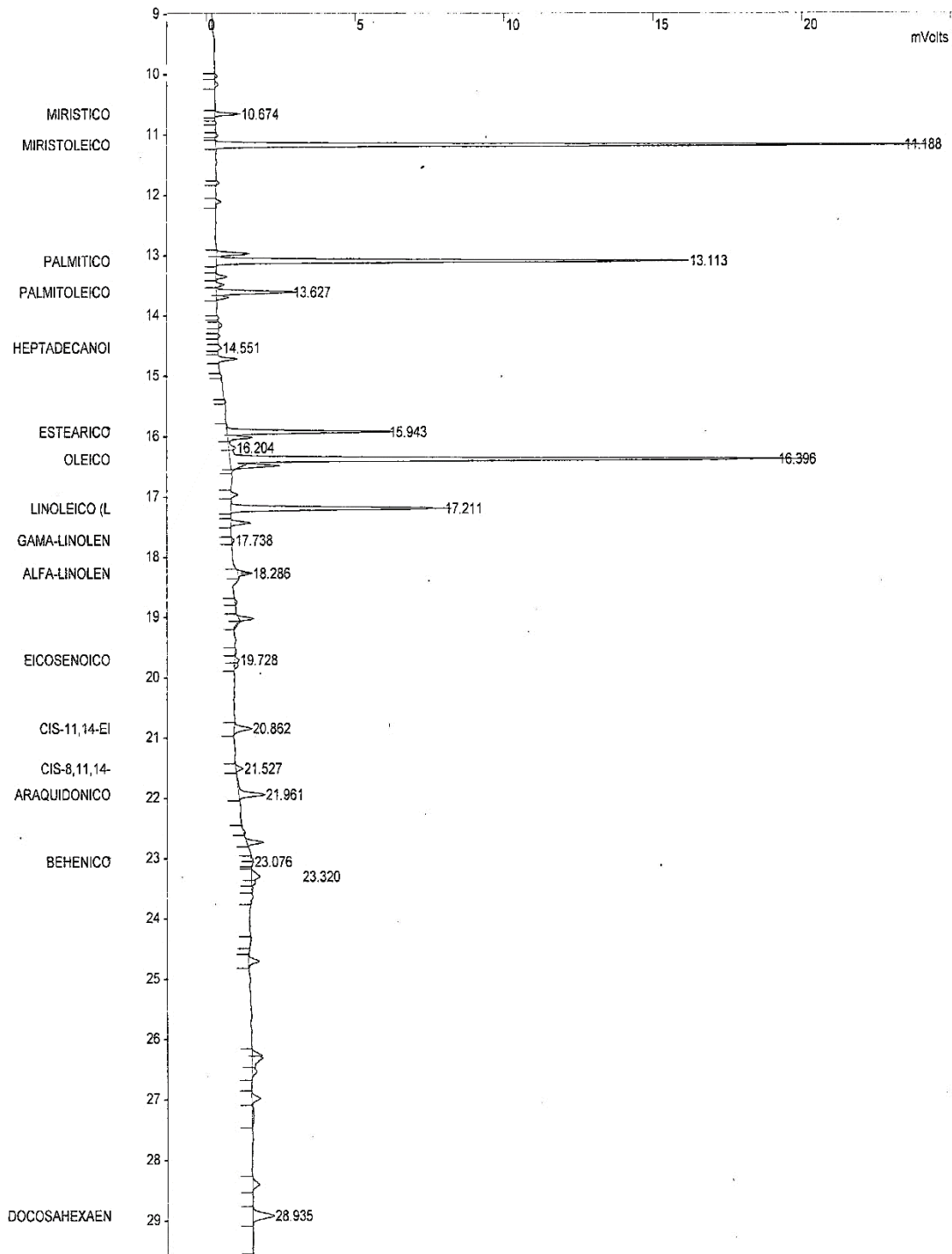
#### d. Cromatograma de la carne de la pechuga de machos sin HNA



**e. Cromatograma de la carne de la pierna con muslo de machos sin HNA**

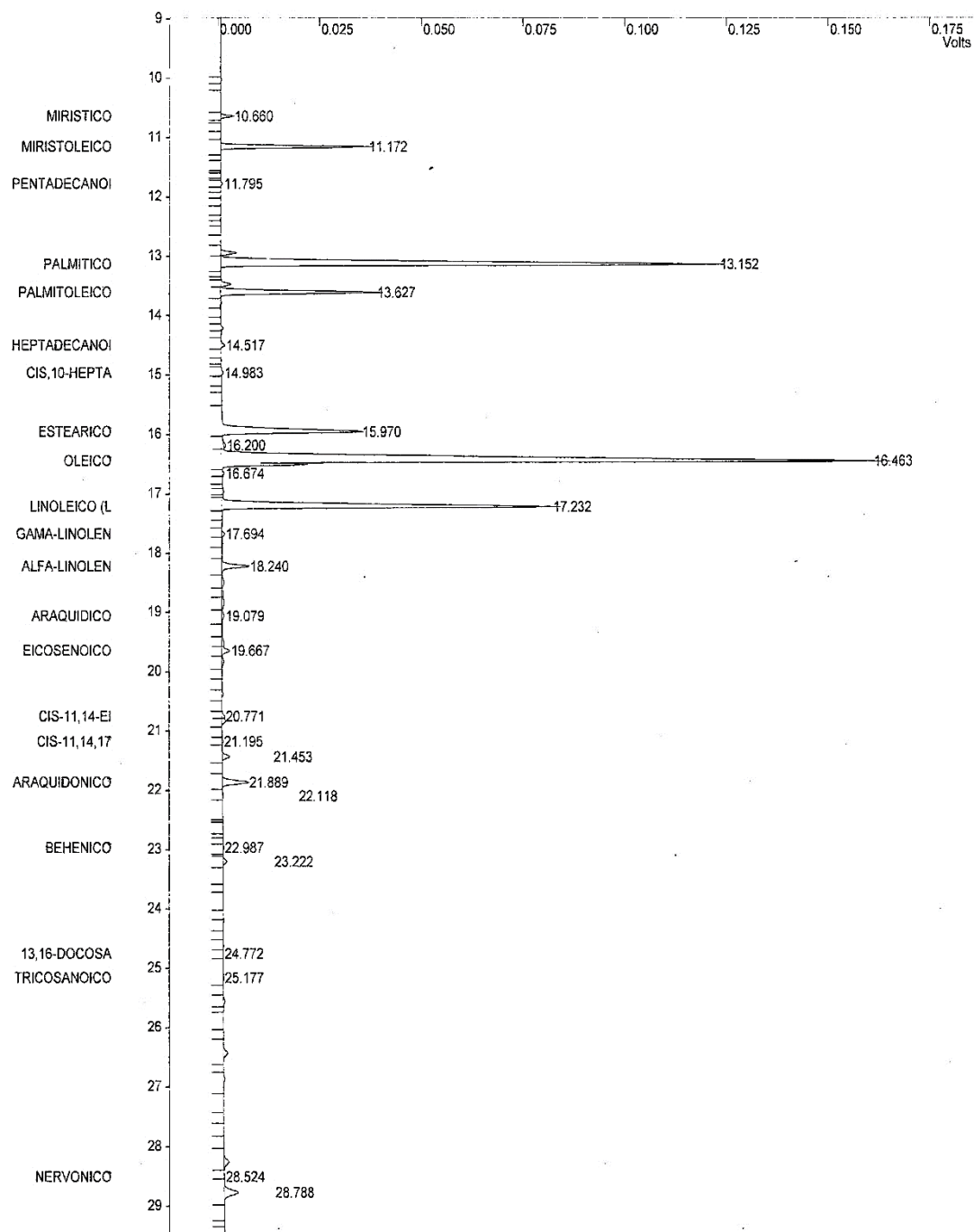


### f. Cromatograma de la carne de la pechuga de hembras con 3% HNA

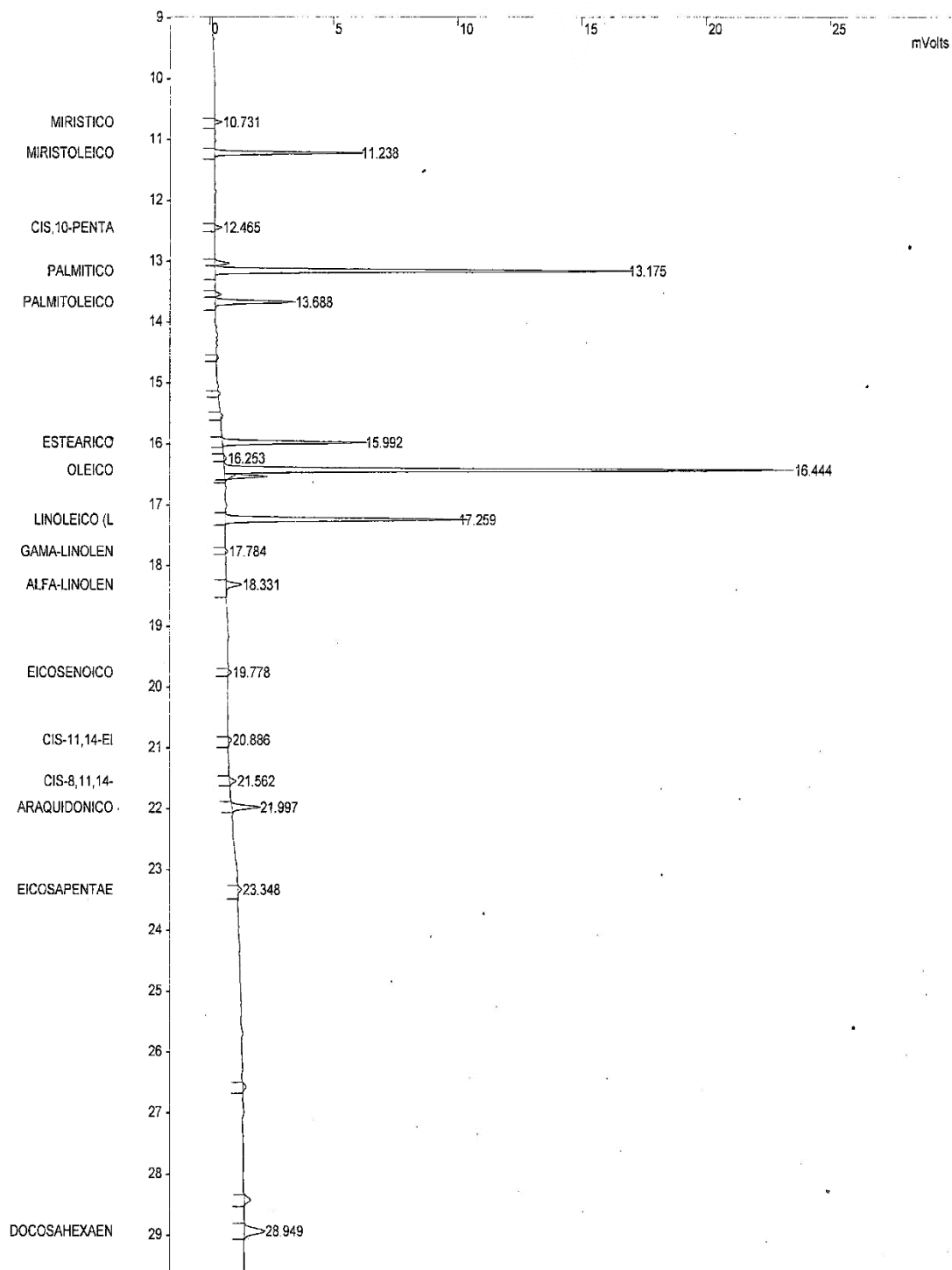




**g. Cromatograma de la carne de la pierna con muslo de hembras con 3% HNA**



## h. Cromatograma de la carne de la pechuga de machos con 3% HNA



**i. Cromatograma de la carne de la pierna con muslo de machos con 3% HNA**

