

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en
Zootecnia**

**EL ACEITE DE ATÚN COMO ALTERNATIVA PARA
ENRIQUECER LA CARNE DE POLLO CON ÁCIDOS GRASOS
OMEGA-3**

TESIS
QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

PRESENTA

JOSÉ ALFREDO MARTÍNEZ AISPURO



ENERO DE 2008

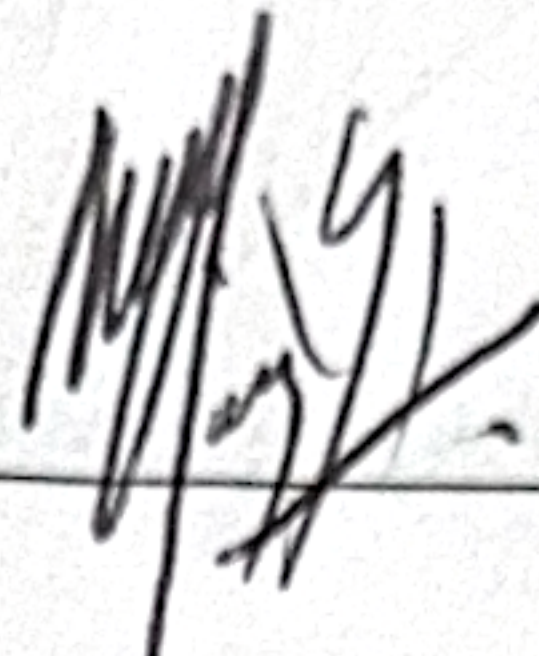
CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO

EL ACEITE DE ATÚN COMO ALTERNATIVA PARA ENRIQUECER LA
CARNE DE POLLO CON ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3

Tesis realizada por **JOSÉ ALFREDO MARTÍNEZ AISPURÓ** bajo la dirección
del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

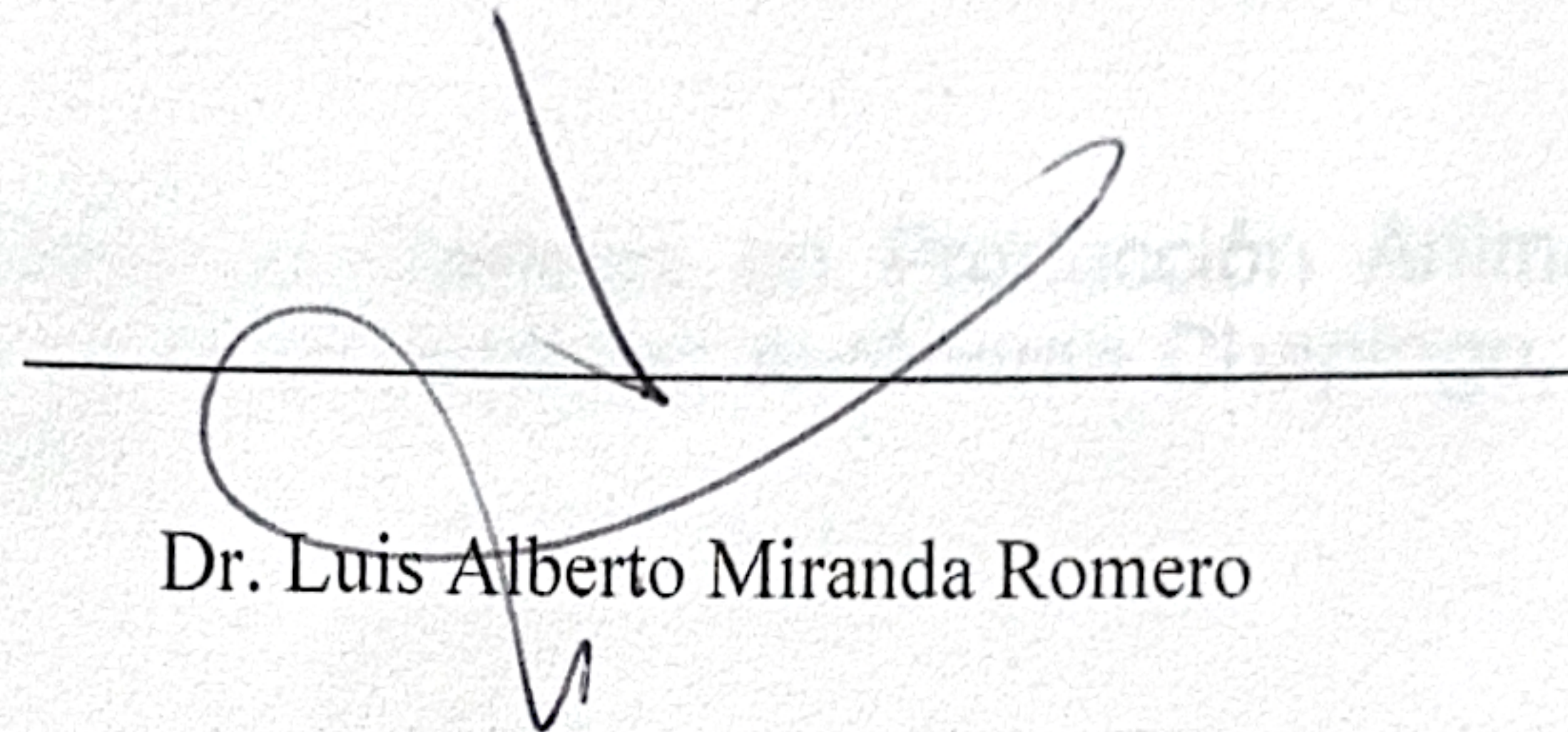
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR:



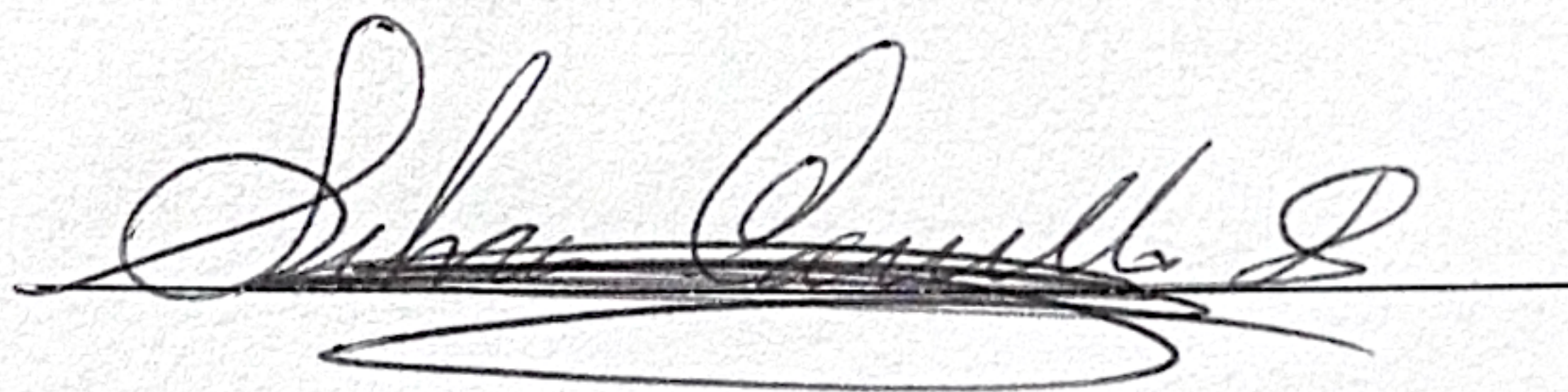
Ph.D. Mariano Jesús González Alcorta

ASESOR:



Dr. Luis Alberto Miranda Romero

ASESOR:



M.C. Silvia Carrillo Domínguez

A.T. 3506

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	i
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
CAPÍTULO I.....	1
1.1 Introducción general.....	2
CAPÍTULO II.....	5
2.1 Revisión de literatura.....	6
2.1.1 Uso del aceite en la alimentación de pollos de engorda.....	6
2.1.1.2 Efecto extracalórico.....	6
2.1.1.3 Consumo de energía aumentado bajo la condición de tensión.....	8
2.1.2 Lípidos.....	8
2.1.2.1 Clasificación de los lípidos.....	9
2.1.2.2 Emulsión y formación de micelas.....	10
2.1.2.2 Digestión de lípidos.....	11
2.1.2.3 Absorción de lípidos.....	13
2.1.2.4 Transporte y almacenamiento de lípidos.....	14
2.1.2.5 Metabolismo de las grasas en las aves.....	15
2.1.2.6 Degradación y síntesis de las grasas.....	16
2.1.3 Ácidos grasos esenciales.....	16

2.1.3.1	Importancia del consumo de las grasas.....	17
2.1.3.2	Ácidos grasos esenciales omega-3 y omega-6.....	18
2.1.3.3	Proporción correcta de ácidos grasos esenciales en humanos.....	20
2.1.3.4	Ácidos grasos omega-3 en la salud humana.....	20
2.1.4	Evaluación sensorial.....	22
2.1.4.1	Condiciones generales para el desarrollo de las pruebas.....	23
2.1.4.2	Área de prueba.....	23
2.1.4.3	Presentación de las muestras.....	24
2.1.4.4	Evaluable.....	24
2.1.4.5	Tipo de pruebas.....	25
2.1.4.6	Prueba de aceptación.....	26
2.1.5	Efecto de la utilización de aceite de pescado en producción de carne.....	27
2.1.5.1	Uso del aceite de pescado.....	27
2.1.5.2	Composición del aceite de pescado.....	28
2.1.5.3	Influencia del uso del aceite de pescado, sobre los parámetros productivos de pollos de engorda.....	29
2.1.5.4	Calidad sensorial de la carne de pollo enriquecida con omega-3.....	32
2.1.5.5	Enriquecimiento de carne de pollo con ácidos grasos omega-3.....	34
CAPÍTULO III.....		38
4.1	Literatura citada.....	39

CAPÍTULO IV.....	47
El aceite de atún como alternativa para el enriquecimiento de la carne de pollo con ácidos grasos omega-3.....	48

ÍNDICE DE CUADROS Y APÉNDICES

Cuadro 2.1 Energía metabolizable (kcal/kg) de sebo de carne y aceite de soya determinado por datos de digestibilidad o por los cambios en la ración.....	7
Cuadro 2.2 Recomendaciones del consumo de omegas-3.....	22
Cuadro 2.3 Contenido de ácidos grasos en el aceite de menhaden (<i>Brevoortia tyrannus</i>).....	28
Cuadro 2.4 Contenido de ácidos grasos (% de la grasa de cada tejido) en la carne de pollos alimentados con aceite de pescado.....	36
Cuadro 4.1 Dietas base para la etapa de iniciación y finalización.....	53
Cuadro 4.2 Medias ($\pm$ error estándar) y contrastes para el comportamiento productivo en iniciación (1 a 21 días) de pollos alimentados con diferentes niveles de aceite de atún.....	60
Cuadro 4.3 Medias($\pm$ error estándar) y contrastes para el comportamiento productivo en finalización (22 a 42 días) de pollos alimentados con diferentes niveles de aceite de atún.....	60
Cuadro 4.4 Contenido de lípidos totales en la carne de pollos alimentados con diferente nivel de aceite de atún.....	61
Cuadro 4.5 Concentración de ácidos grasos (mg/100 g de carne) en la carne de muslo de pollos alimentados con aceite de atún.....	64
Cuadro 4.6 Concentración de ácidos grasos (mg/100 g de carne) en la carne de	

pierna de pollos alimentados con aceite de atún.....	65
Cuadro 4.7 Concentración de ácidos grasos (mg/100 g de carne) en la carne	
de pechuga de pollos alimentados con aceite de atún.....	66
Cuadro 4.8 Prueba de aceptación de la carne de pollos alimentados con aceite	
de atún (proporción de panelistas que aceptaron las muestras de carne).....	67
Apéndice 1 Número mínimo de juicios correctos para establecer significancia a	
varios niveles de probabilidad para pruebas de preferencia por pares.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 y 4.2 Consumo de alimento para las etapas de iniciación y finalización.....	58
Figura 4.3 y 4.4 Ganancia de peso para las etapas de iniciación y finalización.....	59
Figura 4.5 y 4.6 Conversión alimenticia para las etapas de iniciación y finalización.....	59

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

La relación entre nutrición y salud humana se ha estudiado extensamente en los últimos años, como consecuencia de la creciente preocupación por la seguridad alimentaria de los consumidores de países occidentales, y a la posibilidad de utilizar la dieta como vehículo en la ingestión de nutrimentos (como los ácidos grasos omega-3) para la prevención y control de enfermedades.

Los ácidos grasos omega-3 tienen funciones importantes como en la reducción del nivel de lipoproteínas de baja densidad en plasma (Sanders, 1993), lo cual ayuda en la prevención de problemas cardiovasculares (Calder, 2004), tiene efectos antiinflamatorios (Belch y Muir, 1998), e interviene en el desarrollo cerebral y las funciones mentales (Wainwright, 2002).

Debido a los hábitos de consumo actuales de las personas, la ingestión de los ácidos grasos omega-6 ha aumentado al doble de los valores recomendados, alterado la relación de los ácidos grasos esenciales omega-6: omega-3, afectando la composición de los tejidos grasos y la salud. En la salud humana, se recomienda una relación óptima de ácidos grasos omega-6: omega-3 de 6: 1 (British Nutrition Foundation, 1992); sin embargo, el consumo de los ácidos grasos omega-3 ha disminuido hasta llegar a una sexta parte de lo requerido, debido a los cambios en el procesamiento de los alimentos. Dada la dificultad práctica de alcanzar los niveles recomendados y la relación óptima de omega-3 y omega-6 con las dietas que actualmente son consumidas por la población, en los últimos años se han desarrollado sistemas para obtener alimentos (huevos, carne y leche) enriquecidos con ácidos grasos omega-3.

Una de las formas en las que se puede enriquecer la carne con ácidos grasos omega-3 es la inclusión de ingredientes ricos en estos ácidos grasos. Algunos de estos

ingredientes son aceite de pescado, linaza, lino, chía, algunas algas, etc. El uso de aceite de pescado en la alimentación de las aves puede representar una excelente opción como fuente de ácidos grasos omega-3, debido a su elevado contenido de los ácidos grasos eicosapentaenoico y docosahexaenoico, los cuales han demostrado efectos favorables en la prevención y control de problemas cardiovasculares.

Las modificaciones en la alimentación animal para la obtención de productos enriquecidos con nutrimentos para beneficio de los consumidores, implican cambios significativos en su composición química y propiedades físicas. Estos cambios pueden alterar sus propiedades organolépticas (aroma, sabor y color) y, por tanto, la aceptación de los consumidores. En algunos estudios, el uso del aceite de pescado ha perjudicado la calidad sensorial de la carne de las aves (Gonzalez- Esquerra y Leeson, 2001) mientras que en otros (Bou *et al.*, 2004) no hay alteración en el sabor en la carne en pollo; aunque la percepción de sabores inadecuados (sabor a pescado de la carne) varía de un país a otro (Surai y Sparks, 2001).

Debido a los motivos anteriores, es importante buscar fuentes alternas en la producción avícola que contribuyan a una producción de carne de pollo más eficiente, con alta calidad nutritiva, sin alterar su aceptación por parte del consumidor. En México el uso del aceite de atún puede ser una alternativa, debido a que su producción es muy alta y en muchas ocasiones no es aprovechado en su totalidad; pudiendo representar una excelente opción como fuente de energía y ácidos grasos omegas-3 en la alimentación de las aves (Vázquez, 2002).

La tesis se estructuro en dos partes. En la primera se hace una revisión de literatura de los aspectos más relevantes que de alguna manera pudieran ayudar a comprender dicho trabajo, y en la segunda parte se presenta un artículo en donde se

describe la investigación del uso del aceite de atún en la alimentación de pollos de engorda.

En la revisión de literatura primero se abordó el uso de los aceites como fuente energética, así como su metabolismo, con el propósito de entender su empleo en la alimentación de las aves. Después se hizo énfasis en el beneficio que tiene el consumo de ácidos grasos omega-6 y omega-3 en la salud humana.

En producción animal, generalmente al evaluar algún ingrediente no se considera la afectación en las características organolépticas de los productos, por lo cual se hace necesario describir la metodología aplicada en la prueba de aceptación que se utilizó, lo cual será de utilidad en trabajos futuros. Por último, se describe el impacto del uso del aceite de pescado en algunas investigaciones que sirven como base del presente estudio.

El objetivo del presente estudio fue determinar el nivel de sustitución de aceite de soya por aceite de atún para enriquecer la carne de pollo con omega-3, con afectación mínima en el comportamiento productivo de las aves y en la aceptación de la carne por el consumidor mexicano.

CAPÍTULO II

2.1 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.1 USO DEL ACEITE EN LA ALIMENTACIÓN DE POLLOS DE ENGORDA

El uso de los aceites trae consigo múltiples beneficios dentro de los cuales se encuentran la mejora en las características físicas del alimento (aumentar lubricación, reducir la polvosidad y separación de las partículas en la dieta, e incrementar la palatabilidad del alimento), su aporte de ácidos grasos esenciales y el constituir una fuente concentrada de energía.

La grasa alimentaria es el nutriente con mayor valor calórico por lo que el principal objetivo de su inclusión en la dieta es el incremento de la concentración energética de la ración, con el fin de aumentar el rendimiento productivo de los animales. La sustitución isoenergética de carbohidratos por grasa produce un aumento en la ganancia de peso y una mejora en el índice de conversión (Nitsan *et al.* 1997). Dicho efecto es debido al aumento de la digestibilidad de la grasa a nivel intestinal, de forma que las dietas con grasa añadida presentan mayor energía metabolizable aparente que las dietas sin grasa pero con la misma concentración energética.

2.1.1.1 Efecto extracalórico

Otro efecto de la adición de grasa es una disminución en la producción de calor, debido principalmente a la deposición directa de la grasa dietética, lo cual produce un incremento en la energía neta de la ración. Estos efectos son los que se conocen como “efecto extracalórico” de la grasa.

El efecto metabólico extra de la grasa, es atribuido a la interacción de la grasa suplementada y la grasa residual en la porción de grano de la ración basal, lo cual resulta

en una mejor absorción de la grasa saturada. Sibbald *et al.* (1961) demostraron esta interacción. Ellos evaluaron individualmente el contenido de EM en aceite de soya y sebo de res en pollos, dando como resultado 8.46 y 6.94 Kcal/g de EM respectivamente, sin embargo, al mezclar estos dos ingredientes a una relación de 1:1, se obtuvo un valor de 8.41 kcal/g de EM; con lo cual se tendría que asumir que el aceite de soya permaneció inalterado, y que el sebo tendría que contener 8.36 kcal/g de EM.

Las ventajas de adicionar grasa para mejorar la digestión y la absorción de la proporción no lipídica de la ración, ha sido demostrada por Reaven y Reaven (1977) y por Reid (1980), quienes trabajando con grasa y proteínas presentaron evidencia de la mejora al retardar el tiempo de pasaje del alimento a través de tracto gastrointestinal con un aumento consecuente en digestión y absorción, dando el efecto mayor con una ración de ingredientes pobres en lípidos. Teóricamente, la energía total de la grasa multiplicada por su digestibilidad debe proporcionar una medida exacta de la energía metabolizable de la grasa (Cuadro 2.1); sin embargo, cuando esto se hace, la EM invariablemente muestra valores considerablemente bajos, según Lewis (1984; citado por Carrillo, 1999).

Cuadro 2.1 Energía metabolizable (kcal/kg) de sebo de carne y aceite de soya determinado por datos de digestibilidad o por los cambios en la ración

Nivel de grasa en la dieta (%)	EM		Cambios de EM en la ración	
	Sebo	Aceite de soya	Sebo	Aceite de soya
3	7050	8720	10200	10450
6	7180	8690	8710	9650
9	7190	8670	7200	9140
12	6950	8610	7040	8740

(Lewis, 1984; Citado por Carrillo, 1999).

2.1.1.2 Consumo de energía aumentado bajo la condición de tensión

Una de las mayores ventajas de adicionar grasa en raciones para aves, es el aumento en la cantidad de energía ingerida en tiempos de tensión, cuando hay necesidad de eliminar stress. Dale y Fuller (1978) realizaron un experimento para determinar el rechazo de dietas con alto contenido graso en pollos para parrilla durante el período de temperaturas altas, en cámaras de ambientes controlados. Los pollos mostraron preferencia para la dieta alta en grasa, por encima de dietas con contenidos de energía similares pero con niveles bajos de grasa, cuando la temperatura fue alta y sin tener en cuenta la textura del alimento (masa o pelotillas), la ingestión de alimento aumento; lo que fue reafirmado por Reid (1980) quien observó que la adición de grasa en la dieta tuvo su potencial más alto al alimentar gallinas durante el período de altas temperaturas ambientales.

2.2 LÍPIDOS

Los lípidos son constituyentes importantes de la alimentación no sólo por su elevado valor energético, sino también por las vitaminas liposolubles y los ácidos grasos esenciales en la grasa de los alimentos naturales (Murray *et al.*, 1996).

Los lípidos son un grupo de macronutrientes que participan en el reconocimiento celular, en la integración estructural de la membrana e intervienen en la producción de mensajeros químicos esenciales para los procesos inmunológicos, de coagulación y división celular (Campos *et al.*, 2002). En términos generales, las principales funciones biológicas de los lípidos son servir como: 1) componentes de membranas, 2) almacenamiento de carbono y energía, 3) precursores de hormonas, 4) aislantes que previenen choques térmicos, eléctricos y físicos, 5) recubrimientos

protectores que evitan infecciones y pérdidas o entradas de agua y 6) vitaminas liposolubles (Bohinsky, 1998).

2.2.1 Clasificación de los lípidos

Los lípidos son un grupo químico de compuestos emparentados, por sus propiedades físicas, más que por las químicas. Tienen la propiedad común de ser relativamente insolubles en agua y solubles en solventes no polares como el éter, cloroformo y benceno. Los lípidos son constituyentes importantes de la alimentación no sólo por su elevado valor energético, sino también por las vitaminas liposolubles y los ácidos grasos esenciales contenidos en la grasa de los alimentos naturales (Murray *et al.*, 1996).

Según Murray *et al.* (1996) los lípidos pueden clasificarse como simples o complejos:

1) Lípidos simples: ésteres de ácidos grasos con diversos alcoholes.

a. Grasas. Ésteres de ácidos grasos con glicerol. Una grasa en estado líquido se conoce como aceite aquí se incluyen a los ácidos grasos esenciales.

b. Ceras: Ésteres de ácidos grasos con alcoholes monohídricos de peso molecular más elevado.

2) Lípidos complejos: Ésteres de ácidos grasos que contienen otros grupos químicos además de un alcohol y del ácido graso.

a. Fosfolípidos: lípidos que contienen además de ácidos grasos y un alcohol, un residuo de ácido fosfórico. Con frecuencia tienen bases nitrogenadas y otros sustituyentes; por ejemplo, en los glicerofosfolípidos el alcohol es el glicerol y en los esfingolipidos el alcohol es la esfingosina.

b. Glucolípidos (glucoesfingolípidos): lípidos que contiene un ácido graso, esfingosina y carbohidratos.

c. Otros lípidos complejos: lípidos como sulfolípidos y aminolípidos. También las lipoproteínas pueden colocarse en esta categoría.

3) Lípidos precursores y derivados: incluyen ácidos grasos, glicerol, esteroides, alcoholes diferentes al glicerol y los esteroides, aldehídos de las grasas y cuerpos cetónicos, hidrocarburos, vitaminas liposolubles y hormonas.

2.2.2 Emulsión y formación de micelas

La grasa ingerida debe ser emulsionada en el estómago para permitir la acción de las enzimas pancreáticas y la formación de micelas en el contenido acuoso del intestino. Entre las sustancias emulsionantes que favorecen este proceso se encuentran los monoglicéridos obtenidos de la hidrólisis gástrica de las grasas, mediada por la *lipasa* gástrica, que hidroliza hasta un 30% de los lípidos de la dieta en mamíferos (Crespo, 2004). Al contrario que en mamíferos, las aves presentan muy baja actividad lipolítica en el estómago, la emulsión de la grasa para la formación de micelas y absorción de lípidos es a nivel intestinal y parece ser debida a la existencia del reflejo entero-gástrico; mediante el cual, parte de los triglicéridos hidrolizados en el duodeno, vuelven a la molleja, acompañados de las sales biliares, que intervienen en la correcta emulsión de la grasa (Place, 1996).

La grasa emulsionada está formada por pequeños agregados esféricos de 200 a 5000 nm de diámetro, constituidos por lípidos polares (fosfolípidos, glicolípidos y monoglicéridos). Gracias a la característica anfotérica de estos lípidos se pueden situar formando una monocapa en la interfase óleo-acuosa, dirigiendo su extremo polar hacia

el agua y su extremo apolar hacia el resto de sustancias lipídicas (Nelson y Cox, 2004). Dentro de estos agregados se engloban los lípidos menos polares (triglicéridos, esteroides, vitaminas liposolubles) y los totalmente apolares como las ceras, ésteres de vitaminas o de esteroides (Murray *et al.*, 1996).

Las sales biliares entran en contacto con la grasa emulsionada disolviendo algunos de sus constituyentes y proporcionándole carga negativa. Es de vital importancia que las sales biliares se mantengan en solución a los niveles de pH que se dan en la molleja. Para ello se forman conjugados de las sales biliares con la taurina que permiten su disolución incluso a niveles de pH inferiores a 1 (Nelson y Cox, 2004). Ya en el duodeno, la carga negativa proporcionada por las sales biliares atrae a la *colipasa* cuya función es la de mantener la *lipasa* pancreática cerca del glóbulo de grasa para permitir su acción. La *lipasa* pancreática hidroliza preferentemente los ácidos grasos (AG) situados en los carbonos 1 y 3 del triglicérido (TG), dando lugar a 2 monoacilglicerol y ácidos grasos libres, con carácter más polar. Se forman así partículas más pequeñas denominadas micelas cuyo diámetro aproximado es de 3-10 nm (Bohinski, 1998).

2.2.3 Digestión de lípidos

La digestión consiste en el desdoblamiento por hidrólisis, de moléculas de nutrientes en otras más pequeñas que pueden absorberse a través del epitelio de las vías gastrointestinales. Debido a que los triglicéridos son insolubles en agua, mientras que la digestión por los enzimas se realiza en disolución, la digestión de los triglicéridos se realiza en las interfases lípido/agua. La velocidad de digestión depende de la superficie de esa interfase, una cantidad que aumenta con el movimiento peristáltico del intestino

combinado con la acción emulsificadora de las sales biliares. Las sales biliares se sintetizan en el hígado y se segregan por la glándula biliar al intestino, donde realizan su función emulsificadora o detergente (Murray *et al.*, 1996).

La lipasa pancreática cataliza la hidrólisis de los triglicéridos (TG) en sus posiciones 1 y 3, al mismo tiempo que se liberan las sales de Na⁺ y K⁺ de los ácidos grasos. Estas sales, al ser anfipáticas, ayudan también en la acción emulsificadora. La actividad enzimática de la lipasa pancreática aumenta considerablemente cuando se pone en contacto con la interfase lípido-agua, un fenómeno conocido como activación interfacial. Sin embargo, la enzima no se une a esa interfase si no es en forma de un complejo con la colipasa pancreática, una proteína de 12 kD, que forma un complejo 1:1 con la lipasa. En ausencia de micelas mixtas, el centro activo de la lipasa está cubierto por una sección de 25 aminoácidos en alfa-hélice; cuando se pone en contacto con micelas sufre un cambio conformacional exponiendo el centro activo. La colipasa ayuda a la lipasa a unirse a la interfase, ya que aquélla contiene una sección larga de residuos hidrofóbicos que se asocian cerca del centro activo de la lipasa. Los fosfolípidos se degradan por la fosfolipasa A2 del páncreas, que hidroliza el ácido graso en carbono 2 para dar lugar al correspondiente lisofosfolípido, que también es un poderoso detergente. Esta fosfolipasa, al igual que la anterior, es mucho más activa en asociación con micelas, aunque su mecanismo de acción difiere de la lipasa, ya que no sufre cambio conformacional al unirse a las micelas. La fosfolipasa contiene un canal hidrofóbico que provee al sustrato de un paso hacia el centro activo del enzima (Murray *et al.*, 1996).

2.2.4 Absorción de lípidos

El proceso de transporte de lípidos a través de la membrana de la célula intestinal se realiza mediante un proceso de difusión pasiva, principalmente a nivel del yeyuno (Crespo, 2004). La mezcla de ácidos grasos mono y diacilglicerol producidos por la digestión de los lípidos se absorbe por las células que están localizadas en el intestino en un proceso facilitado por los ácidos biliares. Las micelas toman los productos no polares de degradación de los lípidos y les facilitan el transporte hacia la capa no agitada que rodea a estas células. Esto es particularmente importante en individuos que no son capaces de formar en gran cantidad los ácidos biliares, por lo que estos productos de la digestión se eliminan en sus heces (*esteatorrea*). Las micelas también se necesitan para la absorción del colesterol y de las vitaminas liposolubles, como la A, D, E y K (Vázquez, 2003).

Dentro de las células intestinales, los ácidos grasos forman complejos con la proteína intestinal, una proteína citoplasmática que ayuda a aumentar la solubilidad de estos compuestos y proteger a la célula del efecto detergente de los mismos. Estos productos se llevan al retículo endoplásmico y allí se sintetizan de nuevo los TG. Los ácidos grasos de cadena media (6-10) pasan la célula y se liberan como tales en la sangre. Los de cadena larga (>12) forman TG. El glicerol y ácidos grasos de cadena corta y media son transportados al hígado en la sangre venosa portal hepática. En el epitelio intestinal, los triacilglicerol son sintetizados de nuevo a partir de ácidos grasos de cadena larga y monoacilglicerol para formar quilomicrones. Éstos son secretados a la circulación a través del conducto torácico (Murray *et al.*, 1996).

2.2.5 Transporte y almacenamiento de lípidos

Las grasas absorbidas a partir de la alimentación y los lípidos sintetizados por el hígado y el tejido adiposo deben de ser transportados a los diversos tejidos y órganos para su utilización y almacenamiento. Dado que los lípidos son insolubles en agua los lípidos no polares (triacilglicerol y ésteres de colesterol) se asocian con lípidos anfipáticos (fosfolípidos y colesterol) y proteínas, para formar lipoproteínas miscibles en agua. Las lipoproteínas son complejos proteo-lipídicos que permiten el transporte de los lípidos a través de la sangre. Están compuestos por un núcleo hidrofóbico (lípidos no polares) y una capa externa de lípidos polares y apoproteínas (Motta *et al.*, 1996).

En pollos se han identificado cinco tipos de lipoproteínas según su contenido en triglicéridos y su densidad, los quilomicrones (PM), lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL), lipoproteínas de densidad intermedia (IDL), lipoproteínas de baja densidad (LDL) y lipoproteínas de alta densidad (HDL)(Griffin y Whitehead, 1982).

Las lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) que transportan triacilglicerol desde el hígado, lipoproteínas de baja densidad (LDL), que son ricas en colesterol y provienen del metabolismo de las VLDL y lipoproteínas de alta densidad (HDL), que también son ricas en colesterol, pero cuya actividad consiste en remover colesterol de los tejidos y participar en el metabolismo de otras lipoproteínas. Los quilomicrones y VLDL son metabolizados primero por hidrólisis catalizada por la proteína lipasa en tejidos extrahepáticos. Se remueve la mayor parte de los triglicéridos y en la circulación queda un remanente de lipoproteína. Estos remanentes son captados por el hígado por endocitosis mediada por un receptor, pero algunos remanentes generados de VLDL forman LDL, y por último son retirados de la circulación por el hígado y otros tejidos mediante el receptor para LDL (Murray *et al.*, 1996).

La fracción proteínica de las lipoproteínas recibe el nombre de apolipoproteína. Actúa como activador enzimático o como ligando para receptores celulares. El desequilibrio en la velocidad de síntesis hepática de triacilglicerol y en la secreción de VLDL causa la acumulación de grasa en el hígado. El triacilglicerol es el lípido de almacenaje principal en el tejido adiposo. Después de la hidrólisis por acción de una lipasa sensible a hormonas, es eliminado a la circulación en forma de ácidos grasos y glicerol. Los ácidos grasos libres se unen a la albúmina sérica para su transporte a los tejidos, donde se utilizan como una importante fuente energética (Murray *et al.*, 1996).

2.2.6 Metabolismo de las grasas en las aves

El metabolismo de las grasas es un proceso en el que los ácidos grasos se convierten y usan para energía, producción de carne y almacenamiento como grasa corporal. Los productos de la digestión proporcionan a los tejidos bloques estructurales para la biosíntesis de moléculas complejas, así como combustible para energetizar los procesos metabólicos de los seres vivos. Casi todos los procesos de la digestión de carbohidratos, proteínas y lípidos son catabolizados a un metabolito en común, acetil-CoA, antes de su oxidación final a CO₂ en el ciclo de ácido cítrico.

El metabolismo de los lípidos se centra principalmente en los ácidos grasos y en el colesterol, el origen de los ácidos grasos de cadena larga es la síntesis de novo de la acetil-CoA a partir de los carbohidratos o lípidos de los alimentos. En los tejidos, los ácidos grasos pueden ser oxidados a acetil-CoA (beta-oxidación) o esterificados a acilgliceroles, donde, como triacilgliceroles “grasas” constituyen la principal reserva calórica del cuerpo. La acetil-CoA formada por la beta-oxidación tiene varios destinos importantes: 1) como en el caso de la acetil-CoA proveniente de los carbohidratos, es

oxidada completamente a $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ en el ciclo del ácido cítrico. Los ácidos grasos producen una cantidad considerable de energía en la beta- oxidación y en el ciclo del ácido cítrico y, por tanto, son combustibles tisulares muy eficaces, 2) es una fuente de átomos de carbono para el colesterol y otros esteroides, y 3) en el hígado forma cuerpos cetónicos, que son combustibles tisulares hidrosolubles alternos, los cuales se convierten en importantes fuentes de energía bajo ciertas condiciones (por ejemplo, en inanición) (De Blas y Mateos, 1991).

2.2.7 Degradación y síntesis de las grasas

A diferencia de otros nutrientes, la grasa no se excreta en su forma original o como subproducto; los excesos sólo pueden depositarse en las células grasas (North y Bell, 1993). La demanda de energía de otros tejidos determinará si los ácidos grasos pasan a la sangre o permanecen en el tejido adiposo para resintetizar triglicéridos. El tejido adiposo al igual que todos los tejidos del organismo, está en continuo proceso de síntesis y degradación (North y Bell, 1993).

2.3 ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES

Los ácidos grasos esenciales, tanto en aves como en humanos, son aquellos que deben suministrarse en la alimentación y el organismo no los puede sintetizar, dentro de los cuales se encuentran los ácidos oleico (omega-9), linoléico (omega-6) y linolénico (omega-3). La nomenclatura omega se refiere a toda aquella serie de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) con dos o más dobles enlaces, que están formados por cadenas largas carbonadas y se emplean notaciones cortas para expresarlos, la posición del

primer doble enlace a partir del último grupo metilo de la cadena carbonada es denominado omega (Carrillo, 1999).

2.3.1 Importancia del consumo de las grasas

Las grasas son la principal fuente de energía y de ácidos grasos esenciales indispensables para un buen crecimiento físico y para el desarrollo del sistema nervioso. El crecimiento de los niños antes de los dos años de vida, su actividad física y la formación de ciertos órganos cuya estructura es principalmente lipídica, depende fundamentalmente del aporte de grasas (FAO, 1994), la grasa debe ser vista también en su función estructural, pues provee de ácidos grasos y el colesterol es necesario para formar membranas celulares en todos los órganos. Más aún, órganos importantes como son la retina del ojo y el sistema nervios central están constituidos predominantemente por grasas, principalmente ácidos grasos esenciales, que no pueden ser sintetizados por el organismo y deben de ser aportados por la dieta. La grasa es necesaria para completar el desarrollo del sistema nervioso que en esta etapa continua mielinizándose, lo que requiere de ácidos grasos como el esteárico y el oleico (FAO, 1994).

Tradicionalmente los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) han sido considerados componentes importantes en el aporte de energía necesaria para el mantenimiento del metabolismo celular, la actividad física y el crecimiento. Algunos AGPI esenciales, sirven de precursores de eicosanoides, prostaglandinas, tromboxanos y leucotrienos- hormonas que cumplen funciones muy importantes en la regulación de la presión arterial, de la función renal, de la función inmunitaria y de la contracción del útero. Otros, como los tromboxanos, son responsables de la agregación de plaquetas y por lo tanto son claves para la coagulación de la sangre. Los leucotrienos son

importantes en el proceso inflamatorio y en la respuesta alérgica. El rol de los AGPI como componentes estructurales de los fosfolípidos de las membranas es de mayor importancia lo cual ha sido identificado en los últimos años, ya que su ausencia puede afectar el desarrollo de la visión y la función cerebral (Zhirong y Sim, 1993; García y Alcala, 1998). Los animales son incapaces de sintetizar los ácidos linoléico (18:2 omega-6) y alfa- linolénico (18:3 omega-3). La deficiencia de ellos se manifiesta por signos específicos: la falta de crecimiento, lesiones cutáneas, menor pigmentación de la piel, pérdida de tono muscular, cambios degenerativos en el riñón, pulmón e hígado, aumento en el metabolismo basal, alteración en la permeabilidad de las células; trastornos en el balance de agua, aumento en la susceptibilidad a las infecciones. Estas manifestaciones desaparecen al proporcionar un 2% de la energía como ácidos grasos esenciales (AGE), especialmente de ácido linoléico (FAO, 1994).

2.3.2 Ácidos grasos esenciales omega-3 y omega-6

Los ácidos grasos omega-6 son representados por el ácido linoléico (LA, C18: 2) y los omega-3 por el ácido linolénico (LNA C18: 3). Ambos ácidos grasos son metabolizados a ácidos grasos de cadena larga, y esto ocurre de la forma que a continuación se describe. El LA es metabolizado a ácido araquidónico (AA, C20: 4) y el LNA es metabolizado a ácido eicosapentaenoico (EPA, C20: 5) y ácido docosahexaenoico (DHA C22: 6), incrementando la longitud de la cadena y grado de insaturación por la adición extra de dobles enlaces al grupo carboxilo. Los procesos de alargamiento de las cadenas de ácidos grasos y formación de dobles enlaces, son conocidos como elongación y desaturación respectivamente, y están dados por las enzimas elongasa y desaturasa (Simopoulos, 1991).

Los ácidos grasos omega-3 y omega-6 son precursores de hormonas conocidas como eicosanoides, que participan en importantes procesos biológicos del cuerpo humano (Simopoulos, 1991). La primera etapa de biosíntesis de estos eicosanoides es la liberación de los ácidos grasos EPA y DHA, de los fosfolípidos de la membrana celular, por acción de la fosfolipasa A2, a partir de los cuales se producen compuestos hidroxilados, que tienen efectos potentes diversos y generalmente antagónicos y entre los cuales están productos cíclicos generados por la enzima ciclo-oxigenasa, como prostaciclina, prostaglandinas, tromboxanos y leucotrienos que son producidos por la enzima lipo-oxigenasa (Barrera, 1998).

Barrera (1998) menciona que los ácidos grasos linolénico y alfa-linolénico, compiten por la utilización de la enzima delta-6 desaturasa para iniciar su elongación y desaturación, de modo que los de la familia omega-3 suprimen el metabolismo de los de la familia omega-6 y viceversa. La enzima delta-6 desaturasa está bajo el control de diversos factores dietarios y hormonales, siendo fundamental en la síntesis de los metabolitos del ácido linolénico (EPA y DHA) y de los metabolismos del ácido linoléico (principalmente de ácido aráquidónico). Los mecanismos de competencia explicarían porque ingestas altas de ácido linoléico reducen el nivel de EPA y DHA (Barrera, 1998). Existen algunas evidencias de que la enzima desaturasa decrece con la edad. Infantes prematuros, individuos hipertensos y algunos diabéticos están limitados en su habilidad para sintetizar EPA y DHA a partir de LNA (Simopoulos, 1991).

2.3.3 Proporción adecuada de ácidos grasos esenciales en humanos

Desde mediados de 1985, el consumo de los ácidos grasos esenciales omega-3 ha disminuido hasta llegar a una sexta parte de lo requerido, debido a los cambios que ha habido en el procesamiento de los alimentos. Las dietas occidentales comunes son altas en ácidos grasos omega-6 y bajas en omega-3, lo cual no supe el balance apropiado para las funciones biológicas, aumentando la presencia de enfermedades cardiovasculares, hipertensión, desórdenes inflamatorios y autoinmunes, depresión y cierta ruptura de las funciones neurológicas (Newton, 1996).

El consumo de los ácidos grasos omega-6 ha aumentado al doble de los valores recomendados, el cual dramáticamente ha alterado los rangos de los ácidos grasos esenciales omega-6: omega-3, afectando la composición de nuestros tejidos grasos y nuestra salud. La proporción omega-6: omega-3 en el cerebro es de 1: 1, en tejidos grasos de 5: 1 y en otros tejidos de 4: 1. La conversión enzimática de los omega-3 es cuatro veces más rápida que la de los omega-6. La cantidad óptima de omega-3 es de 2 a 9 g al día, mientras que los niveles óptimos para omega-6 son de 9 a 18g al día (Scheideler, 1997).

2.3.4 Ácidos grasos omega-3 en la salud humana

En la década de los 80, surgió lo que se denomina revolución nutraceutica, la cual está en estos momentos en pleno apogeo, y posiblemente cambiara la industria alimentaria en el próximo siglo. Un nutraceutico es un alimento o parte de él, que posee propiedades benéficas para la salud como el ácido graso omega-3, pudiendo prevenir o tratar algunas enfermedades.

La ingestión de ácidos grasos omega-3 ofrece numerosos beneficios al hombre, ya que reduce el riesgo de padecer enfermedades coronarias y reumatoides, así como el cáncer de colon y además tiene propiedades hipocolesterolémicas que son de gran importancia en el desarrollo del cerebro y la retina (Newton, 1996). Los lípidos sanguíneos en personas hiperlipidémicas cuando se les proporciona ácidos grasos omega-3, disminuye los niveles de LDL (colesterol dañino), e incrementa los niveles de HDL (colesterol benéfico), y reduce los niveles de triglicéridos (Simopoulos, 1991; Van Elswyk, 1994).

Los ácidos grasos de cadena larga omega-3 son encontrados generalmente en el pescado o en el aceite de pescado. Algunos estudios han mostrado que la incidencia de desórdenes autoinmunes, inflamatorios y enfermedades cardiovasculares es muy baja entre los japoneses y esquimales, debido a que su dieta se caracteriza por un alto consumo de pescado. Además hay evidencias antropológicas de que los antiguos pueblos pescadores, evolucionaron más rápido en comparación con otros pueblos, debido al desarrollo cerebral que se logró gracias a su dieta, que principalmente se basaba en pescado (Huang y Liu, 1999).

Los omegas-3 muestran, además de reducir los problemas de presión arterial, que también reducen la trombosis y arritmias cardíacas, y mejoran el ritmo cardíaco (Calder 2004; Penny *et al.*, 2002; Neil y Stone, 1996). Es importante hacer notar que el consumo de ácido linolénico no parece tener ningún efecto positivo en las enfermedades cardíacas y ataques al corazón, sin embargo, los demás ácidos de la familia omega-3 presentes en el aceite de pescado parece que sí dan resultado (EPA y DHA) (Chenchen *et al.*, 2006), por lo que se han realizado investigaciones en donde se recomienda la cantidad de omega-3 que se deben consumir al día (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2 Recomendaciones del consumo de omegas-3

	Consumo recomendable (g/día)			
	^a EPA	^b DPA	^c DHA	Total
U. K. Department of Health (1994)	-	-	-	0.2
Deckere <i>et al.</i> (1998)	-	-	-	0.2
British Nutrition Foundation (1999)	-	-	-	1.0 a 1.4
Simopolous <i>et al.</i> (1999)	>0.22	-	>0.22	0.65
Kris- Etherton <i>et al.</i> (2002)	-	-	-	1.0
Van de Werf <i>et al.</i> (2003)	-	-	-	1.0
Penny <i>et al.</i> (2002)	-	-	-	0.5- 1.8

^a EPA eicosapentaenoico, ^bdocosapentaenoico y ^cdocosahesanoico

2.4 EVALUACION SENSORIAL

Es importante explorar las diferencias en calidad entre los productos pecuarios de animales alimentados con subproductos de la industria que no son utilizados comúnmente en la nutrición animal; en este sentido, es necesario hacer sondeos de opinión del consumidor para medir su grado de aceptación a los productos ofrecidos. Por lo anterior, es importante valorar el potencial en el mercado, en términos de rasgos físicos y cualitativos midiendo la aceptación por parte del consumidor (Rubio *et al.*, 2006)

La evaluación sensorial es una técnica científica que se utiliza para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones de aquellas características de los alimentos y otros productos (artículos de tocador, textiles), que son percibidos por los sentidos de la vista, olfato, gusto, oído y tacto. Esta técnica cubre todos los sentidos e incluye en el análisis de los resultados, una amplia variedad de disciplinas entre las que se encuentran la psicología, la sociología y la estadística. La interpretación de los resultados de una evaluación sensorial, permite conectar el mundo interno de los productos pecuarios enriquecidos con diferentes subproductos al mercado (Anzaldúa, 1994).

Para una empresa orientada al consumidor, el valor más importante es su reputación por proveer productos de calidad. La calidad, es el grado de excelencia de un producto y es la que garantiza la satisfacción de las necesidades del consumidor. Hay tres aspectos que determinan la calidad de un alimento, ellos son: 1) nutricional (la composición química), 2) higiénico sanitario (desde el punto microbiológico) y 3) sensorial (son los atributos del alimento que nos llama a consumirlos). Las industrias de alimentos venden atributos sensoriales por lo tanto, dentro de cada área, los estudios sensoriales sirven para determinar si se realizan cambios y si estos cambios son percibidos en el producto final. Por ejemplo, si se realiza un cambio en el equipamiento utilizado en producción se puede evaluar sensorialmente si el alimento producido presenta cambio o no en sus atributos sensoriales (color, sabor, textura, etc.) (Solans, 2007).

2.4.1 Condiciones generales para el desarrollo de las pruebas

Cuando se usa a las personas como instrumentos de medición, es necesario controlar estrictamente todos los métodos y las condiciones de las pruebas, para evitar los errores causados por factores psicológicos. La evaluación sensorial se ve afectada por una mezcla de impresiones simultáneas, así como la influencia del medio ambiente, lo cual puede influir al realizar la evaluación, limitando la capacidad de proporcionar una evaluación adecuada, por tal motivo hay que controlarlas (Meilgaard *et al.*, 1991)

2.4.2 Área de prueba

El lugar físico debe estar diseñado para minimizar los prejuicios del sujeto, maximizar su sensibilidad y eliminar las variables que no provengan del producto a evaluar. Para ello es aconsejable realizar la prueba en un lugar especial. Debe ser un área

separada de la de preparación de las muestras. Las áreas son estructuras parcialmente cerradas que aunque con diversos y variados diseños, todos ellos deben proporcionar una máxima independencia y privacidad a los panelistas durante las sesiones de evaluación, evitando el contacto directo tanto con sus compañeros como con el administrador de la prueba. Los accesorios mínimos con que cuenta el área, incluyen una fuente de corriente eléctrica, un recipiente para poder enjuagarse entre muestra y muestra, una fuente de energía para el encendido y control de iluminación, una ventanilla para la entrega y recepción de las muestras a evaluar, los más sofisticados cuentan con interfon y control individual de aire acondicionado (Soto, 1990).

2.4.3 Presentación de las muestras

Es ampliamente conocido que los catadores se dejan influenciar por las características generales del material de prueba, de ahí la importancia de que las muestras tengan que ser preparadas y presentadas de la manera más homogénea y uniforme que sea posible, como lo es: temperatura, uniformidad, número, tamaño y cantidad de muestras (15- 10g de carne) y codificación de las muestras para evitar la preferencia o inclinación a números o letras. Los evaluadores pueden ser influenciados por características de las muestras que son irrelevantes. Para ello a veces es necesario enmascarar cambios de color con iluminación especial o utilizando recipientes adecuados o agregando algún colorante (Soto, 1990).

2.4.4 Evaluadores

Hay diferentes factores que influyen en la aceptabilidad de un alimento, como por ejemplo: hábitos, patrones culturales, grado de educación de la población, problemas

fisiológicos, daltonismo, anosmia (insensibilidad a ciertos olores), ageusia (insensibilidad a ciertos gustos), edad (los niños responden de diferente manera que las personas de la tercera edad), sexo (no influiría significativamente), propaganda, estatus social, fumar (baja la sensibilidad a ciertos gustos), memoria sensorial y stress; por lo cual es de vital importancia que los panelistas reúnan ciertas características: interés, salud, integridad, motivación e inteligencia (Soto, 1990).

2.4.5 Tipo de pruebas

Hay dos tipos de métodos de análisis que se pueden realizar y estos son los métodos afectivos y los analíticos. De acuerdo al tipo de información que se desea conocer se puede realizar uno u otro (Solans, 2007).

Los métodos afectivos: (de agrado) abarcan pruebas de aceptabilidad (si me gusta o no), pruebas del grado de aceptabilidad usando escalas hedónicas (cuanto me gusta) y pruebas del grado de preferencia (ordenar las muestras según el grado de preferencia). Cuando se trabaja con consumidores para que las conclusiones sean confiables, las normas indican que generalmente es necesario, trabajar con 100 o más personas para eliminar respuestas poco confiables, como la de una persona resfriada, cansada o que realiza la prueba únicamente por curiosidad.

En los métodos analíticos: se trabaja con gente entrenada, por lo tanto se trabaja con menos personas, por el entrenamiento recibido los datos son más confiables, con menos error y reproducibles. Estos métodos utilizan para estudiar pequeñas diferencias entre alimentos, para describir y cuantificar esas diferencias. También se pueden trazar perfiles sensoriales de un producto y a partir de ello, por ejemplo determinar la fecha de

vencimiento, o la sustitución de una materia prima por otra debida al cambio de un proveedor o una sustitución.

2.4.6 Prueba de aceptación

Pedrero y Pangborn (1989) describen el método de aceptación utilizado en el presente trabajo de tesis, el objetivo de esta evaluación es de acuerdo a un criterio personal- subjetivo, es decir si la muestra presentada es aceptable o rechazable para su consumo. Este concepto de aceptabilidad puede utilizar de distintas maneras: ¿le gusta esta muestra de caramelo?, ¿compraría o no este producto?, ¿Daría usted este puré de manzana a su niño?, etc.

Las muestras en la prueba de aceptación requieren de por lo menos una muestra para evaluar; en el caso de que sean varias, cada una debe considerarse por separado o independientemente de la siguiente. Esta prueba no requiere de referencia o muestras para comparar, ya que el juez- afectivo utiliza su propio criterio y gusto personal para juzgar la muestra como aceptable o rechazable para el consumo. La muestra se presentará en la forma, y si es posible, dentro del contexto en que la evaluaría un consumidor normal.

Los jueces en pruebas afectivas se llaman jueces- afectivos o simplemente consumidores. Las personas que participen en este tipo de pruebas no requieren de entrenamiento alguno, y se aconseja que por lo menos deseen participar en dicha evaluación. La población elegida debe corresponder a los consumidores potenciales o habituales del producto en estudio. Estas personas no deben de conocer la problemática del análisis, sino entender el procedimiento de la prueba y responder a ella.

Las hojas de respuesta de alguna manera deben de ser limitativos a la prueba, de tal manera que cada muestra sea evaluada de forma individual y responda si le agrada o no dicha muestra. Para efectuar el análisis de datos se registra el número de personas que aceptaron la muestra, contra el número de rechazos. Otra forma consiste en expresar estos números en porcentaje de aceptación que tuvo el producto. Para determinar si la aceptación es significativa, se utilizan las tablas de significancia $p= 1/2$, de dos colas, de acuerdo con el número de ensayos efectuados; si el número de la tabla es menor que el de la prueba, se deduce que la muestra se acepta de manera significativa por dicha población.

Una de las principales ventajas de este tipo de pruebas, es que se trata de una prueba sencilla y rápida, que proporciona una idea general de aceptación o rechazo del producto en cuestión; por otra parte permite conocer la variación en la concentración de un ingrediente que agrada a una población específica. Dentro de las limitaciones que tiene, es el requerir de gran número de evaluaciones para considerar a los resultados como representativos de las respuestas de la población o del mercado. Mediante esta prueba sólo determinamos la aceptación o rechazo hacia el producto, más no la razón que hay tras dicha decisión.

2.5 EFECTO DE LA UTILIZACIÓN DE ACEITE DE PESCADO EN PRODUCCIÓN DE CARNE

2.5.1 Uso del aceite de pescado

El pescado es un recurso abundante, y parte del pescado no es utilizado por lo cual se obtienen varios subproductos. Un subproducto de la industria pesquera es el aceite de pescado, el cual gracias a su contenido de AGPI, la carne de pollo se puede ver

enriquecida con ácidos grasos omega-3, con lo cual se puede dar un giro a su producción y comercialización (Domínguez y Flores, 2000).

2.5.2 Composición del aceite de pescado

Los aceites contienen triacilglicerol de ácidos grasos, principalmente con cantidades inconsistentes de fosfolípidos y esteres de glicerol. Es característico de los aceites que contengan una gama amplia de ácidos grasos de cadena larga, además de un alto grado de inestabilidad, e inestabilidad principalmente por el alto número de ligaduras dobles. Dentro de las cinco familias de ácidos grasos conocidas, se hará énfasis en los AGPI de la serie omega-3 y omega-6 presentes en el aceite de pescado, y que han sido el origen de numerosos estudios científicos, en el Cuadro 2.3 se presenta la composición de aceite de menhaden el cual ha sido usado principalmente en los experimentos en los cuales se pretende enriquecer la carne con omega-3 y omega-6.

Cuadro 2.3 Contenido de ácidos grasos en el aceite de menhaden (*Brevoortia tyrannus*)

Ácido Graso	Porcentaje	Ácido Graso	Porcentaje
14:0	8.35	19:0	0.11
15:0	0.86	20:0	0.15
16:0	15.17	20:1	1.32
16:1	11.62	20:2	0.31
16:2	2.37	20:3	0.40
16:3	1.96	20:4	2.30
16:4	1.73	20:5	16.03
17:0	0.76	21:5	0.79
18:0	2.67	22:0	0.10
18:1	9.50	22:1	0.31
18:2	1.81	22:4	0.33
18:3	1.82	22:5	3.92
18:4	3.47	22:6	10.83

Fuente: Ziegler y Filer, (1997)

La naturaleza compleja del aceite de pescado depende de varios factores. Los ácidos grasos de los aceites varían ampliamente con la especie de pescado, su alimentación y época del año. La composición de los aceites puede variar debido a factores externos ya que contienen cantidades pequeñas e inconstantes de hidrocarburos insaponificables, ceras, alcoholes, grasa y otros, lo cuales pueden alterar sus propiedades en magnitudes desconocidas, además de poder sufrir degradaciones por hidrólisis y/o oxidación, que llevan a la formación de ácidos grasos libres y oxidación de grasas insaturadas (Navarro *et al.*, 1972).

2.5.3 Influencia del uso del aceite de pescado, en los parámetros productivos de pollos de engorda

Se han realizado diversos experimentos para determinar el efecto de la inclusión de aceite de pescado sobre los parámetros productivos, ya que estos pueden verse afectados o favorecidos, según sea la situación. Cuando el nivel de EM no se reduce en las dietas donde se incluye aceite de pescado, se observa que los parámetros productivos generalmente son favorecidos, esto debido a que se mejora el perfil de ácidos grasos en la dieta, lo cual podría traer como consecuencia un replanteamiento de los niveles de EM necesarios para los pollos de engorda. En otros experimentos cuando el nivel de EM se reduce debido a la inclusión del aceite de pescado en las dietas, se observa que los parámetros productivos se reducen o no son afectados, de tal manera que no se ha determinado cual es el nivel de inclusión óptimo para que no afecte la producción.

Aparslan y Ozdogan (2006) sin afectar los niveles de EM estimaron que al adicionar 0, 2 ó 4% de AP, la conversión alimenticia fue de 1.95, 1.71 y 1.86 respectivamente. Estos resultados son similares a los reportados por Newman *et al.*

(2002), quienes sin modificar los niveles de energía, suplementaron con 8% de aceite de pescado (AP), aceite de girasol (AG) o cebo (C). La ganancia de peso no se afectó mientras que la conversión alimenticia se favoreció para el uso de AG (1.87) y AP (1.92) en comparación con C (2.05).

En experimentos donde se sustituye un aceite por aceite de pescado a partir de una dieta basal, no se encuentran resultados muy uniformes. Balevi y Coskun (2000) realizaron un estudio en donde la adición de aceite de pescado (5%) en la dieta de pollo de engorda, disminuyó significativamente la ganancia diaria de peso (37.5 g) en comparación con el tratamiento con 5% de aceite de maíz (43.9 g); mientras que la conversión alimenticia no fue afectada. Por su parte, Hope (1990) no observó diferencias en el comportamiento productivo al adicionar hasta 5% de aceite de menhaden. Domínguez y Flores (2000) encontraron que el uso de 3% de aceite de atún en dietas para pollos de engorda no afectó el consumo, pero redujo la ganancia de peso y conversión alimenticia ($p < 0.05$) durante la fase de iniciación; mientras que para la fase de finalización, no existió efecto adverso al usar aceite de atún.

Se podría pensar que la baja palatabilidad del aceite de pescado (AP) reduciría el consumo de alimento afectando directamente a los parámetros productivos; sin embargo, al ser expuesto el animal a un cambio repentino de dieta y comenzar a suministrarle aceite de pescado, no deprimió el consumo de alimento. Lopez- Ferrer *et al.* (1999) sustituyeron aceite de canola y linaza por AP (8.2%) durante las dos últimas semanas de la engorda de pollos, observando que no se presentaron diferencia significativas en los parámetros productivos. Gonzales- Esquerri y Leeson (2000) al alimentar pollos de engorda por 7 o 14 días, después de los 35 días de edad con un nivel de aceite de 0.75 y

1.5% de aceite de pescado, no observaron diferencias significativas en la conversión alimenticia ni en la ganancia de peso para ninguno de los casos.

Otro aspecto importante en los experimentos en que se utiliza aceite de pescado, muestra que el sistema inmunológico es reforzado, lo que trae como consecuencia que el animal posea una mejor salud, y que puede verse reflejado en un mayor rendimiento productivo. Douglas y Kirk (1997) al alimentar pollos en crecimiento con 0.5, 1 y 2% de AP, observaron una mayor respuesta inflamatoria e inmunológica de los pollos infectados por *Salmonella*, bronquitis, *Staphilococcus aureus* o que no habían sido inmunizados contra estas enfermedades. De igual forma, Ramesh y Cherian (2003) mencionan que al incrementar el contenido de ácidos grasos omega-3 y omega-6 en la dieta de pollos de engorda, se reduce la hipersensibilidad y aumenta la producción de anticuerpos al presentarse alguna infección bacteriana.

Al efectuar el análisis económico del uso del aceite de pescado no se ha encontrado evidencia clara para recomendar su uso, ya que se observa que al usar niveles muy altos la rentabilidad comienza a disminuir o bien el nivel adecuado varía en las diferentes etapas de la engorda. Aparslan y Ozdogan (2006) mencionan que al utilizar 2% de AP se obtiene una utilidad de 2.34 US\$, cifra que resulta significativamente mayor que usar 4% de AP (2.02 US\$) y no utilizar AP (2.07 US\$). En un trabajo realizado por Domínguez y Flores (2000) estos autores encontraron que el nivel óptimo económico para la etapa de 3 a 24 días fue de 0%, mientras que para la etapa de 25 a 52 días fue de 3%.

2.5.4 Calidad sensorial de la carne de pollo enriquecida con omega-3

Además de evaluar los beneficios nutricionales que proporciona la carne de pollo enriquecida con ácidos grasos omega-3 mediante la utilización de aceite de pescado, estos productos también deben de ser evaluados en lo que se refiere a la calidad sensorial, debido a que la carne de pollo con altos niveles de aceite de pescado muestra un incremento importante en el sabor a pescado, además de que los resultados de estudios realizados previamente en algunos países pueden no ser trasferibles a otros países, debido a que la percepción de este sabor varía entre países y regiones. Un estudio realizado por Carrick y Hauge (1926; citados por Hargis y Van Elswyk, 1993), reporta cambio de sabor en muestras de carne de pollo alimentados con 4% de aceite de hígado de bacalao. Crawford *et al.* (1975) mencionan que la incorporación de aceite de pescado dentro de las dietas para pollos puede desarrollar un factor oxidativo más alto, ya que el incremento de omega-3 en las canales de los pollos significa una reducción en la estabilidad oxidativa de la carne (O'Keefe *et al.*, 1995), derivando en problemas de aceptación de la carne (Jeun- Horng *et al.*, 2002); percepción que puede variar de un país a otro, así como de una región a otra (Surai y Sparks, 2001).

En algunos trabajos donde se utilizó aceite de pescado en la alimentación de pollos de engorda se observa que el sabor de la carne no se ve alterado utilizando niveles inferiores al 1%, ya que después de este nivel se detecta sabor a pescado, defecto que puede ser corregido mediante la combinación de aceite de pescado con otro aceite de origen vegetal. Lopez- Ferrer *et al.* (2001) utilizando niveles de 4% de aceite de pescado no observando efecto en las propiedades sensoriales de la carne, ya que no se presentó rechazo por parte del consumidor. Sin embargo en un trabajo anterior Lopez- Ferrer *et al.* (1999) adicionaron hasta 8.2% de aceite de pescado a pollos de engorda, el uso de tal

nivel fue inaceptable en el consumo de la carne; mencionando que el reemplazar el aceite de pescado con aceite de origen vegetal en las dos últimas semanas de la engorda favorece la aceptación de la carne, pues no se detectan diferencias al usar aceite vegetal durante toda la engorda, aunque el contenido de omega-3 se reduce significativamente. Por su parte, Edwards y May (1965; citados por Hargis y Van Elswyk, 1993) usando panelistas no calificados, reportaron que las muestras de carne de pollo, consumiendo dietas con 2% de aceite de menhaden combinado con otro aceite, son más palatables que las de los pollos que sólo han sido alimentados con aceite de menhaden.

Otro factor que puede alterar las propiedades sensoriales de la carne de pollo es el tiempo de almacenaje, debido a los cambios físicos y químicos que sufre la carne durante este proceso, cambios favorecidos en la carne enriquecida con ácidos grasos poliinsaturados, debido a su menor estabilidad oxidativa. Bou *et al.* (2004) evaluaron las propiedades sensoriales de carne de pollo enriquecida con omegas, a los 15 días y 5 meses de almacenamiento a una temperatura de -20°C. En el análisis sensorial no se detectaron diferencias significativas al evaluar la carne de pollos alimentados con 0, 1.25 y 2.5% de aceite de pescado; sin embargo, el tiempo de almacenaje afectó negativamente la calidad sensorial de la carne en el tratamiento que contenía mayor cantidad de aceite de pescado.

La disminución en la aceptación de la carne, asociada con el uso de aceite de pescado en la alimentación de los pollos de engorda, sugirió a algunos investigadores examinar los efectos de incluir harina de pescado como fuente alternativa de ácidos grasos omega-3, debido a que se tiene la hipótesis de que el sabor inadecuado de la carne de pollos alimentados con aceite de pescado se debe simplemente a la transmisión del sabor del aceite a la carne; sin embargo, al alimentar pollos con harina de pescado la

presencia de un mal sabor solo se ha observado con un nivel superior al 8%. Ratnayake *et al.* (1989) no encontró cambio en el sabor en la carne de pollos alimentados con 4 y 8% de harina de pescado rojo. Sin embargo estos autores notaron que las muestras de carne de pollos alimentados con 12% de harina de pescado rojo, fueron menos preferidas que las de los pollos alimentados con niveles menores. Rojas (1971) investigó los efectos en el sabor de la carne al adicionar harina de anchoveta y antioxidante (etoxiquina) a las dietas de pollos de engorda, utilizando niveles de 2, 3, 5, 8, 10, 15 y 20% de harina, encontraron que la harina de pescado en niveles de hasta 8% de la dieta con o sin antioxidante no produjo carne de mal sabor.

2.5.5 Enriquecimiento de carne de pollo con ácidos grasos omega-3

La grasa de pollo contiene 33.5% de grasa saturada, 30.5% insaturada y 32% poliinsaturada (Ratnayake *et al.*, 1989); al manipular estos tres componentes, la carne de pollo puede ser más atractiva para los consumidores, por lo que se han realizado estudios para modificar la composición lipídica. Las diferencias en la cantidad y tipo de grasa en el pollo pueden ser influenciadas por factores como edad, sexo, genotipo y principalmente la alimentación

Hulan *et al.* (1989) reportaron un 10% más de omega-3 en la canal de hembras comparadas con la de machos, alimentado ambos sexos con harina de pescado rojo. El genotipo también tiene influencia en la composición de ácidos grasos, debido a que el contenido de grasa en el cuerpo varía según el genotipo (Leskanich y Noble, 1997). Rymer y Givens (2006) mencionan que pollos de la línea Ross responden mejor que pollos de la línea Cobb 500 al enriquecimiento de la carne con omegas. En lo referente a la alimentación en un intento por modificar los niveles de ácidos grasos en la pechuga de

pollo, Yau *et al.* (1991) alimentaron pollos con dietas que contenían aceite de cártamo, olivo o coco; la proporción de ácidos grasos en pechuga fueron similares a la de los aceites utilizados en cada una de las dietas; estos estudios revelan que la composición lipídica en la carne de pollo puede ser alterada mediante la composición de ácidos grasos de la dieta.

La modificación del perfil de ácidos grasos del ave varía dependiendo del tejido que se analice; ya que la modificación de lípidos es mayor en el tejido donde existe más contenido de lípidos. Marion y Woodroof (1963; citados por Hargis y Van Elswyk, 1993) investigaron los efectos que tiene el aceite de maíz y sebo en el alimento de los pollos de engorda sobre la composición de ácidos grasos en pechuga, pierna y piel de pollo. Cada tejido analizado mostró una composición de ácidos grasos similar a la composición de los ácidos grasos utilizados en la dieta, pero la composición en estos difería en músculo y tejido adiposo. Por su parte, Yau *et al.* (1991) reportaron que el tejido adiposo reflejó más la composición de los lípidos del alimento, que el tejido muscular.

Se ha tratado de determinar cual es la cantidad correcta de aceite de pescado para enriquecer la carne con omega-3 (EPA y DHA), observando generalmente que el incremento de omegas en la carne, es proporcional al aumento de aceite ofrecido, mientras que la relación de omega-6: omega-3 se reduce (Cuadro 2.4); además la adición de aceite de pescado en dietas de pollos disminuye la cantidad de ácidos grasos saturados y aumenta los ácidos grasos poliinsaturados (Hope y Bruce, 1990; Jeun-Horng *et al.*, 2002; Cherian, 1996)

Cuadro 2.4 Contenido de ácidos grasos (%de la grasa de cada tejido) en la carne de pollos alimentados con aceite de pescado

Autor	% de aceite	Pieza	Omega-6	Omega-3	^a EPA	^b DHA	omega-6:omega-3
Bou et al. (2004)	1.25	Carne mixta	19.2	4.8	1.0	1.4	4.0
	2.5		18.7	8.3	2.1	2.9	2.3
Lopez- Ferrer (1999)	8	Pechuga	12.4	21.3	6.4	7.8	0.6
Surai y Sparks (2000)	3	Fosfolípidos	-	-	2.1	15.9	1.2
	3	Trigliceridos	-	-	1.1	6.9	4.8
Lopez-Ferrer (2001)	0	Muslo	19.0	8.1	1.3	2.4	1.7
	2		15.9	12.2	1.9	1.7	1.3
	4		1.3	14.5	1.5	1.4	1.3
Balevi y Coskun (2000)	5	Grasa abdominal	21.3	4.5	3.0	-	0.2

^aEicosapentaenoico y ^bdocosahesanoico

El enriquecimiento de la carne de pollo con omega-3 está influenciado por el tiempo y el momento en el que se suministra la fuente que proporciona estos ácidos grasos; en la etapa de iniciación el uso de productos ricos en omega-3 no tiene ningún efecto en la concentración de estos ácidos grasos en el cuerpo del animal, aunque el contenido de omega-3 se afecta cuando es suspendido en la etapa de finalización. Miller *et al.* (1969; citados por Hargis y Van Elswyk, 1993) investigaron los efectos sobre tejido de pollo al incluir aceite de menhaden en el alimento en 2.5 y 5% a las 4, 5, 6 y 7 semanas de alimentación, reportando un incremento total en la deposición de ácidos grasos omega-3 a medida que el período de alimentación fue mayor. Lopez- Ferrer *et al.* (1999) evaluaron la sustitución de AP (8.2%) por aceite de canola ó linaza en las dos últimas semanas de la engorda de pollo. El reemplazo de AP por aceite de linaza no afectó el contenido de omega-3; sin embargo, la sustitución con aceite de canola redujo el contenido de omega-3. Lopez- Ferrer (2001) evaluó tres niveles de aceite de linaza (0,

2 y 4%), obteniendo que la alimentación de pollos con aceite de linaza desde temprana edad no se refleja en una mayor acumulación de omega-3, aunque los pollos puedan metabolizarlos antes de los 24 días de edad; sin embargo, estos mismos autores (Lopez-Ferrer *et al.*, 1999) encontraron que el contenido de omega-3 si se afectó al remplazar el aceite de pescado en las dos últimas semanas de la engorda por aceite de origen vegetal

Se ha estudiado el efecto de la adición de una combinación de aceites con alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados en el contenido de omega-3 de la carne de pollo, observando que no se mejora el perfil de este ácido graso en el cuerpo del animal. Ozpinar *et al.* (2003) alimentaron aves con 6% de distintos tipos de aceites (pescado (AP), linaza, girasol y soya), utilizándolos por separado o en combinación. El mayor nivel de ácidos grasos monoinsaturados se presentó en el tratamiento de AP en comparación con el resto de los tratamientos ($p < 0.05$). La adición de AP redujo los niveles de omega-6 e incrementó los de omega-3 ($p < 0.05$). La relación omega-6: omega-3 se redujo a medida que se incrementaba el AP ($p < 0.01$). Los ácidos grasos DHA y EPA se incrementaron con la mayor adición de AP ($p < 0.01$). La adición de aceite de pescado fue más efectiva que la de aceite de origen vegetal para reducir la relación de omega-6: omega-3.

CAPÍTULO III

3.1 Literatura citada

- Alparslan, G., and M. Ozdogan. 2006. The effects of diet containing fish oil on some blood parameters and the performance values of broilers and cost efficiency. *International Journal Poultry Science* 5: 415- 419.
- Anzaldúa M., A. 1994. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica. Ed Acriba. Zaragoza España. 56 pp.
- Avila G., E. 1990. Alimentación de las aves. Segunda edición. Editorial Trillas. México, D.F. 17-25 pp.
- Balevi, T., and B. Coskun. 2000. Effects of some oils used in broiler rations on performance and fatty acid compositions in abdominal fat. *Revista Médica Veterinaria* 151: 937- 944.
- Barrera P., M. 1998. Ácidos grasos w- 3 y ácidos grasos trans: impacto sobre la salud Universidad de Chile. *Lecturas sobre nutrición* 20: 5-10.
- Belch, J. J. F., and A. Muir. 1998. n-6 and n-3 Essential fatty acids in rheumatoid arthritis and other rheumatic conditions. *The Proceedings of the Nutrition Society* 57: 563–569.
- Bohinsky, R. C. 1998. Bioquímica. Editorial Pearson. 5ª edición. México. 678 pp.
- Bou, R., F. Guardiola, A. Tres, A. C. Barroeta, and R. Codony. 2004. Effect of dietary fish oil, α -tocopheryl acetate, and zinc supplementation on the composition and consumer acceptability of chicken meat. *Poultry Science* 83: 282-292.
- British Nutrition Foundation. 1992. Unsaturated fatty acids: Nutritional and Physiological Significance, Chapman and Hall, London. 527 pp.
- British Nutrition Foundation. 1999. n- 3 fatty acids and health. British Nutrition Foundation, London. 463 pp.
- Carrillo D., S. 1999. Modificación en la composición lipídica del huevo y la carne de pollo mediante la inclusión de productos marinos y vegetales en la ración. In: *Diplomado en Producción Avícola. Módulo II: Alimentación y nutrición de las aves*. México DF. 136 pp.
- Calder, P. C. 2004. n-3 Fatty acids and cardiovascular disease: evidence explained and mechanisms explored. *Clinical Science* 107: 1–11.
- Campos I., I. Mejía, y S. Barquera. 2002. Los ácidos grasos n-3 y n-6 con la enfermedad cardiovascular. Artículo de revisión. *Nutrición Clínica* 5: 79-87.

- Charles, M., H. Sari, B. Entressangles, and P. Desnuelle. 1970. Interaction of pancreatis colipase with a bile salt micelle. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 65: 740- 745.
- Charraga A., S., y T. Hernández L. 1995. Diferentes niveles de energía y proteína en dietas para pollos de engorda en iniciación. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México. 46 pp.
- Chenchen, W., S. H. William, C. Mei, H. L. Alice, M. B. Ethan, K. Bruce, S. Harmon, and L. Joseph. 2006. n- 3 fatty acids from fish or fish- oil supplements, but not alfa- linolenic acid, benefit cardiovascular disease outcomes in primary and secondary prevention studies: a systematic review. *American Journal of Clinical Nutrition* 84: 5- 17.
- Cherian, G., F. W. Wolfe, and J. S. Sim. 1996. Dietary oils with added tocopherols: effects on egg or tissue tocopherols, fatty acids, and oxidative stability. *Poultry Science* 75: 423-431.
- Chudy, A., and I. Schiemann. 1969. Energy metabolism of farm animals. Ed K, L. Blaxter, J. Kielanowski, and Trorbek, G. Newcastle Upon Tyne, Oriel Press. pp: 161- 168.
- Cuca G., M., E. Avila G. y A. Pro M. 1990. Alimentación de las aves. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Estado de México. 72 pp.
- Crawford, L., M. J. Kretsch, D. W. Peterson, and A. L. Lilyblade. 1975. The remedial and preventative effect of dietary alpha- tocopherol on the development of fish flavours in turkey meat. *Journal of Food Science* 40: 751- 755.
- Crespo A., N. 2004. Reducción de la deposición de grasa abdominal en el pollo de carne mediante la modificación del perfil de ácidos grasos de la dieta. Tesis doctoral. Universitat Rovira i Virgili. Tarragona, España. 202 pp.
- Dale, N. M., and H. L. Fuller. 1978. Effect of ambient temperature and dietary fat on feed preference of broilers. *Poultry Science* 56: 1635- 1640.
- Dale, N. M., and H. L. Fuller. 1980. Effect of diet composition of feed intake and growth of chicks under heat stress II constant vs. cycling temperature. *Poultry Science* 59: 1434- 1441.
- De Blas C. y G. Mateos. 1991. Nutrición y alimentación de gallinas ponedoras. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Editorial y Ediciones Mundi- Prensa. Madrid, España. 263 pp.
- Deckere, E. A. M., O. Korver, P. M. Verschuren, and M. B. Katan. 1998. Health aspects of fish and n- 3 polyunsaturated fatty acids from plant and marine origin. *European Journal clinical Nutrition* 52: 749- 753.

- Department of Health. 1994. Nutritional aspects of cardiovascular disease: report of the cardiovascular review group. Committee on Medical Aspects of Food Policy, HMSO, London. <http://www.tfx.org.uk/page61.html>. Consultado en agosto de 2007.
- Domínguez G., L. y I. Flores G. 2000. Niveles óptimos biológico y económico de aceite de atún en dietas para pollo de engorda. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México. 58 pp.
- Douglas R. K., and C. K. Kirk. 1997. Dietary fish oil alters specific and inflammatory immune responses in chicks. *Journal Nutrition* 127: 2039- 2046.
- Edwards, H. M., y K. N. May. 1965. Studies with menhaden oil in practical- type broiler rations. *Poultry Science* 44: 685-688.
- FAO. 1975. The production of fish meal and oil. Fisheries technical, Fishery Industries Division. No. 142, Rev. pp: 1- 63 http://www.fao.org/DOCREP/003/X6899E/X6_899E01.htm. Consultado en Octubre de 2007.
- FAO. 1994. Fats and oils in human nutrition. Report of a joint expert consultation. Rom, 19- 26, October. *FAO Food and Nutrition*. 57-59 pp.
- García C., M. y C. Alcala T. 1998. Composición lípidica de huevos de gallinas alimentadas con productos grasos y proteicos marinos. Santiago de Chile. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 48: 71-76.
- Gonzalez- Esquerria, R., and S. Leeson. 2001 Alternatives for enrichment of eggs and chicken meat with omega-3 fatty acids. *Canadian Journal of Animal Science* 81: 295-305.
- Gonzalez- Esquerria, R., and S. Leeson. 2000. Effects of menhaden oil and flaxseed in broiler diets on sensory quality and lipid composition of poultry meat. *British Poultry Science* 41: 481- 488.
- Griffin, H. D., and C. C. Whitehead 1982. Plasma lipoprotein concentration as an indicator of fatness in broilers: development and use of a simple assay for plasma very low density lipoprotein. *British Poultry Science* 23: 307-313.
- Halpin, K. M. 1992. Requerimientos de lisina para un máximo rendimiento de carne de pechuga en pollos de engorda comercial. Cuarto ciclo de conferencias sobre aminoácidos sintéticos. FERMEX, México, D.F. pp: 73-84.
- Hargis, P. S., and M. E. Van Elswyk. 1993. Manipulating the fatty acid composition of poultry meat and eggs for health conscious consumer. *World's Poultry Science Journal* 49: 251-264.
- Hood, R.L., and R.A.E. Pym. 1982 Correlated responses for lipogenesis and adipose tissue cellularity in chickens selected for body weight gain, food consumption, and food conversion efficiency. *Poultry Science* 61: 122-127.

- Hope, W. P., and A. W. Bruce. 1990. Lipid Measurements in chickens fed different combinations of chicken fat and menhaden oil. *Journal Agriculture Food Chemistry* 38: 1848-1853.
- Horani, F. G., and J. S. Sell. 1977. Effect of feed grade animal fat on laying hen performance and metabolizable energy of rations. *Poultry Science* 56: 1972-1980.
- Huang, Y. S., and J. W. Liu. 1999. Fatty acids: Metabolism. In: M. J. Sadler, J.J. Strain, and B. Caballero. *Encyclopedia of human nutrition* 2: 730-737.
- Hulan, H. W., R. G. Ackman, W. M. Ratnavake, and F. G. Proudfoot. 1989. Omega- 3 fatty acid levels and general performance of commercial broilers fed practical levels of redfish meal. *Poultry Science* 68: 153-162.
- Jensen, L. S., G. V. Schumaier, and J. D. Latshaw. 1970. Extra caloric effect of dietary fat for developing turkeys as influenced by caloric- protein ration. *Poultry Science* 49: 1679-1704.
- Jeun- Horng, L., L. Yuan- Hui, and K. Chun- Chin. 2002. Effect of dietary fish oil on fatty acid composition, lipid oxidation and sensory property of chicken frankfurters during storage. *Meat Science* 60: 161-167.
- Kris- Etherton, P. M., W. S. Harris, and L. J. Appel. 2002. Fish consumption, fish oil, omega- 3 fatty acids, and cardiovascular disease. *American Heart Association Nutrition Committee. Circulation* 106: 2747-2757.
- Leskanich, C.O., and R.C. Noble. 1997. Manipulation of the n-3 polyunsaturated fatty acid composition of avian eggs and meat. *World's Poultry Science* 53: 155-183.
- Lopez- Ferrer, S., M. D. Baucells, A. C. Barroeta, and M. A. Grashorn. 2001. n- 3 enrichment of chicken meat. Use of very long- chain fatty acids in chicken diets and their influence on meat quality: fish oil. *Poultry Science* 80: 741-752.
- Lopez- Ferrer, S., M. D. Baucells, A. C. Barroeta, and M. A. Grashorn. 1999. n- 3 enrichment of chicken meat using fish oil: alternative substitution with rapeseed and linseed oils. *Poultry Science* 78: 356-365.
- Meilgaard, M. V., G. V. Civille, and B. T. Carr. 1991. *Sensory Evaluation Techniques*. CRC, Press, Inc. 2nd edition. USA. 354 pp.
- Morales E., A. y E. Ávila G. 1993. Evaluación de diferentes niveles de energía en dietas para pollos de engorda. *Reunión Anual de Investigaciones Pecuaria. México, Guadalajara, Jal.* 67-72 pp.
- Motta, C., E. Gueux, A. Mazur, and Y. Rayssiguier. 1996. Lipid fluidity of triacylglycerol-rich lipoproteins isolated from copper-deficient rats. *British Journal of Nutrition* 75: 767-773.

- Murray, R. K., D. K. Granner, P. A. Mayes, and V. W. Rodwell. 1996. *Bioquímica de Harper*. Ed. El Manual Moderno. pp: 1021-1044.
- Navarro, J. G., J. C. Saavedra, and F. B Borie. 1972. Influence of dietary fish meal on egg fatty acid composition. *Journal of Science Food and Agriculture* 23: 1287-1292.
- Neil, J., and M. D. Stone. 1996. Fish consumption, fish oil, lipids, and coronary heart disease. *American Heart Association* 94: 2337-2340.
- Nelson, D. L., and Cox, M. M. 2004. *Lehninger principles of Biochemistry* . 4^a Edition. W. H. Freeman and Company. New York. 1100 pp.
- Newman, R. E., W. L. Bryden, E. Fleck, J. R. Ashes, W. A. Buttemer, L. H. Storlien, and J. A. Downing. 2002. Dietary n- 3 and n- 6 fatty acids alter avian metabolism: metabolism and abdominal fat deposition. *British Journal of Nutrition* 88: 11-18.
- Newton, I. S. 1996. Long Chain fatty acids in health and nutrition. *Journal Food Lipids* 3: 233-249.
- Nitsan Z., A. Dvorin, Z. Zoref, and S. Mokady. 1997. Effect of added soybean oil and dietary energy on metabolisable and net energy of broiler diets. *British Poultry Science* 38:101-106.
- Norh, M. O., y D. D. Bell. 1993. *Manual de producción avícola*. Tercera Edición. Ed. El Manual Moderno. México, D. F. 145 pp.
- O'Neill. L. M., K. Galvin, P. A. Morrissey, and D. J. Buckley. 1998. Comparison of effects of dietary olive oil, tallow and vitamin E on the quality of broiler meat and meat products. *British Poultry Science* 39: 365-371.
- O'Keefe, S. F., F. G. Proudfoot, and R. G. Ackman. 1995. Lipid oxidation in meats of omega- 3 fatty acids- enriched broiler chickens. *Food Research International* 28: 417- 424.
- Ozpinar, H., R. Kahraman, I. Abas, H. C. Kutay, H. Eseceli, and M. A. Grashorn. 2003. Effect of dietary fat source on n- 3 fatty acid enrichment of broiler meat. *Archiv für Geflügelkunde* 67: 57-64.
- Pedrero F., D. y M. Pangborn R. 1989. *Evaluación Sensorial de los Alimentos*. Métodos Analíticos. Editorial Alhambra. Madrid España. 103-104 pp.
- Penny, M. K., S. H. Williams, and J. A. Lawrence. 2002. Fish consumption, fish oil, omega- 3 fatty acids, and cardiovascular disease. *American Heart Association* 106: 2747-2756.
- Poste, C. M., D. A. Mackie, G. Butler, and E. Larmond. 1991. *Laboratory methods for sensory analysis of food*. Research Branch Agriculture Canada. 90 pp

- Place, A. R. 1996. Birds and lipids: Living off the fat of the earth. *Poultry and Avian Biology* 7:127-141.
- Ramesh, K. S., and G. Cherian. 2003. Dietary n- 3 fatty acids reduce the delayed hypersensitivity reaction and antibody production more production more than n- 6 fatty acids in broiler birs. Departament of Animal Sciences, Oregon State University, Corvallis, OR. 265 pp.
- Ratnayake, W. M. M., R. G. Ackman, and H. W. Hulan. 1989. Effect of fed fish meal enriched diets on the taste and n- 3 PUFA of 42- day- old- broiler chickens. *Journal of Science and Food Agriculture* 49: 59-74.
- Reaven, E. P., and G. M. Reaven. 1977. Distribution and content of microtubules in relation to the transport of lipid. *Journal of Cell Biology* 75: 559- 572.
- Reid, B. L. 1980. Interaction of dietary metabolizable energy and protein in laying hen diets. *Poultry Science* 59: 454-459.
- Rojas, S. E. 1971. Efectos en pollos de la harina de anchoveta (*Engraulis rigens*)suplementada con etoxiquina en el crecimiento, la pigmentación y el sabor de la carne. Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias. Tercer ciclo de conferencias internacionales sobre avicultura. México. 243 pp.
- Rubio M., S., R. Méndez L. y N. Huerta L. 2006. Comparación en rasgos físicos y cualitativos de carnes de la pierna de cerdo originarias de Estados Unidos y México. Laboratorio de Ciencia de la Carne, Secretaria de Producción Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. 175 pp.
- Rymer, C., and D. I. Givens. 2006. Effect of species and genotype on the efficiency of enrichment of poultry meat with n- 3 polyunsaturated fatty acids. *Lipids* 41: 445- 451.
- Sanders, T.A. 1993 Marine oils: metabolic effects and role in human nutrition. *The Proccedings of the Nutrition Society* 52: 457-472.
- Salmon, R. E., D. Froehlich, and G. Butler. 1984. Effect of canola meal, fish meal and choline plus methionine on the sensory quality of broiler chickens. *Poultry Science* 63: 1994-1998.
- Scheideler, S. E. 1997. Omega eggs a dietary source omega 3 fatty acids. *Institute of Agriculture and Natural Resources*. 345 pp.
- Schreiner, M., H. W. Hulan, E. Razzazi- Fazeli, J. Bohm, and R. G. Moreira. 2003. Effect of different sources of dietary omega- 3 fatty acids on general performance and fatty acid profiles of thigh, breast, liver and portal blood of broilers. *Journal of the science of Food and Agriculture* 85: 219-226.
- Sell, J. L., F. G. Horani, and R. L. Jonhson. 1976. Fatty acids in animal nutrition. *Feedstuffs* 27: 28-29.

- Sibbald, Y. R., S. J. Slinger, and G. C. Ashton. 1961. A synergistic relationship between tallow and undegummed soybean oil. *Poultry Science* 40: 303- 308.
- Simopoulos, A. P. 1991. Omega- 3 fatty acids in health and disease and in growth and development. *American Society for Clinical Nutrition* 54: 438-463.
- Simopoulos, A. P., A. Leaf, and N. Salem. 1999. Essentiality of and recommended dietary intakes for omega- 6 and omega- 3 fatty acids. *Animal Nutrition Metabolic* 43: 127-130.
- Solans M. Consultado en enero de 2007. Evaluación Sensorial. info@saporiti.com.ar - www.saporiti.com.ar
- Soto G., E. 1990. Análisis sensorial de los alimentos y evaluación estadística. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México. 68 pp.
- Stansby, M. E. 1990. Deterioration. In: *Fish oil in nutrition*. 2nd edition. New York . pp: 120-139.
- Surai, P. F., y N. H. C. Sparks. 2001. Designer eggs: from improvement of egg composition to functional food. *Trends Food. Science. Technology* 12: 7-16.
- Surai, P. F., R. C. Noble, N. H. C. Sparks, and B. K. Speake. 2000. Effect of long- term supplementation with arachidonic or docosahexaenoic acids on sperm production in the broiler chicken. *Journal of Reproduction and Fertility* 120: 257- 264.
- Surai, P. F and N. H. C. Sparks. 2000. Tissue- specific acid and alpha- tocopherol profiles in male chickens depending on dietary tuna oil and vitamin E provision. *Poultry Science* 79: 1132-1142.
- Van de Werf, F., D. Ardissino, and A. Betriu. 2003. Management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST- segment elevation. *European Heart. Journal* 24: 28-66.
- Van Elswyk, M. E. 1994. Looking ahead: well eggs become a dietary alternative to fish. *Egg Industry. Journal of Science and Food Agriculture* 26: 531-550.
- Vázquez, C. E. 2003. Lípidos. <http://bq.unam.mx/~evazquez>. Instituto de Química UNAM.
- Vázquez V., J. 2002 Comportamiento productivo y de la calidad de huevo de gallinas alimentadas con aceite de atún en sustitución de aceite crudo de soya. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México. 94 pp.
- Yau, J. C., J. H. Denton, C. A. Bailey, and A. R. Sams. 1991. Customizing the fatty acid content of broiler tissues. *Poultry Science* 70: 167-172.
- Zhirong, L., and J. Sim. 1993. Consumption of omega 3 polyunsaturated fatty acid enriched eggs and changes in plasma lipids of human subjects. *Nutrition Science* 6: 513-517.

- Ziegler, E. E., y L. J. Filer. 1997. Conocimientos actuales sobre nutrición. ILSI, Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. 7ª edición. Organización Mundial de la Salud. Washington. 243 pp.
- Wainwright, P. E. 2002. Dietary essential fatty acids and brain function: a developmental perspective on mechanisms. *The Proceedings of the Nutrition Society* 61: 61–69.

CAPÍTULO IV

EL ACEITE DE ATÚN COMO ALTERNATIVA PARA EL ENRIQUECIMIENTO DE LA CARNE DE POLLO CON ÁCIDOS GRASOS OMEGA-3

TUNA OIL AS AN ALTERNATIVE FOR BROILER MEAT ENRICHMENT WITH OMEGA-3 FATTY ACIDS

José Alfredo **Martínez Aispuro**¹, Mariano Jesús **González Alcorta**¹, Luis Alberto **Miranda Romero**¹, Silvia **Carrillo Domínguez**², Rosa María **Castillo Domínguez**², Arturo **Pro Martínez**³ y Maximino **Huerta Bravo**¹

* Artículo para ser sometido a la Revista Agrociencia.

¹Posgrado en Producción Animal. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México–Texcoco. Chapingo, Estado de México. CP 56230. aispuro232@yahoo.com.mx, marianojga@hotmail.com,

maximinohuerta@yahoo.com. ²Departamento de Nutrición Animal. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán. Vasco de Quiroga #15. CP 14000. Del. Tlalpán. México, DF. Tel. (55) 54870900.

³Programa de Ganadería. Colegio de Posgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo.

RESUMEN

Los aceites de origen marino tienen un alto contenido de ácidos grasos omega-3 y se han usado para prevenir problemas en la nutrición y salud humana, por lo que también se han suplementado en dietas de pollos de engorda. El objetivo de este trabajo fue determinar el nivel de sustitución adecuado de aceite de soya por aceite de atún para enriquecer la carne de pollo con omega-3, con afectación mínima en el comportamiento productivo y en la aceptación de la carne por el consumidor. Los tratamientos consistieron en sustituir aceite de soya por aceite de atún (0, 0.75, 1.5, 2.25 y 3.0%) en una dieta basal maíz-pasta de soya. Se utilizaron 195 pollos machos línea Ross de 1 a 42 días, distribuidos en un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones. La ganancia de peso y el consumo de alimento disminuyeron linealmente conforme se incrementó el nivel de aceite de atún ($p < 0.05$). La suplementación con aceite de atún incrementó la concentración de ácidos grasos eicosapentaenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA) en pechuga, pierna y muslo ($p < 0.05$). La relación de omega-6: omega-3 se redujo ($p < 0.05$) al incrementar los niveles de aceite de atún. El nivel apropiado de sustitución de aceite de soya por aceite de atún para enriquecer con omega-3 la carne de pollo es de 0.75%, ya que a este nivel la aceptación de la carne no se afecta y se incrementa la cantidad de DHA y EPA.

Palabras clave: Pollos, Aceite de atún, Omega 3, EPA y DHA

SUMMARY

The marine oils have a high content of omega-3 fatty acids which have been used to prevent problems in human nutrition and health, for that reason they have been used as supplements in broiler diets. The objective of this work was to determine the appropriate substitution level of soybean oil for tuna oil to enrich chicken meat with omega-3, without negative effects on broiler performance or on acceptance of meat by the consumer. The treatments consisted of substituting soybean oil for tuna oil (0, 0.75, 1.5, 2.25 and 3.0%) in a soybean-corn based diet. 195 Ross male chickens, 1 to 42 days old, were allocated in five treatments and three replicates in a completely randomized design. Weight gain and feed intake decreased ($p<0.05$) as tuna oil dietary level increased. The tuna oil dietary supplementation increased ($p<0.05$) EPA and DHA concentration in breast, leg and thigh. The omega-6:omega-3 ratio decreased ($p<0.05$) with increasing dietary tuna oil levels. The appropriate substitution level of soybean oil for tuna oil to enrich broiler meat with omega-3 is 0.75%, since at this level the acceptance of the meat is not affected and DHA and EPA concentrations increase.

Key words: Broiler, Tuna oil, Omega-3, EPA and DHA

INTRODUCCIÓN

Los ácidos grasos omega-3 han demostrado su eficacia en el control y prevención de problemas cardiovasculares (Calder, 2004); además, poseen propiedades antiinflamatorias (Belch y Muir, 1998) e intervienen en el desarrollo cerebral (Wainwright, 2002) de los seres humanos. Dada la dificultad de alcanzar los niveles recomendados de omega-3 (2 a 9 g al día) en humanos (Scheideler, 1997), en los últimos años se han desarrollado estrategias nutrimentales para obtener alimentos enriquecidos con ácidos grasos omega-3, como en el caso de la carne de pollo. Una de las formas que se ha empleado para lograr tal fin es la inclusión de aceite de pescado en la dieta (Gonzalez-Esquerro y Leeson, 2001). Generalmente, el incremento de omega-3 en la carne, es proporcional al aumento de aceite ofrecido (Hope y Bruce, 1990; Jeun- Horng *et al.*, 2002; Cherian *et al.*, 1996).

Es importante considerar que el uso de aceite de pescado como fuente de omega-3 puede afectar la calidad sensorial de la carne y el comportamiento productivo de las aves. Al evaluar los beneficios nutricionales que proporciona la carne de pollo enriquecida con ácidos grasos omega-3 mediante la utilización de aceite de pescado, debe considerarse la calidad sensorial, ya que la carne de pollos alimentados con niveles altos de aceite de pescado muestra un aumento importante en el sabor a pescado (Edwards y May, 1965; Jeun- Horng *et al.*, 2002). Al respecto, Bou *et al.* (2004) y Lopez- Ferrer *et al.* (2001) estimaron que el uso de niveles de aceite de pescado en niveles menores al 2% no afectan en forma alguna el sabor (Bou *et al.*, 2004; Lopez- Ferrer *et al.*, 2001). Adicionalmente, es importante mencionar que los resultados obtenidos por autores de algunos países, pueden no ser transferibles a otros, debido a

que la percepción de este sabor varía acorde con las costumbres alimenticias (Surai y Sparks, 2001).

Lo deseable sería también, enriquecer la carne de pollo con omega-3 sin afectar los parámetros productivos, tal como lo informa Hope y Bruce (1990). Sin embargo, la sustitución de aceite de pescado por alguno de origen vegetal podría afectar los parámetros productivos, debido en primer lugar a que el nivel de energía metabolizable (EM) del aceite de pescado (7.06 Mcal/kg) es menor que la del aceite vegetal (9.0 Mcal/kg) (Newman *et al.*, 2002), y en segundo lugar por la baja palatabilidad (Leeson y Summers, 2001), por lo que el consumo de alimento podría afectarse. Asimismo, la ganancia puede disminuirse y la conversión alimenticia incrementarse (Balevi y Coskun, 2000). Este trabajo tiene como objetivo determinar el nivel de sustitución adecuado de aceite de soya por aceite de atún para enriquecer la carne de pollo con omega-3, con afectación mínima en el comportamiento productivo de las aves y en la aceptación de la carne por el consumidor.

MATERIALES Y MÉTODOS

Comportamiento productivo

Se utilizaron 195 pollos machos de la línea Ross 308, los cuales se alojaron en jaulas tipo batería. El experimento se llevó a cabo en las instalaciones avícolas del Colegio de Posgraduados, ubicado en Montecillos, Estado de México a una altitud de 2250 m. El clima es de tipo Cb (Wo) (W) (i') g (García, 1988).

El factor de estudio fue probar cinco niveles de sustitución de aceite de soya (0.0, 0.75, 1.5, 2.25 y 3.0%) por aceite de atún sin deodorizar, en dietas para pollo de engorda, con la finalidad de sustituir hasta en 100% el aceite de soya, a partir de una

dieta basal (Cuadro 4.1). Se manejaron dos etapas: iniciación (1 a 21 días) y finalización (22 a 42 días). Las dietas utilizadas fueron isoprotéicas, con base en maíz y pasta de soya, formuladas a partir de los requerimientos sugeridos por el NRC (1994). La EM considerada para el aceite de soya fue de 9.00 Mcal/kg y para el aceite de atún de 7.06 Mcal/kg (Domínguez y Flores, 2000). El agua y el alimento se ofrecieron *ad libitum*.

Cuadro 4.1 Dietas base para la etapa de iniciación y finalización.

Ingrediente	Dieta de Iniciación Cantidad (%)	Dieta de Finalización Cantidad (%)
Maíz	59.17	63.16
Pasta de Soya	29.85	27.06
Glúten de maíz	4.22	2.52
Aceite de Soya	3.00	3.00
Metionina	0.12	0.10
Lisina	0.20	0.10
Treonina	0.0014	0.00
Carbonato de calcio	1.13	1.29
Ortofosfato de calcio	1.58	1.29
Colina (70 %)	0.11	0.11
Premezcla Mineral ^a	0.10	0.10
Premezcla Vitaminas ^b	0.10	0.10
Coccidiostato	0.05	0.05
Pigmento	0.00	0.77
Sal común	0.36	0.35
Análisis calculado		
Energía Metabolizable (Mcal)	3.00	3.10
Proteína cruda (%)	21.00	19.00
Lípidos Totales (%)	5.72	5.77
Calcio (%)	0.90	0.88
Fósforo (%)	0.40	0.34

^aPremezcla de minerales: Selenio 0.2 g, Cobalto 0.1 g, Yodo 0.3 g, Cobre 10 g, Zinc 50 g, Hierro 100 g, Manganeseo 100 g y Vehículo c. b. p 1,000 g. ^bPremezcla de vitaminas compuesta por Vitamina A, 7000,000 UI; Vitamina D₃, 1600,000 UI; Vitamina E, 14,000 UI; Vitamina K, 1.5 g, Tiamina, 1 g; Riboflavina, 2 g; Niacina, 30 g; Vitamina B₁₂, 10 mg; D- Pantotenato de Calcio, 9 g; Biotina, 50 mg; Acido Fólico, 700 mg; Cloruro de Colina, 250 mg; Antioxidante, 0.3 g y Vehículo c. b. p, 1,000 g.

Las variables del comportamiento productivo evaluadas fueron el consumo de alimento, la ganancia de peso y la conversión alimenticia, las cuales se midieron semanalmente. Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS (SAS, 2001). Se usó un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones cada repetición con 13 pollos. El modelo estadístico fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij} \quad [1]$$

Donde Y_{ij} = variable respuesta correspondiente al i -ésimo tratamiento, en la j -ésima repetición; μ = media general; T_i = efecto de i -ésimo tratamiento con aceite de atún; y E_{ij} = error experimental en la j -ésima repetición del i -ésimo tratamiento.

Se realizaron contrastes ortogonales para detectar tendencias lineales o cuadráticas de las variables de respuesta a los niveles de aceite de atún. Por otra parte, se estimaron curvas de respuesta con modelos de regresión para incluirse en los modelos econométricos, con los cuales se calcularon los niveles óptimos biológicos de aceite de pescado que minimizan o maximizan las variables respuesta. Se estimaron coeficientes en los modelos de regresión que incluyeron efectos lineales o cuadráticos significativos con la prueba de t , partiendo de los modelos de regresión siguientes:

$$Y_{ij} = B_0 + B_1 X_i + E_{ij} \quad [2]$$

$$Y_{ij} = B_0 + B_1 X_i + B_2 X_i^2 + E_{ij} \quad [3]$$

Donde Y_{ij} es la variable respuesta, B_0 a B_2 son los coeficientes de regresión, X_i es el nivel de aceite de atún en la dieta, y E_{ij} es el error experimental.

Se calculó el Nivel Óptimo Biológico (NOB) para los parámetros productivos que fueron afectados ($p < 0.05$) por el nivel de inclusión del aceite de pescado, mediante el modelo econométrico siguiente: Función Objetivo: [4]

Minimizar o Maximizar $Y = f(w)$; Sujeto a: $Ax \geq b$ y $x \geq 0$

En donde, Y es el parámetro, $f(w)$ es la curva respuesta del modelo de regresión, en función del nivel de aceite de atún (w), A es el aporte nutrimental de los ingredientes, x son los ingredientes, B son los requerimientos nutrimentales y $x \geq 0$ es la condición de no negatividad. El NOB se calculó con el Solver de Excel (2001).

Concentración de ácidos grasos en la carne de pollo

El perfil lipídico de la carne de los pollos se determinó en el laboratorio del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (INCMNSZ). Se seleccionaron al azar tres aves por unidad experimental, las cuales se sacrificaron por el método de dislocación cervical, tomando muestras de pechuga, pierna y muslo de cada ave. La determinación de lípidos totales se realizó de acuerdo con el método 923.07 de la AOAC (2000), y el perfil de ácidos grasos fue por cromatografía de gases siguiendo el método 994.10 de la AOAC (2000).

Las variables de respuesta fueron, la concentración de lípidos totales y el perfil de ácidos grasos (saturados, monoinsaturados y poliinsaturados, omega-3, omega-6) en pechuga, pierna y muslo.

Se utilizó para el análisis estadístico un modelo completamente al azar con submuestreo, donde las repeticiones están anidadas en el tratamiento, con tres repeticiones; cada repetición con tres submuestras. Se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij} + \delta_{ijk} \quad [5]$$

Donde Y_{ijk} = valor de la variable de respuesta (perfil de ácidos grasos en pechuga, pierna y muslo), correspondiente al i -ésimo nivel de aceite de atún, en la j -ésima

repetición en el k-ésimo submuestreo; μ = media general, T_i = tratamiento del i-ésimo nivel de aceite de atún; ε_{ij} = error experimental; y δ_{ijk} = error de muestreo.

Las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para determinar diferencias entre tratamientos mediante el procedimiento GLM del SAS (SAS, 2001). Se calcularon los NOB para maximizar la concentración de EPA y de DHA en pechuga, pierna y muslo, a partir de un modelo econométrico similar al utilizado en el análisis de las variables de comportamiento [4].

Evaluación sensorial de la carne de pollo

Se realizó una prueba de aceptación (Pedrero y Pangborn, 1989), con el fin de determinar, de acuerdo con un criterio personal subjetivo, si las muestras de carne presentadas de pechuga, pierna y muslo eran aceptadas o rechazadas para su consumo. Esta prueba se llevó a cabo en el INCMNSZ, en cubículos individuales iluminados con luz blanca. Durante tres días consecutivos, un mínimo de 27 jueces afectivos o consumidores habituales de carne de pollo de ambos sexos participaron en la prueba. Un día se evaluó la carne de pechuga de los diferentes tratamientos, otro día la del muslo y finalmente la de la pierna. En todos los casos la carne se cocinó sin piel en una olla express, únicamente con agua (sin agregar ningún condimento). Las muestras fueron preparadas y presentadas de manera homogénea y uniforme ofreciendo alrededor de 10 g. Cada una de las muestras se codificó con diferentes números de 3 dígitos para evitar preferencias. La aceptación o rechazo para cada una de las muestras se expresa como fracción; por ejemplo en pechuga 22/27 es decir 22 de 27 personas aceptaron la muestra. Cada muestra se consideró por separado o

independientemente de la siguiente. La hoja de respuestas que se utilizó se presenta en el Anexo 1.

Para efectuar el análisis de datos se utilizó una prueba no paramétrica (U- Mann-Whitney). Se utilizaron las tablas de significancia, $p= 0.05$ de dos colas de acuerdo con el número de ensayos efectuados (Pedrero y Pangborn, 1989).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento productivo

El consumo de alimento durante el período de iniciación no mostró diferencias significativas ($p>0.05$) entre tratamientos (Cuadro 4.2 y Figura 4.1). Esto coincide con lo obtenido por Domínguez y Flores (2000) quienes al incluir hasta 3% de aceite de atún en la dieta, durante la etapa de iniciación observaron que el consumo de alimento no se redujo. En la fase de finalización de este experimento se observó un menor consumo de alimento ($p<0.01$) a medida que se incrementó el nivel de aceite de atún (Cuadro 4.3 y Figura 4.2), lo cual se puede atribuir a una menor palatabilidad de las dietas con mayor contenido de aceite de pescado. Leeson y Summers (2001) mencionan que el uso de aceite de pescado (AP) no debe superar el 1% de la ración de pollos de engorda, con la finalidad de evitar un sabor a pescado en la dieta. Sin embargo, Lopez- Ferrer *et al.* (1999) al utilizar niveles de hasta 8% de aceite de pescado el consumo de alimento no se afectó ($p<0.05$) durante las dos últimas semanas de la engorda de pollos. De igual forma, Gonzalez- Esquerra y Leeson (2000) no observaron diferencias significativas en el consumo de alimento en pollos de engorda de 35 días de edad, después de que se alimentaron durante un periodo de 7 ó 14 días, con niveles de aceite de pescado de 0.75 y 1.5%. Los resultados obtenidos en este estudio hacen pensar que el consumo de

AP sólo es tolerable durante periodos cortos de tiempo, ya que durante tiempos prolongados se reduce el consumo de alimento en el ave.

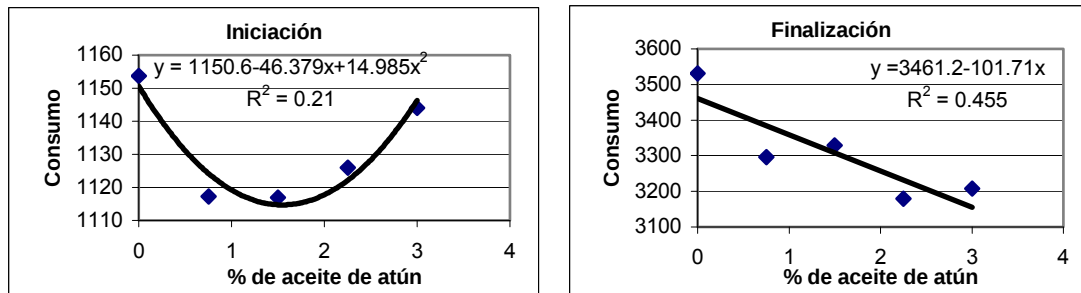


Figura 4.1 y 4.2 Consumo de alimento (g) para la etapa de iniciación y finalización

En lo que se refiere a la ganancia de peso (GP) se detectaron diferencias ($p < 0.01$) en la etapa de iniciación reduciéndose cuadráticamente a medida que se incrementó el uso del aceite de atún (Cuadro 4.2 y Figura 4.3); mientras que para la etapa de finalización la GP (Cuadro 4.3 y Figura 4.4) mostró un comportamiento lineal decreciente ($p < 0.05$); pues a medida que se incrementó el nivel de aceite de atún en la dieta se redujo la GP. La disminución de la GP en los animales que consumieron las dietas con más aceite de atún, puede atribuirse al menor consumo de nutrientes; aunque en la etapa de iniciación no hubo diferencias en el consumo de alimento, las dietas contenían menor cantidad de energía, puesto que la EM del aceite de atún es menor a la del aceite de soya. Para la etapa de finalización el consumo disminuyó, lo cual se reflejó en un menor consumo de nutrientes en general. Estos resultados concuerdan con el trabajo realizado por Domínguez y Flores (2000) donde la ganancia de peso se redujo ($p < 0.05$) a partir de usar 2.25% de aceite de pescado. Por otro lado, Balevi y Coskun (2000) realizaron un estudio en el que se adicionó 5% aceite de pescado en la dieta de pollos de engorda, disminuyendo significativamente la ganancia

diaria de peso en comparación con el tratamiento con 5% de aceite de maíz (37.53 g vs. 43.85 g). Los resultados del presente experimento no concuerdan con los de Newman *et al.* (2002) quienes utilizaron hasta 8% de aceite de pescado y encontraron que la ganancia de peso no se afectó.

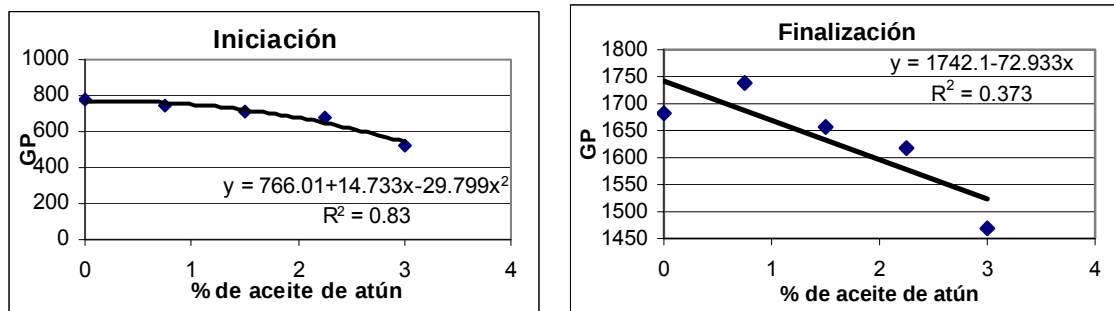


Figura 4.3 y 4.4 Ganancia de peso (g) para las etapas de iniciación y finalización.

Los valores de la conversión alimenticia (CA) tanto para iniciación como para finalización se incrementaron ($p < 0.01$) cuadráticamente (Cuadro 4.2 y 4.3; Figura 4.5 y 4.6) a medida que se incrementó el nivel de aceite de atún en la dieta; este comportamiento se podría explicar debido a que las tasas de decremento del consumo y de la ganancia de peso son diferentes entre sí.

El NOB del aceite de atún para minimizar la CA en la etapa de finalización fue de 1.32%, con el cual se obtuvo una CA de 1.93.

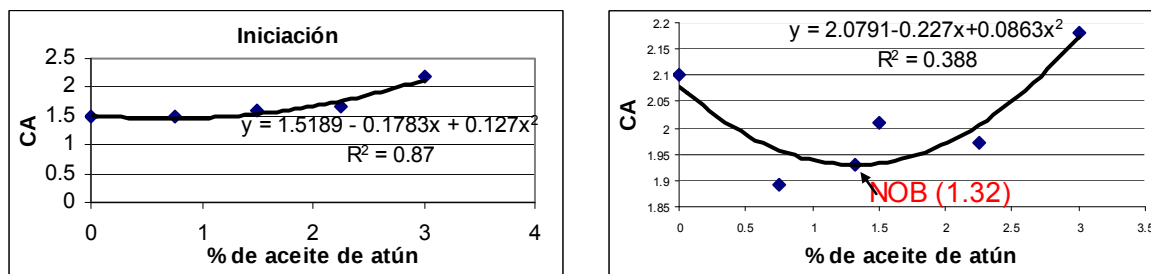


Figura 4.5 y 4.6 Conversión alimenticia para las etapas de iniciación y finalización.

Cuadro 4.2 Medias ($\pm$ error estándar) y contrastes para el comportamiento productivo en iniciación (1 a 21 días) de pollos alimentados con diferentes niveles de aceite de atún.

	Consumo de alimento (g)	Ganancia de peso (g)	Conversión alimenticia
Nivel de aceite de atún			
0.00	1153 $\pm$ 24	775 $\pm$ 13	1.49 $\pm$ 0.01
0.75	1117 $\pm$ 18	746 $\pm$ 19	1.49 $\pm$ 0.02
1.50	1117 $\pm$ 24	706 $\pm$ 37	1.59 $\pm$ 0.07
2.25	1126 $\pm$ 11	682 $\pm$ 17	1.65 $\pm$ 0.03
3.00	1144 $\pm$ 12	527 $\pm$ 19	2.17 $\pm$ 0.07
Contraste			
Lineal	NS	NS	NS
Cuadrático	NS	*	**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, NS: no significativo ($p > 0.05$)

Cuadro 4.3 Medias ($\pm$ error estándar) y contrastes para el comportamiento productivo en finalización (22 a 42 días) de pollos alimentados con diferentes niveles de aceite de atún.

	Consumo (g)	Ganancia de peso (g)	Conversión alimenticia
Nivel de aceite de atún			
0.00	3530 $\pm$ 62	1682 $\pm$ 78	2.10 $\pm$ 0.11
0.75	3296 $\pm$ 44	1738 $\pm$ 43	1.89 $\pm$ 0.05
1.50	3329 $\pm$ 128	1656 $\pm$ 65	2.01 $\pm$ 0.05
2.25	3180 $\pm$ 21	1617 $\pm$ 67	1.97 $\pm$ 0.06
3.00	3207 $\pm$ 49	1469 $\pm$ 52	2.18 $\pm$ 0.04
Contraste			
Lineal	**	*	NS
Cuadrático	NS	NS	*

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, NS: no significativo ($p > 0.05$)

Contenido de lípidos y ácidos grasos en la carne de pollo

El contenido de lípidos totales en pierna y pechuga no se afectaron ($p > 0.05$) por el nivel de aceite de atún (Cuadro 4.4). Para muslo el contenido de lípidos aumentó conforme se incrementó ($p < 0.05$) el contenido de aceite de atún (Cuadro 4.4). El efecto que se presentó en muslo podría explicarse por el hecho de que esta pieza, en

comparación con pierna y pechuga, presenta una mayor cantidad de fibras nerviosas y de tejido conectivo de contracción lenta, dichas fibras tienen mitocondrias más grandes y en mayor cantidad, y su tasa metabólica es más rápida en comparación con las fibras de contracción rápida (Konjufca *et al.*, 1997), lo que puede derivarse en una síntesis mayor de grasa debido a que existe un perfil de ácidos grasos más adecuado para la síntesis de grasas en el retículo sarcoplásmico.

Cuadro 4.4 Contenido de lípidos totales en la carne de pollos alimentados con diferente nivel de aceite de atún.

Pieza	Aceite de atún en la dieta (%)				
	0.00	0.75	1.50	2.25	3.00
Pierna	5.4 ^a	5.2 ^a	5.3 ^a	4.4 ^a	4.8 ^a
	0.3 ^t	0.2 ^t	0.3 ^t	0.2 ^t	0.3 ^t
Muslo	8.2 ^c	8.4 ^{bc}	9.4 ^{abc}	10.5 ^{ab}	11.3 ^a
	0.5 ^t	0.6 ^t	0.3 ^t	0.6 ^t	0.5 ^t
Pechuga	3.3 ^a	3.3 ^a	3.3 ^a	3.3 ^a	3.9 ^a
	0.2 ^t	0.2 ^t	0.1 ^t	0.3 ^t	0.3 ^t

^{a, b, c} Valores de medias con diferente letra en una fila son diferentes ($p < 0.05$)

^t Error estándar de la media

El contenido de ácidos grasos saturados, monoinsaturados, poliinsaturados, total de omega-3 y la relación de omega-6: omega-3 de muslo, pierna y pechuga se presentan en los Cuadros 4.5, 4.6 y 4.7, respectivamente.

La cantidad de ácidos grasos saturados y monoinsaturados no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en pierna y pechuga, mientras que en muslo la cantidad de ácidos grasos saturados y monoinsaturados aumentó ($p < 0.05$) conforme las dietas contenían más aceite de atún. Esto coincide con lo presentado por Ozpinar *et al.* (2003), quienes encontraron que el nivel de ácidos grasos monoinsaturados

aumenta con el uso de 6% de aceite de pescado en comparación con 6% de aceite de lino, girasol o soya ($p<0.05$). La concentración de ácidos grasos poliinsaturados no se vio afectada ($p>0.05$) en pechuga, aunque en muslo y pierna se redujo ($p<0.05$) conforme aumentaba la cantidad de aceite de atún en las dietas. Esto es opuesto a lo encontrado por Lopez-Ferrer (2001) quien al usar hasta 4% de aceite de pescado observó un aumento ($p<0.05$) en el contenido de ácidos grasos poliinsaturados. Este comportamiento podría explicarse por el hecho de que la cantidad de lípidos en muslo y pierna es mayor, y por lo tanto son más notables los cambios en la composición lipídica en respuesta al contenido y composición de la grasa en las dietas. Yau *et al.* (1991) reportan que el tejido adiposo refleja más la composición de los lípidos del alimento, que el tejido muscular.

En pechuga el contenido de ácido alfa-linolénico no se afectó ($p>0.05$), aunque para pierna y muslo se disminuyó ($p<0.05$) a medida que se usaba más aceite de atún. La concentración de ácido linolénico en la carne de pollo aumenta al alimentar a los pollos con aceite de soya y linaza en comparación con aceite de pescado debido a que el contenido de ácido linolénico es mayor en los aceites de origen vegetal (Balevi y Coskun, 2000).

Los ácidos grasos docosahexaenoico (DHA), docosapentaenoico y eicosapentaenoico (EPA) presentaron diferencias significativas ($p<0.05$), de manera ascendente a medida que se incrementó el nivel de aceite de atún en pierna, pechuga y muslo. El NOB para EPA en pierna, muslo y pechuga fue de 3% observando que a medida que se incrementó el nivel de aceite de atún, la carne de pollo se enriqueció sustancialmente. El NOB para DHA varió en cada una de las piezas: para pierna fue de 2.76% de aceite de atún con una concentración de 115.8 mg de DHA/100g de carne; en

pechuga de 2.57% de aceite de atún con una concentración de 96.76 mg de DHA/100g de carne; y en muslo de 3% de aceite de atún con una concentración de 135.04 mg de DHA/100g de carne. En algunos trabajos se menciona que el uso de aceite de pescado en el alimento de pollos de engorda resulta en un incremento gradual en el nivel de EPA y de DHA en la carne de pollo (Cherian *et al.*, 1996; Ozpinar *et al.*, 2003; Bou *et al.*, 2004). En un trabajo realizado por Surai y Sparks (2000), al sustituir 3% de aceite de soya por 3% de aceite de atún encontraron que el contenido de DHA se incrementó de 1% a 6.9% en los triglicéridos del músculo.

El total de omega-3 se incrementó ($p<0.05$) en pierna, pechuga y muslo conforme se aumentó la cantidad de aceite de atún. El total de omega-6 disminuyó ($p<0.05$) conforme el nivel de aceite de atún se aumentó, con lo cual la relación de omega-6: omega-3 se redujo ($p<0.05$) a medida que se incrementó el aceite de atún. Esto coincide con los resultados de varios experimentos donde se menciona que la adición de aceite de pescado aumenta la cantidad de omega-3 y disminuye o mantiene la cantidad de omega-6, reduciendo siempre la relación de omega-6: omega-3 (Ozpinar *et al.*, 2003; Lopez- Ferrer *et al.*, 2001; Surai y Sparks 2000). Esto resulta benéfico en la salud humana, ya que se buscan alimentos con una relación menor de omega-6: omega-3 (British Nutrition Foundation, 1992).

Cuadro 4.5 Concentración de ácidos grasos (mg/100 g de carne) en la carne de muslo de pollos alimentados con aceite de atún.

	Aceite de atún en la dieta (%)				
	0.00	0.75	1.50	2.25	3.00
Alfa- linolénico	118.9 ^a 8.6 [†]	95.6 ^a 6.6 [†]	90.9 ^a 5.3 [†]	59.4 ^b 10.0 [†]	53.5 ^b 2.2 [†]
Eicosapentaenoico	4.1 ^d 0.2 [†]	22.4 ^c 1.3 [†]	39.3 ^b 2.3 [†]	63.0 ^a 2.8 [†]	58.7 ^a 2.3 [†]
Docosapentaenoico	14.1 ^d 0.4	24.1 ^c 0.6 [†]	30.7 ^b 1.3 [†]	40.5 ^a 2.3 [†]	38.6 ^a 0.9 [†]
Docosahexaenoico	12.8 ^d 1.0 [†]	62.2 ^c 1.6 [†]	85.1 ^b 9.7	141.3 ^a 5.1 [†]	128.4 ^a 3.2 [†]
Saturados	1435.5 ^c 120.4 [†]	1506.7 ^{bc} 102.1 [†]	1642.7 ^{abc} 63.7 [†]	1848.6 ^{ab} 101.5 [†]	2004.0 ^a 79.0 [†]
Monoinsaturados	1854.2 ^b 130.0 [†]	1827.9 ^b 141.1 [†]	2053.0 ^{ab} 99.7 [†]	2292.8 ^{ab} 135.5 [†]	2521.2 ^a 111.8 [†]
Poliinsaturados	1796.1 ^a 109.2 [†]	1571.2 ^{ab} 91.3 [†]	1627.9 ^{ab} 79.9 [†]	1578.3 ^{ab} 82.2 [†]	1324.3 ^b 48.0 [†]
Omega-6	1627.2 ^a 99.7 [†]	1352.1 ^{ab} 83.0 [†]	1369.0 ^{ab} 66.3 [†]	1262.0 ^{bc} 73.3 [†]	1031.4 ^c 42.7 [†]
Omega-3	151.3 ^d 8.7 [†]	205.1 ^c 8.2 [†]	247.9 ^{bc} 15.4 [†]	304.3 ^a 14.1 [†]	281.2 ^{ab} 6.8 [†]
Omega-6: Omega-3	10.7 ^a 0.1 [†]	6.5 ^b 0.1 [†]	5.6 ^c 0.2 [†]	4.1 ^d 0.2 [†]	3.6 ^d 0.1 [†]

^{a,b,c} Valores de medias con diferente letra en una fila son diferentes (p<0.05)

[†] Error estándar de la media

Cuadro 4.6 Concentración de ácidos grasos (mg/100 g de carne) en la carne de pierna de pollos alimentados con aceite de atún.

	Aceite de atún en la dieta (%)				
	0.00	0.75	1.50	2.25	3.00
alfa- linolénico	63.7 ^a	50.7 ^{ab}	44.9 ^b	29.5 ^c	21.7 ^c
	5.5 [†]	3.0 [†]	4.2 [†]	2.4 [†]	1.6 [†]
Eicosapentaenoico	3.6 ^d	15.2 ^c	23.5 ^b	28.9 ^{ab}	31.0 ^a
	0.1 [†]	0.9 [†]	1.4 [†]	1.8 [†]	1.7 [†]
Docosapentaenoico	16.2 ^c	27.5 ^b	36.8 ^a	39.1 ^a	34.4 ^a
	0.4 [†]	1.8 [†]	1.6 [†]	1.4 [†]	0.8 [†]
Docosahexaenoico	14.4 ^d	65.7 ^c	89.2 ^b	116.2 ^a	113.9 ^a
	1.0 [†]	2.8 [†]	3.4 [†]	4.1 [†]	4.2 [†]
Saturados	870.7 ^a	835.2 ^a	888.2 ^a	778.7 ^a	856.7 ^a
	63.2 [†]	49.5 [†]	70.1 [†]	46.8 [†]	46.4 [†]
Monoinsaturados	989.4 ^a	953.2 ^a	998.8 ^a	834.4 ^a	975.4 ^a
	84.1 [†]	56.7 [†]	111.3 [†]	68.1 [†]	78.2 [†]
Poliinsaturados	1080.4 ^a	966.0 ^{ab}	938.2 ^{ab}	764.2 ^{bc}	676.1 ^c
	74.572 [†]	52.9 [†]	61.1 [†]	41.3 [†]	31.9 [†]
Omega-6	968.3 ^a	795.0 ^{ab}	733.3 ^b	540.7 ^c	465.4 ^c
	68.1 [†]	44.5 [†]	54.3 [†]	33.5 [†]	25.2 [†]
Omega-3	98.6 ^c	159.7 ^b	195.1 ^a	214.4 ^a	201.9 ^a
	6.2 [†]	8.2 [†]	7.7 [†]	8.2 [†]	7.4 [†]
Omega-6: Omega-3	9.7 ^a	4.9 ^b	3.7 ^c	2.5 ^d	2.2 ^d
	0.1 [†]	0.1 [†]	0.1 [†]	0.1 [†]	0.1 [†]

a, b, c Valores de medias con diferente letra en una fila son diferentes (p<0.05)

[†] Error estándar de la media

Cuadro 4.7 Concentración de ácidos grasos (mg/100 g de carne) en la carne de pechuga de pollos alimentados con aceite de atún.

	Aceite de atún en la dieta (%)				
	0.00	0.75	1.50	2.25	3.00
Alfa- linolénico	29.6 ^a 5.2 [†]	23.2 ^a 4.1 [†]	19.8 ^a 1.6 [†]	15.3 ^a 3.8 [†]	14.9 ^a 2.2 [†]
Eicosapentaenoico	2.4 ^d 0.1 [†]	8.9 ^{cd} 0.8 [†]	14.1 ^{bc} 0.7 [†]	17.1 ^{ab} 2.9 [†]	22.5 ^a 2.4 [†]
Docosapentaenoico	13.3 ^c 0.7 [†]	20.2 ^b 1.9 [†]	24.4 ^{ab} 0.8 [†]	27.0 ^a 2.4 [†]	27.6 ^a 1.2 [†]
Docosahexaenoico	12.0 ^c 1.4 [†]	55.7 ^b 4.9 [†]	81.7 ^a 1.9 [†]	94.7 ^a 5.5 [†]	94.8 ^a 4.6 [†]
Saturados	484.3 ^a 63.4 [†]	458.1 ^a 39.4 [†]	491.8 ^a 29.1 [†]	477.5 ^a 78.8 [†]	634.3 ^a 85.6 [†]
Monoinsaturados	488.8 ^a 83.0 [†]	466.9 ^a 79.1 [†]	479.7 ^a 44.1 [†]	466.9 ^a 109.8 [†]	679.1 ^a 111.3 [†]
Poliinsaturados	547.1 ^a 64.5 [†]	504.9 ^a 50.4 [†]	518.8 ^a 26.4 [†]	453.9 ^a 68.5 [†]	485.3 ^a 51.9 [†]
Omega-6	481.2 ^a 59.742 [†]	389.5 ^a 47.2 [†]	372.5 ^a 23.5 [†]	294.6 ^a 56.3 [†]	319.3 ^a 44.7 [†]
Omega-3	57.4 ^c 4.6 [†]	108.2 ^b 7.2 [†]	140.2 ^{ab} 3.4 [†]	154.2 ^a 12.9 [†]	159.9 ^a 8.4 [†]
Omega-6: Omega-3	8.2 ^a 0.4 [†]	3.6 ^b 0.3 [†]	2.6 ^{bc} 0.1 [†]	1.8 ^c 0.1 [†]	1.9 ^c 0.2 [†]

^{a, b, c} Valores de medias con diferente letra en una fila son diferentes (p<0.05)

[†] Error estándar

Evaluación sensorial de la carne de pollo

Los resultados de la prueba de aceptación muestran diferencias significativas (Cuadro 4.8) en la aceptación de pechuga (p<0.05), muslo (p<0.05) y pierna (p<0.05). La aceptación de las muestras de carne se mantuvo hasta un nivel de 0.75% de aceite de atún, observándose una menor proporción de panelistas que aceptaron la muestra después de este nivel, lo que de acuerdo a la prueba estadística se interpreta como un rechazo; dicho rechazo pudo deberse a que los panelistas percibían cierto sabor a pescado en la carne. Esta información coincide con Jeun- Horng *et al.* (2002) quien

menciona que la carne de pollos alimentados con altos niveles de aceite de pescado muestra un importante incremento en el sabor a pescado. Este efecto podría ser debido al desarrollo de un factor oxidativo más alto, derivando en una mala aceptación de la carne (Crawford *et al.*, 1975), ya que el incremento del omega-3 en las canales de los pollos significa una reducción en la estabilidad oxidativa de la carne (O'Keefe *et al.*, 1995). Aunque se tiene que considerar que la percepción puede variar de un país a otro, así como de una región a otra (Surai y Sparks, 2001), ya que Lopez- Ferrer *et al.* (2001) manejado niveles de 4% de aceite de pescado no observaron ningún rechazo de la carne por parte del consumidor.

La prueba utilizada en este experimento tiene algunas limitaciones, ya que en virtud de que se trata de una prueba subjetiva y se requiere de un gran número de participantes para considerar a los resultados como representativos de las respuestas de una población o mercado. Mediante esta prueba sólo se determina la aceptación o rechazo hacia el producto, más no la razón que hay tras dicha decisión.

Cuadro 4.8 Prueba de aceptación de la carne de pollos alimentados con aceite de atún (proporción de panelistas que aceptaron las muestras de carne).

Aceite de atún (%) en dietas para pollos	Pe+chuga	Muslo	Pierna
0.00	22/27 ^a	17/20 ^a	27/30 ^a
0.75	20/27 ^a	18/20 ^a	21/30 ^a
1.50	13/27 ^r	14/20 ^r	17/30 ^r
2.25	14/27 ^r	7/20 ^r	11/30 ^r
3.00	12/27 ^r	10/20 ^r	11/30 ^r

a: aceptación de la muestra ($p < 0.05$) y r: rechazo de la muestra ($p > 0.05$)

CONCLUSIONES

El incremento en la sustitución de aceite de soya por aceite de atún enriquece la carne de pollo con los ácidos grasos omega- 3, ácido eicosapentaenoico y ácido docosahexaenoico. El nivel óptimo para maximizar la concentración del ácido eicosapentaenoico para pierna, pechuga y muslo fue 3%. Mientras que, los niveles óptimos para el ácido docosahexaenoico fueron 2.76%, 2.57% y 3%, para pierna, pechuga y muslo, respectivamente. El aceite de atún suplementado hasta un nivel 0.75% no afecta la aceptación de la carne. El comportamiento productivo de pollo puede afectarse con la inclusión de aceite de atún, disminuyendo el consumo y la ganancia de peso. Las posibles pérdidas económicas pueden ser compensadas, dándole un valor agregado a la carne.

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. Official methods of analysis. 17th Ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC. 556 pp.
- Balevi, T., and B. Coskun. 2000. Effects of some oils used in broiler rations on performance and fatty acid compositions in abdominal fat. *Revista Médica Veterinaria* 151: 937- 944.
- Belch, J. J. F., and A. Muir. 1998. n-6 and n-3 Essential fatty acids in rheumatoid arthritis and other rheumatic conditions. *The Proceedings of the Nutrition Society* 57: 563–569.
- Bou, R., F. Guardiola., A. Tres, A. C. Barroeta, and R. Codony. 2004. Effect of dietary fish oil, α -tocopheryl acetate, and zinc supplementation on the composition and consumer acceptability of chicken meat. *Poultry Science* 83: 282-292.
- British Nutrition Foundation. 1992. Unsaturated fatty acids: Nutritional and Physiological Significance, Chapman and Hall, London. 359 pp.
- Calder, P. C. 2004. *n*-3 Fatty acids and cardiovascular disease: evidence explained and mechanisms explored. *Clinical Science* 107: 1–11.
- Cherian, G., F. W. Wolfe, and J. S. Sim. 1996. Dietary oils with added tocopherols: effects on egg or tissue tocopherols, fatty acids, and oxidative stability. *Poultry Science* 75: 423-431.
- Crawford, L., M. J. Kretsch, D. W. Peterson, and A. L. Lilyblade. 1975. The remedial and preventive effect of dietary alpha- tocopherol on the development of fish flavours in turkey meat. *Journal of Food Science* 40: 751- 755.

- Domínguez G., L. y I. Flores G. 2000. Niveles óptimos biológico y económico de aceite de atún en dietas para pollo de engorda. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México. 58 pp.
- Edwards, H. M., y K. N. May. 1965. Studies with menhaden oil in practical- type broiler rations. Poultry Science 44: 685-688.
- García E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen: para adaptarla a las condiciones climáticas de la República Mexicana. México, D.F. 130 pp.
- Gonzalez- Esquerro, R., and S. Leeson. 2000. Effects of menhaden oil and flaxseed in broiler diets on sensory quality and lipid composition of poultry meat. British Poultry Science 41: 481- 488.
- Gonzalez- Esquerro, R., and S. Leeson. 2001. Alternatives for enrichment of eggs and chicken meat with omega-3 fatty acids. Canadian Journal of Animal Science 81: 295-305.
- Hope, W. P., and A. W. Bruce. 1990. Lipid Measurements in chickens fed different combinations of chicken fat and menhaden oil. Journal Agriculture Food Chemistry 38: 1848-1853.
- Jeun- Horng, L., L. Yuan- Hui, and K. Chun- Chin. 2002. Effect of dietary fish oil on fatty acid composition, lipid oxidation and sensory property of chicken frankfurters during storage. Meat Science 60: 161-167.
- Konjufca, V. H., G. M. Pesti, and R. I. Bakalli. 1997. Modulation of cholesterol levels in broiler meat by dietary garlic and copper. Poultry Science 76: 1264–1271.
- Leeson, S., and Summers J. D. 2001. Nutrition of the Chicken. 4 th edition. Published University Books. Ontario Canada. 591 pp.

- Lopez- Ferrer, S., M. D. Baucells, A. C. Barroeta, and M. A. Grashorn. 2001. n- 3 enrichment of chicken meat. Use of very long- chain fatty acids in chicken diets and their influence on meat quality: fish oil. *Poultry Science* 80: 741-752.
- Lopez- Ferrer, S., M. D. Baucells, A. C. Barroeta, and M. A. Grashorn. 1999. n- 3 enrichment of chicken meat using fish oil: alternative substitution with rapeseed and linseed oils. *Poultry Science* 78: 356-365.
- National Research Council (NRC). 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th Ed. National Academy Press, Washington, D. C. 155 pp.
- Newman, R. E., W. L. Bryden, E. Fleck, J. R. Ashes, W. A. Buttemer, L. H. Storlien, and J. A. Downing. 2002. Dietary n- 3 and n- 6 fatty acids alter avian metabolism: metabolism and abdominal fat deposition. *British Journal of Nutrition* 88: 11-18.
- O'Keefe, S. F., F. G. Proudfoot, and R. G. Ackman. 1995. Lipid oxidation in meats of omega- 3 fatty acids- enriched broiler chickens. *Food Research International* 28: 417- 424.
- Ozpinar, H., R. Kahraman, I. Abas, H. C. Kutay, H. Eseceli, and M. A. Grashorn. 2003. Effect of dietary fat source on n- 3 fatty acid enrichment of broiler meat. *Archiv für Geflügelkunde* 67: 57-64.
- Pedrero F., D. y M. Pangborn R. 1989. *Evaluación Sensorial de los Alimentos. Métodos Analíticos*. Editorial Alhambra. Madrid España. 103-104 pp.
- SAS. 2001. *SAS/STAT User's Guide*. Cary NC, USA: SAS Inst Inc.
- Scheideler, S. E. 1997. *Omega eggs a dietary source omega 3 fatty acids*. Institute of Agriculture and Natural Resources. 345 pp.

- Surai, P.F. y N.H.C. Sparks. 2001. Designer eggs: from improvement of egg composition to functional food. *Trends Food Science Technology* 12: 7-16.
- Surai, P. F and N. H. C. Sparks. 2000. Tissue- specific acid and alpha- tocopherol profiles in male chickens depending on dietary tuna oil and vitamin E provision. *Poultry Science* 79: 1132-1142.
- Yau, J. C., J. H. Denton, C. A.Bailey, and A. R. Sams. 1991. Customizing the fatty acid content of broiler tissues. *Poultry Science* 70: 167-172.
- Wainwright, P. E. 2002. Dietary essential fatty acids and brain function: a developmental perspective on mechanisms. *The Proceedings of the Nutrition Society* 61: 61–69.

ANEXO 1

Número mínimo de juicios correctos para establecer significancia a varios niveles de probabilidad para pruebas de preferencia por pares (dos colas $p = \frac{1}{2}$) (Pedrero y Pangborn, 1989).

Número de ensayos(n)	Niveles de probabilidad						
	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.005	0.001
7	7	7	7	7			
8	8	8	8	8	8		
9	8	8	9	9	9	9	
10	9	9	9	10	10	10	
11	10	10	10	10	11	11	11
12	10	10	11	11	11	12	12
13	11	11	11	12	12	12	13
14	12	12	12	12	13	13	14
15	12	12	13	13	13	12	12
16	13	13	13	14	14	14	15
17	13	14	14	14	15	15	16
18	14	14	15	15	15	16	17
19	15	15	15	15	16	16	17
20	15	16	16	16	17	17	18
21	16	16	16	17	17	18	19
22	17	17	17	17	18	18	19
23	17	17	18	18	19	19	20
24	18	18	18	19	19	20	21
25	18	19	19	19	20	20	21
26	19	19	19	20	20	21	22
27	20	20	20	20	21	22	23
28	20	20	21	21	22	22	23
29	21	21	21	22	22	23	24
30	21	22	22	22	23	24	25
31	22	22	22	23	24	24	25
32	23	23	23	23	24	25	26
33	23	23	24	24	25	25	27
34	24	24	24	25	25	26	27
35	24	25	25	25	26	27	28
36	25	25	25	26	27	27	29
37	25	26	26	26	27	28	29
38	26	26	27	27	28	29	30
39	27	27	27	28	28	29	31
40	27	27	28	28	29	30	31
41	28	28	28	29	30	30	32
42	28	29	29	29	30	31	32
43	29	29	30	30	31	32	33

Anexo 2