

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

ENRIQUECIMIENTO DEL HUEVO DE GALLINA PARA EL PLATO CON ÁCIDOS  
GRASOS OMEGA 3 DE ACEITE REFINADO DE PESCADO EN POLVO  
GRANULADO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

PRESENTA

KARLA VANESSA MAILLARD BERDEJA

Asesores:

Dr. Ernesto Ávila González

Dra. Silvia Carrillo Domínguez

México, D.F.

Junio 2014



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## DEDICATORIA

*A mis padres.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, por el financiamiento de la prueba biológica

A la Unión Nacional de Avicultores por haber otorgado el financiamiento necesario para la realización de los análisis de ácidos grasos en las dietas y en el huevo.

A la Dra. Josefina Morales de León, jefa del Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos del INCMNSZ, por las facilidades brindadas para poder realizar las pruebas de evaluación sensorial en las instalaciones del Departamento que dirige, así como por ser el vínculo con la UNA.

A todo el Departamento de Nutrición Animal del INCMNSZ, en especial al Dr. Fernando Pérez-Gil Romo y a la Q.F.B. Sara Montaña Benavides por su apoyo en la realización de los análisis químicos.

A los jóvenes médicos ayudantes del CEIPAv, así como al Dr. Arturo Cortes por su ayuda y disposición en todo momento.

Al MC. Carlos Acosta Trujillo por su apoyo técnico en la parte estadística.

Finalmente a mis asesores: la Dra. Silvia Carrillo y el Dr. Ernesto Ávila por haber dirigido este trabajo, gracias por compartir sus conocimientos conmigo.

## Contenido

<b>Resumen</b> .....	1
<b>I. Introducción</b> .....	3
<b>II. Antecedentes</b> .....	4
2.1 Generalidades sobre los lípidos .....	4
2.2 Ácidos grasos.....	5
2.3 Importancia y beneficios de los AG $\omega$ 3.....	8
2.4 Fuentes de AG $\omega$ 6 y AG $\omega$ 3.....	13
2.5 Recomendaciones nutrimentales de AG $\omega$ 3.....	15
2.6 Producción de huevo de gallina en México .....	16
2.7 Valor nutritivo del huevo de gallina .....	17
2.8 Alimentos funcionales .....	18
2.9 Metabolismo de lípidos en las aves.....	20
2.10 Modificación en la composición lipídica del huevo .....	24
<b>III. Justificación</b> .....	31
<b>IV. Hipótesis</b> .....	32
<b>V. Objetivos</b> .....	32
Objetivo General.....	32
Objetivos específicos .....	32
<b>VI. Materiales y Métodos</b> .....	33
<b>VII. Resultados</b> .....	40
<b>VIII. Discusión</b> .....	50
<b>IX. Conclusiones</b> .....	54
<b>ANEXO</b> .....	56
<b>Referencias</b> .....	59

## Resumen

Los efectos benéficos de los ácidos grasos omega-3 (AG $\omega$ 3) en la salud son ampliamente reconocidos, sin embargo la ingesta adecuada de estos rara vez se lleva a cabo por diversos factores, por lo que el enriquecimiento de una gran variedad de alimentos con AG $\omega$ 3 ha sido considerada una manera de aumentar la ingesta de estos compuestos bioactivos, por la mayor parte de la población. Dado que el consumo *per capita* de huevo de gallina en México es elevado, además de su excelente valor nutricional y por ser accesible en cuanto a costo y disponibilidad para la población, se le ha considerado como una alternativa para enriquecerlo con AG $\omega$ 3. El objetivo principal de este trabajo de investigación, fue determinar si al suplementar la dieta de gallinas ponedoras con un concentrado de AG $\omega$ 3 de origen marino en forma granulada (Omega 3 Duralife®), aumenta el contenido de los ácidos eicosapentenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA) en el huevo de gallinas ponedoras, sin afectar las variables productivas de las aves, la calidad física y características sensoriales del huevo. Se utilizaron, 192 gallinas de la línea Hy line W36 con 48 semanas en producción. Las aves se distribuyeron al azar, en 4 tratamientos con 4 repeticiones de 12 gallinas cada una. Los tratamientos administrados durante 8 semanas fueron: tratamiento 1 (dieta base), tratamiento 2 (Dieta base + 750 ppm de Omega 3 Duralife®), tratamiento 3 (Dieta base + 1500 ppm de Omega 3 Duralife®) y tratamiento 4 (Dieta base + 2250 ppm de Omega 3 Duralife®). El contenido total de omega-3 (g/100g de huevo) en el huevo para los tratamientos 1, 2, 3 y 4 fue de 431.7, 482.09, 521.4 y 604.11 respectivamente; mientras que la relación  $\omega$ 6: $\omega$ 3 fue 9.2, 9.0, 8.4 y 7.6, respectivamente. En el caso

de EPA+DHA, el contenido en huevo (mg/100g) en el tratamiento 1 fue de 249.7, en el tratamiento 2 fue de 286.2; en el tratamiento 3 fue de 325.2 y en el tratamiento 4 fue de 410.4 ( $P < 0.05$ ). Se concluye que la inclusión del concentrado Omega 3 Duralife® en la dieta de las aves en los niveles antes mencionados, aumenta el contenido de omega 3, principalmente EPA y DHA en el huevo, sin afectar negativamente la respuesta productiva de las aves, la calidad interna del huevo y las características sensoriales del mismo, así pues, el nivel óptimo para enriquecer el huevo con el concentrado de origen marino en granulado, en dietas para gallinas es a partir de 1500 ppm.

**Palabras clave:** ácidos grasos omega-3, ácidos grasos omega-6, huevo enriquecido, ácido eicosapentaenoico, ácido docosahexaenoico, gallinas de postura.

## I. Introducción

En México, las enfermedades crónico-degenerativas tales como la diabetes, dislipidemias, hipertensión arterial, enfermedades del corazón, neoplasias malignas, accidentes cerebro vasculares y las nefropatías, son los padecimientos que predominan entre la población de edad adulta y constituyen las principales causas de mortalidad en el país (SALUD., 2001, GEOGRAFIA., 2012).

Diversos autores, atribuyen el incremento de este tipo de padecimientos a que la dieta de los seres humanos ha ido cambiando. En las primeras etapas de la historia de la humanidad, la dieta de nuestros ancestros tenían niveles de ingesta calórica baja, era alta en fibra, rica en frutas, vegetales, pescado y cárnicos ocasionales; existía un balance adecuado entre los ácidos grasos  $\omega$ -6 (AG $\omega$ 6) y los ácidos grasos  $\omega$ -3 (AG $\omega$ 3). Este tipo de dieta, estableció los patrones genéticos que nos rigen, sin embargo hoy en día el ser humano vive en un ambiente nutricional totalmente diferente al de nuestros antepasados (Shapira et al., 2008, Simopoulos, 2008).

Las sociedades industriales actuales, se han caracterizado por un incremento en la ingesta de energía, grasas saturadas, AG $\omega$ 6, grasas *trans*, granos de cereales y un decremento en la ingesta de frutas, vegetales, fibra, calcio, antioxidantes y de AG $\omega$ 3 (Simopoulos, 2008).

Actualmente, los efectos benéficos de los AG $\omega$ 3 en la salud son ampliamente reconocidos; sin embargo, la ingesta adecuada de estos rara vez se lleva a cabo por diversos factores, por lo que el enriquecimiento de una gran variedad de alimentos con AG $\omega$ 3, ha sido considerada una manera de aumentar la

ingesta de estos compuestos bioactivos por la mayor parte de la población. Dado que el consumo *per capita* de huevo de gallina en México es elevado (22.8 kg) (AVICULTORES., 2013), por su excelente valor nutritivo y por ser accesible en cuanto a costo y disponibilidad para la población, se le ha considerado como una alternativa para hacer llegar a la población los beneficios de los AG $\omega$ 3.

## **II. Antecedentes**

### **2.1 Generalidades sobre los lípidos**

Los lípidos son biomoléculas orgánicas insolubles en el agua, que pueden extraerse de las células y de los tejidos mediante disolventes no polares, por ejemplo, el cloroformo, el éter o el benceno (Laguna y Piña, 2002).

Desempeñan diversas funciones biológicas como transporte y almacenamiento de combustible catabólico, cubierta protectora de diversos órganos, componentes estructurales de membranas, componentes de superficies celulares relacionados con el reconocimiento de las células, especificidad de especie e inmunidad de tejidos (Lehninger, 1988); así como, acarreadores de electrones, cofactores enzimáticos, agentes emulsificantes, mensajeros intracelulares y como hormonas, entre otros (Laguna y Piña, 2002).

Son constituyentes importantes de la dieta, no sólo por su alto contenido energético, sino también porque en esta fracción están contenidos vitaminas solubles en grasa y ácidos grasos esenciales (Murray et al., 2006).

Se han clasificado a los lípidos de diferentes maneras. La clasificación más satisfactoria, es la que se basa en la estructura de sus esqueletos (Murray et al., 2006, Lehninger, 1988):

1.- Lípidos simples. Ésteres de los ácidos grasos con diversos alcoholes.

a) Grasas: Esteres de ácidos grasos con glicerol.

b) Ceras: Esteres de ácidos grasos con alcoholes de cadena larga.

2.-Lípidos complejos: Ésteres de ácidos grasos que contienen grupos adicionales al alcohol y el ácido graso.

a) Fosfolípidos: Contienen un residuo de ácido fosfórico adicional a los ácidos grasos y al alcohol.

b) Glucolípidos (glucoesfingolípidos): Lípidos con un ácido graso, esfingosina y carbohidrato.

c) Otros lípidos complejos: Lípidos como los sulfolípidos y los aminolípidos.

En esta categoría pueden incluirse las lipoproteínas.

3.- Lípidos precursores y derivados. Éstos incluyen ácidos grasos, glicerol, esteroides, cuerpos cetónicos, hidrocarburos, vitaminas liposolubles y hormonas.

Los acilgliceroles, el colesterol y los ésteres del colesterilo se denominan lípidos neutros por no presentar carga.

## 2.2 Ácidos grasos

Son ácidos carboxílicos con cadenas hidrocarbonadas de entre 4 y 36 carbonos, son los constituyentes más abundantes de las grasas y los aceites. En algunos ácidos grasos la cadena se encuentra totalmente saturada, como en el

ácido palmítico, mientras que otros contienen una o más dobles enlaces entre carbonos denominándose insaturados, como el ácido oléico (Lehninger, 1988, Laguna y Piña, 2002).

Los ácidos grasos más abundantes en plantas superiores y animales, poseen un número par de átomos de carbono, con cadenas comprendidas entre los 14 y los 22 átomos, aunque predominan los de 16 y 18 carbonos (Laguna y Piña, 2002, Lehninger, 1988).

### *Nomenclatura de ácidos grasos*

Una nomenclatura simplificada para estos compuestos especifica la longitud de la cadena y el número de los dobles enlaces, separado por dos puntos. La posición de cualquiera de los dobles enlaces es especificada por números en forma de superíndice seguido del signo delta (Laguna y Piña, 2002)

La nomenclatura sistémica de mayor uso designa a los ácidos grasos de acuerdo con el hidrocarburo que posee el mismo número y disposición de átomos de carbono, sustituyendo la terminación “o” por la terminación “oico” (sistema ginebrino). Por lo tanto, los ácidos saturados terminan en “anóico” y los ácidos insaturados con enlaces doble terminan en “enóico” (Murray et al., 2006)(Cuadro 1).

Los átomos de carbono se numeran a partir del carbono del carboxilo (carbono número 1), los átomos adyacentes (números 2, 3 y 4) también se conocen como carbonos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  respectivamente, el carbono del grupo metilo terminal se conoce como carbono  $n$  u  $\omega$  (Murray et al., 2006).

Cuadro1. Nomenclatura de ácidos grasos insaturados

Cantidad de átomos de C y posición de los dobles enlaces	Familia	Nombre común	Nombre sistematizado
Ácidos monoenoicos (un enlace doble)			
16: 1;9	$\omega$ 7	Palmitoleico	Cis-9-hexadecaenoico
18:1;9	$\omega$ 9	Oleico	Cis-9-octadecaenoico
18:1;9	$\omega$ 9	Elaídico	Trans-9-octadecaenoico
Ácidos dienoicos (dos enlaces dobles)			
18:2;9,12	$\omega$ 6	Linoléico	Todo-cis-9,12-octadeca dienoico
Ácidos trienoicos (tres enlaces dobles)			
18:3;6,9,12	$\omega$ 6	$\gamma$ -linolénico	Todo-cis-6,9,12-octadecatrienoico
18:3;9,12,15	$\omega$ 3	$\alpha$ -linolénico	Todo-cis-9,12,15-octadecatrienoico
Ácidos tetraenoicos (cuatro enlaces dobles)			
20:4;5,8,11,14	$\omega$ 6	Araquidónico	Todo-cis-5,8,11,14-eicosatetraenoico

Fuente: Harper Bioquímica Ilustrada. 28 ed. (2006) (Murray et al., 2006)

Es posible introducir enlaces dobles en las posiciones  $\Delta^4$ ,  $\Delta^5$ ,  $\Delta^6$  y  $\Delta^9$  en la mayoría de los animales, pero nunca más allá de la posición  $\Delta^9$  (Murray et al., 2006).

Los mamíferos son capaces de sintetizar sus propios ácidos grasos saturados y monoinsaturados, pero no los poliinsaturados, por tal motivo estos

últimos se denominan ácidos grasos esenciales (Laguna y Piña, 2002, Trautwein, 2001).

Hay dos clases de ácidos grasos esenciales, los ácidos grasos omega-6 ( $AG\omega 6$ ) y los ácidos grasos omega-3 ( $AG\omega 3$ ). La diferencia entre ellos se basa en la localización del primer doble enlace, contando a partir del metilo terminal de la molécula de ácido graso (Simopoulos, 2008, Trautwein, 2001). Por lo tanto, en los  $AG\omega 6$  el primer doble enlace se encuentra entre el sexto y séptimo átomo de carbono, mientras que en los  $AG\omega 3$  el primer doble enlace se encuentra entre el tercer y cuarto átomo de carbono (Simopoulos, 2008).

Como los ácidos grasos con dobles enlaces entre átomos de carbono son vulnerables a la agresión oxidativa, los seres humanos y otros organismos de sangre caliente almacenan la grasa principalmente como los ácidos grasos saturados palmítico y esteárico. Por otro lado, dado que las membranas celulares deben ser flexibles para una función óptima, para conseguir este requisito, los fosfolípidos de membrana contienen un ácido graso saturado y un ácido graso poliinsaturado, de estos últimos el más abundante es el ácido araquidónico (Mahan et al., 2009), mientras que el ácido linoléico integra del 10 al 20% de los ácidos grasos totales de los triacilglicéridos y fosfoglicéridos (Lehninger, 1988).

### 2.3 Importancia y beneficios de los $AG\omega 3$

Los AG  $\omega$ -6, son representados por el ácido linoléico (AL 18:2;9,12) y los AG  $\omega$ -3 por el ácido  $\alpha$ -linolénico (ALA 18:3;9,12,15). Estos son metabolizados a cadenas más largas de 20 a 22 átomos de carbono e incrementan el grado de insaturación mediante la adición de dobles enlaces al extremo carboxilo, AL es metabolizado a ácido araquidónico (AA 20:4;5,8,11,14) y el ALA a ácido eicosapentaenónico (EPA 20:5;3,6,9,12,15 ) y ácido docosahexaenónico (DHA 22:6;3,6,9,12,15,18) (Trautwein, 2001)

Existe una competencia entre los AG $\omega$ 6 y los AG $\omega$ 3 por las enzimas desaturasas; sin embargo, ambas enzimas desaturasas delta 4 y delta 6 prefieren a los AG $\omega$ 3 (Hagve y Christophersen, 1984, Connor, 2000). Sin embargo, una alta ingesta de AL interfiere con la desaturación y elongación de ALA (Ross, 2002).

Además la enzima delta 6 es limitada y existe evidencia de que disminuye con la edad (Dumm y Brenner, 1975), así como en infantes prematuros (Carlson et al., 1986); mientras que en algunos diabéticos, se encuentra limitada la habilidad para convertir ALA en EPA y DHA (Honigmann et al., 1982).

Se ha estimado en la población en general, que 10-15% del ALA es convertido en EPA, mientras que la síntesis de DHA es limitada, así mismo se ha encontrado que de cada 10 g de ALA consumidos en la dieta, 0.5 a 1 g de EPA es incorporado al plasma y a las membranas celulares (Welch et al., 2010).

La habilidad del EPA y DHA para desplazar al AA de las membranas celulares cuando se aumenta la ingesta de los primeros en la dieta, puede resultar en un cambio hacia los eicosanoides menos potentes de los AG $\omega$ 3. Es también probable que los distintos procesos celulares que implican estados alterados de

los eicosanoides, por ejemplo la expresión de genes de proteínas reguladoras, se vean influenciadas de manera diferente según el tipo de ácido graso poliinsaturado presente dentro de la célula (o en los componentes de fosfolípidos de las membranas celulares) (Connor, 2000).

Estos dos ácidos grasos esenciales no son interconvertibles, son metabólica y funcionalmente distintos, y a menudo sus funciones fisiológicas son opuestas (Connor, 2000).

Los efectos benéficos de los AG $\omega$ 3, se describieron por vez primera en esquimales de Groenlandia quienes consumían una dieta alta en productos marinos y tenían bajas tasas de enfermedades coronarias, asma, diabetes mellitus tipo 1 y esclerosis múltiple (Simopoulos, 2002).

Hoy en día numerosos estudios epidemiológicos y clínicos sugieren que una dieta alta en ácidos grasos poliinsaturados  $\omega$ 6, así como la proporción  $\omega$ 6: $\omega$ 3 juega un papel importante en las altas tasas de enfermedades crónicas en países occidentales, donde la relación es desde 15:1 hasta 17:1 (Shapira et al., 2008, Simopoulos, 2000). Se ha estimado, que relación  $\omega$ 6: $\omega$ 3 óptima es de 2:1 a 3:1 (Mahan et al., 2009).

Los eicosanoides provenientes del AA, son biológicamente activos en muy pequeñas cantidades (Simopoulos, 1991). El AA es el precursor de numerosas moléculas incluidas las prostaglandinas, prostaciclina, tromboxanos y leucotrienos, llamados eicosanoides porque contienen 20 átomos de carbono, y son de suma importancia en la respuesta inflamatoria, la vasoconstricción, la agregación plaquetaria y respuesta inmune. Los AG $\omega$ 6, son precursores de

prostaglandinas y tromboxanos de la serie 2 ( $\text{PGI}_2$ ,  $\text{PGE}_2$ ,  $\text{TXA}_2$ ) y de leucotrienos de la serie 4 ( $\text{LTB}_4$ ) potentes vasoconstrictores y favorecedores de la formación de trombos, de procesos inflamatorios y de adherencias. Por lo tanto, altas cantidades de eicosanoides procedentes de los  $\omega 6$  inducen la proagregación plaquetaria y un efecto protrombótico, incrementa la viscosidad de la sangre, los vasoespasmos y la vasoconstricción (Ross, 2002), aumentando el riesgo de enfermedades cardiovasculares y favoreciendo el desarrollo de procesos inflamatorios y reacciones alérgicas (Castillo-Badillo et al., 2005).

Por otro lado, el EPA es precursor de prostaglandinas y tromboxanos de la serie 3 ( $\text{PGI}_3$ ,  $\text{PGE}_3$ ,  $\text{TXA}_3$ ), que reducen la síntesis de la  $\text{PGI}_2$  y de células mononucleares involucradas en la formación de trombos y en la vasoconstricción de vasos sanguíneos; y favorece la producción de leucotrienos de la serie 5 ( $\text{LTB}_5$ ); compuestos biológicamente menos activos, que por competición reducen la acción de los leucotrienos de la serie 4. El EPA y el DHA promueven efectos antitrombóticos, vasodilatadores, antiinflamatorios e hipolipémicos (Ross, 2002).

Se ha señalado que una ingesta alta de ALA se correlaciona con tasas más bajas de enfermedad coronaria, como sucede en las poblaciones de Creta y Japón (Burdge, 2004). En estudios de intervención con  $\text{AG}\omega 3$ , en pacientes que han sufrido un infarto al miocardio, se ha demostrado una reducción en la mortalidad global y de causa cardiovascular y un descenso en la incidencia de muerte súbita (Camarero et al., 2005). Tres mecanismos principales parecen estar involucrados en el efecto protector cardiovascular de los  $\text{AG}\omega 3$ ; su efecto antitrombótico, antiinflamatorio y su acción antiarrítmica (Hu et al., 2002, López y Macaya, 2006).

Una de las principales propiedades de los AG $\omega$ 3, particularmente del EPA, es que su consumo reduce el contenido de AA en los fosfolípidos de la membrana de las plaquetas y probablemente también en las células endoteliales, reduciendo la concentración del sustrato necesario para la síntesis de eicosanoides. Algunos de los efectos de los AG $\omega$ 3, son provocados por la modulación en la cantidad y tipo de eicosanoides producidos y por otros mecanismos independientes, como vías de señalización intracelular, la actividad de factores de transcripción y expresión génica (López y Macaya, 2006).

En estudios realizados con animales y en estudios clínicos de intervención, se ha observado que gracias a las propiedades antiinflamatorias que los AG $\omega$ 3 poseen, son útiles en el tratamiento de enfermedades inflamatorias y autoinmunes, como artritis, psoriasis, colitis ulcerativa, lupus eritematoso y esclerosis múltiple entre otras (Simopoulos, 2002).

Un mecanismo mediante el cual los AG $\omega$ 3 podrían reducir la actividad de las plaquetas, es la modificación en la actividad de los receptores de los activadores plaquetarios (López y Macaya, 2006).

La influencia de los AG $\omega$ 3 en el comportamiento, son avalados por estudios variados, que demuestran que la suplementación con estos ácidos grasos produce significativas mejorías en la sintomatología de trastornos psiquiátricos como la depresión mayor, el trastorno bipolar, la esquizofrenia y el trastorno de personalidad limítrofe (Tapia, 2005).

Por otra parte, diversos estudios muestran la asociación de altos niveles de AG $\omega$ 6 con baja densidad ósea en cadera en individuos de ambos sexos. Estos

hallazgos sugieren que una dieta con un buen balance de AG $\omega$ 6/AG $\omega$ 3, es de suma importancia en la preservación de la integridad del esqueleto, sobre todo en adultos mayores (Weiss et al., 2005, Farina et al., 2011, Kettler, 2001).

El papel protector de los AG $\omega$ 3 contra el cáncer es bien conocido. Estudios epidemiológicos indican que las poblaciones que consumen altos niveles de AG $\omega$ 3, tienen menos incidencia de presentar distintos tipos de cáncer como el de próstata, colon y mama, al alterar la mitosis de células cancerosas, incrementando la apoptosis, induciendo diferenciación celular, suprimiendo la angiogénesis y alterando el metabolismo estrogénico. Muchos de los mecanismos que se cree, retardan o previenen el crecimiento de cáncer, también han sido postulados para retardar o prevenir la aparición de metástasis (Hardman, 2002).

Se sabe que, además de ciertos aminoácidos, los AG $\omega$ 3 constituyen el mayor componente de la corteza cerebral y la retina. Están presentes en las membranas de los conos y bastones de la retina y en las membranas sinápticas del cerebro. Los AG $\omega$ 3, son especialmente importantes para el correcto desarrollo natal y postnatal de la retina y el cerebro en niños (Connor et al., 1992). La deficiencia de AG $\omega$ 3 contribuye a disfunciones neurológicas. Inclusive se ha documentado, que la suplementación dietaria con AG $\omega$ 3 resulta benéfica en la reducción de algunos casos de convulsiones por epilepsia (Schlanger et al., 2002).

El estado de deficiencia, puede prevenirse a cualquier edad mediante la provisión de AG $\omega$ 3 en la dieta.

## 2.4 Fuentes de AG $\omega$ 6 y AG $\omega$ 3

La fuente principal de AG $\omega$ 6 es el consumo de aceites vegetales como girasol y maíz y sus derivados no nitrogenados, así como también la leche, aguacate y ciertos frutos secos aunque en menor cantidad. En cuanto a los AG $\omega$ 3, el ALA está presente en diversos alimentos vegetales tales como los aceites de semilla de soya, semilla de linaza, nueces o colza (Mahan et al., 2009). Los AG $\omega$ 3 de mayor longitud de cadenas hidrocarbonadas se encuentran principalmente en productos marinos. Los aceites de pescado son especialmente ricos en EPA y DHA. Cuando los humanos consumen pescado o aceites de pescado, los EPA y DHA reemplazan parcialmente a los AG $\omega$ 6, principalmente al AA en las membranas y probablemente en todas las células, pero especialmente en las membranas de plaquetas, eritrocitos, neutrófilos, monocitos y células del hígado (Simopoulos, 2008).

Sin embargo, es importante mencionar que el contenido de AG $\omega$ 3 procedentes de fuentes marinas varía de acuerdo a la dieta con la que los organismos se alimentan (Calder y Yaqoob, 2009). El EPA y DHA presentes en los cloroplastos de las micro algas o macroalgas marinas, consumidas por los peces, forman parte de los triacilglicéridos, que se depositan principalmente en el tejido adiposo y en la grasa del músculo y vísceras (Uauy y Valenzuela, 2000). También influye la especie animal y método de crianza, así como el lugar y época de captura, ya que, conforme la temperatura del agua disminuye, aumenta el grado de insaturación de los AG en los tejidos para compensar la reducción de la fluidez de las membranas debida a la baja temperatura. Lo contrario ocurre en las regiones templadas, donde la temperatura del agua es mayor a 12°C, y el aceite

obtenido después de procesar el pescado puede tener una reducción de AG $\omega$ 3, por lo que los valores encontrados en la literatura acerca de los valores de AG encontrados en estos organismos es solo un aproximado (Aro et al., 2000).

Aún así, el pescado es considerado la fuente más rica de EPA y DHA, lamentablemente la mayor parte de la población mexicana consume muy poco pescado (Welch et al., 2010).

Para la población en general la Asociación Americana del Corazón (AHA), propone un consumo de pescado de al menos 2 veces a la semana (Lichtenstein et al., 2006); sin embargo, en México sólo el 18.7% de las familias consume pescado una o dos veces por semana, ya sea por el precio del producto (31.9%), por la disponibilidad (39.1%) o simplemente porque no les gusta el pescado (9.5%) (Castillo, 2004).

## 2.5 Recomendaciones nutrimentales de AG $\omega$ 3

Las recomendaciones nutrimentales propuestas para la población española, europea, americana y en general mundial, coinciden en una ingesta dietética de moderada a baja en cuanto al porcentaje de grasas totales ( $\leq 35\%$  del valor calórico de la dieta), baja en ácidos grasos saturados y trans ( $\leq 10\%$ ) y colesterol ( $< 300$  mg/día); con proporciones variables de ácidos grasos moniinsaturados (10 al 20%) y ácidos grasos poliinsaturados (5-10%). Estos porcentajes, se basan esencialmente en la evidencia acerca del papel de la dieta en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y en menor medida, de

diabetes mellitus o de obesidad (Cuadro 2) (Mahan et al., 2009, Simopoulos, 1991) .

Cuadro 2. Ingesta diaria recomendada de ácidos grasos para población adulta sana, basado en una ingesta de 2000 Kcal/d

<b>Ácido graso (g/d)</b>	
Ácido linoleico (C18:2 n6)	4.44
Ácido alfa-linolénico (C18:3 n3)	2.22
Ácido eicosapentaenoico (C20:5 n3)	0.22
Ácido docosahexaenoico (C22:6 n3)	0.22
EPA+DHA	0.65

Fuente: Simopolus(1991)

## 2.6 Producción de huevo de gallina en México

La industria avícola, ha logrado consolidarse a lo largo de los años como la actividad pecuaria más importante de México. Su crecimiento y desarrollo se ha mantenido por años consecutivos, en el 2013 registro un crecimiento del 1.7%. La producción de huevo en México en el año 2013 fue de más de 2,386,576 toneladas, con un consumo *per capita* de 22 kg por persona (AVICULTORES., 2013).

La producción diaria de huevo se comercializa principalmente a granel (80%), empaques cerrados, doceneras y dieciochoneras (14%) y en forma procesada o industrializada (6%) (AVICULTORES., 2013).

## 2.7 Valor nutritivo del huevo de gallina

El huevo es un alimento sano y muy completo, ha jugado un papel primordial en la alimentación y nutrición humana, principalmente por ser fuente de proteína de excelente calidad por arriba de la leche, la carne y el pescado. Tiene un valor biológico muy alto, 94 en una escala de 100. Se utiliza como patrón para medir la calidad de otras proteínas, ya que la proporción en la que se encuentran los aminoácidos indispensables es la más adecuada y su digestibilidad es del 97% (Aburto et al., 2008, Covadonga, 2009). En el Cuadro 3 se muestra la composición nutrimental del huevo de gallina según Ledesma et al. (2010).

Los lípidos se encuentran concentrados en la yema, existe una excelente relación entre los ácidos grasos poliinsaturados (0.72 g/huevo de 60 g) respecto a los ácidos grasos saturados (1.5 g/huevo de 60 g); y una proporción elevada de monoinsaturados (2 g/huevo de 60 g). Contiene ácido oleico (ácido graso monoinsaturado) y ácido linoléico, (ácido graso indispensable) (Covadonga, 2009). Dentro de los lípidos también se puede incluir a las vitaminas A, D, E, los carotenoides, el colesterol y los fosfolípidos, especialmente la lecitina (fosfatidilcolina) (Covadonga, 2009).

Los carotenoides presentes en la yema intervienen en el desarrollo y maduración del sistema inmunológico (Aburto et al., 2008). La luteína y zeaxantina, son altamente biodisponibles y como antioxidantes han demostrado su eficacia en la prevención de la degeneración macular en retina (Applegate, 2000).

El huevo aporta prácticamente todas las vitaminas, menos la C (Covadonga, 2009) y se considera una de las mejores fuentes de vitamina D

(Aburto et al., 2008). El huevo es una de las pocas fuentes alimenticias que contienen altas concentraciones de colina (Herron y Fernandez, 2004). Contribuye con 10% a 20% del folato en la dieta y 20% a 30% de las vitaminas A, E y B<sub>12</sub> (Applegate, 2000).

Aporta cantidades apreciables de cinc y selenio. El hierro en las yemas, como el hierro en la carne, es altamente biodisponible (Covadonga, 2009).

El huevo debe estar presente en la dieta de los grupos nutriólogicamente vulnerables como son los ancianos, las mujeres en gestación y lactancia, los niños en crecimiento y las personas de bajos recursos. Debe considerarse un alimento recomendable, debido a todas las propiedades nutritivas y funcionales antes mencionadas, y por ser un alimento asequible en cuanto a precio y presencia en el mercado; es versátil y sencillo de preparar, de fácil masticación y deglución, de bajo índice glucémico y bajo aporte calórico. Además tiene múltiples aplicaciones culinarias (Covadonga, 2009).

## 2.8 Alimentos funcionales

Diversas definiciones del concepto "alimentos funcionales", han sido presentadas por numerosas organizaciones. Según el Instituto de Tecnólogos de Alimentos, de Chicago, los alimentos funcionales son aquellos que proporcionan beneficios adicionales fisiológicos más allá de la satisfacción de las necesidades alimenticias y reconoce que los "alimentos funcionales", incluyendo los alimentos

enteros y enriquecidos, o alimentos enriquecidos mejorados, pueden tener un efecto beneficioso en la salud cuando se consumen como parte de una dieta variada (Hasler, 1998).

Los resultados de estudios concluidos en los últimos años, permiten conceder al huevo el mérito de ser un alimento funcional, susceptible de contribuir a preservar y mejorar la salud de los sujetos que lo consumen (Aburto et al., 2008).

La ingesta de dos huevos enriquecidos con AG $\omega$ 3 por día, en una dieta baja en grasa provee 1.4 g/día de AG $\omega$ 3, esto es aproximadamente el 50% de la Ingesta Diaria Recomendada de ALA para adultos (Lewis et al., 2000a).

Cuadro 3. Composición nutrimental del huevo de gallina

Componente	Componente
Energía 158 kcal	Agua 74.00 g
Hidratos de carbono 1.20 g	Hierro 2.10 mg
Proteínas 12.10 g	Fósforo 180.00 µg
Lípidos totales 11.10 g	Zinc 1.44 mg
Ácidos grasos saturados 3.35 g	Tiamina 0.09 mg
Ácidos grasos monoinsaturados 4.08 g	Riboflavina 0.30 mg
Ácidos grasos poliinsaturados 1.24 g	Piridoxina 0.12 mg
Colesterol 548 mg	Cianocobalamina 66.00 µg
Fibra dietética 0 g	Vitamina D3 1.80 µg
Ácido fólico 65.00 µg	Vitamina A (equivalentes de Retinol) 227.00 µg
Calcio 56.00 mg	Niacina (Ácido nicotínico) 0.10 mg
Magnesio 12.00 mg	

Las cantidades de nutrimentos se expresan para 100 gramos de porción comestible del alimento.

Fuente: **Composición de alimentos. Valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo.** México. Ed. Mc Graw Hill. (Ledesma et al., 2010)

La incorporación en yema de AG $\omega$ 3 de hasta 200 mg, es significativo ya que esta cantidad es comparable con la que se encuentra en una porción de 100g de pescado de agua fría (Van Elswyk, 1997).

## 2.9 Metabolismo de lípidos en las aves

### *Transporte de lípidos exógenos*

Los productos de la hidrólisis de la grasa se incorporan en micelas, estas liberan su contenido en las proximidades de la mucosa intestinal, atravesando la membrana celular mediante difusión pasiva. Una vez absorbidos los ácidos grasos, los monoglicéridos se reesterifican mediante la enzima acil-CoA-ligasa

que se encuentra en el retículo endoplásmico de las células de la mucosa intestinal, moviéndose al aparato de Golgi, donde colesterol, proteínas y fosfolípidos son añadidos para formar lipoproteínas (De Blas, 1991).

Las lipoproteínas sintetizadas en las células del intestino se llaman portamicrones. En las aves toma el nombre de portomicrón, debido a que las lipoproteínas formadas entran en los vasos sanguíneos a través de las vesículas intracitoplasmáticas endoteliales y son transportadas desde las venas pancreático duodenal y yeyunal hasta la vena porta (De Blas, 1991).

Los portomicrones, aunque pasan directamente a la circulación portal, no son metabolizados por el hígado debido al gran tamaño que poseen, por lo tanto siguen su camino para ser parcialmente metabolizados en un tiempo de entre 3-4 minutos por tejidos extrahepáticos (De Blas, 1991).

El ingreso de los triglicéridos (TAG) que transportan los portomicrones a los tejidos, depende de la hidrólisis realizada por la lipoproteína lipasa (LPL) (De Blas, 1991).

#### *Transporte endógeno de los lípidos*

Una vez sintetizados los TAG, son incorporados a las lipoproteínas, las cuales son el vehículo de transporte de las grasas, entre el hígado y los tejidos extrahepáticos, por ejemplo el ovario, donde son utilizadas para la formación de la yema del huevo (De Blas, 1991).

Este transporte está a cargo de las lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) las cuales están compuestas por 41,7% de TAG, 15,2% de fosfolípidos, 3,1% de colesterol, 15% de ésteres de colesterol y 26,8% de proteína (apo A-I,

apo B-100, apo B48, apo C-II y además las apo VLDLII) para gallinas (Nimpf y Schneider, 1991).

Las lipoproteínas VLDL y HDL son las dos clases principales de partículas de lipoproteínas que son sintetizadas y secretadas por el hígado. Los restos específicos de la proteína apolipoproteínas (apo), de estas partículas de lipoproteínas también se sintetizan en el hígado, la apolipoproteína B-100 y la apo A-I son las principales apolipoproteínas de VLDL y HDL respectivamente, siendo la apo B-100 de mayor cantidad en las VLDL (Hermier, 1997).

Con respecto a las VLDL, el conjunto de triglicéridos, fosfolípidos, colesterol y apo B (junto con apo-II en las hembras), es un proceso secuencial que comienza en el retículo endoplasmático y termina en el aparato de Golgi, donde las partículas nacientes se empaquetan en vesículas y se secretan (Hermier, 1997).

En las gallinas, además de la VLDL también se secreta vitelogenina (VTG), la cual es una lipofosfoproteína sintetizada en el hígado bajo el control de los estrógenos y que, junto con otras lipoproteínas formará parte de la yema del huevo. Ambas se secretan del hígado y pasan al torrente sanguíneo, donde eventualmente son absorbidas por el ovocito creciente a través de endocitosis, mediada por receptor. Ambas macromoléculas se unen al mismo receptor, denominado receptor de VLDL / VTG, localizado en la membrana plasmática del ovocito (Nimpf y Schneider, 1991).

Los estrógenos estimulan la síntesis de fosfolípidos y TAG, así como la incorporación de acetato y glucosa para la formación de los TAG, además, de la liberación de estos hacia el torrente sanguíneo y la síntesis y acumulación en el

hígado, mientras que la síntesis de colesterol aumenta en menor grado por el hígado (Nimpf y Schneider, 1991, Dashti et al., 1983).

La vitelogénesis se caracteriza por la acumulación de lípidos especialmente TAG, por tal razón la cantidad sérica de VLDL es mayor en las líneas de huevo comparadas con los machos (Osorio y Florez, 2011).

Los oocitos son los receptores de los TAG de las VLDL con apo B-100 en las gallinas ponedoras, únicamente la subclase lipoproteínas apo B tiene acceso a los oocitos receptores. Las VLDL con tamaño mayor a 44 nm sufren una serie de cambios metabólicos y de ensamblaje para formar las VLDL, que son más pequeñas en diámetro (25-44 nm) pero ricas en TAG y son las encargadas de transportar energía necesaria para la yema de huevo (la “y” viene del inglés “yolk”, por esta razón se han denominado VLDLy); las VLDLy contienen grandes cantidades de VLDL-II. El proceso de ensamble de las VLDLy depende del nivel de estrógenos, al parecer, en las gallinas ponedoras los estrógenos transforman todas las VLDL nacientes en VLDLy en los hepatocitos (Osorio y Florez, 2011).

#### *Función de VLDL- II en las VLDLy*

Partículas de VLDL de gallinas ponedoras, contienen grandes cantidades de apo II además de apo B. En los mamíferos, las VLDL se secretan por el hígado y se someten a lipólisis rápidamente por la acción de la lipoproteína lipasa dando lugar a lipoproteínas IDL y finalmente LDL. En gallinas ponedoras, las VLDL no se someten a ninguna lipólisis apreciable en ruta desde el hígado a los oocitos. Considerando estos hechos, se ha investigado la posibilidad de que la apo II funcione como un inhibidor de la lipoproteína lipasa, llegando a la conclusión de

que la presencia de apo II en VLDL asegura la entrega de estas partículas ricas en triglicéridos a las membranas de ovocitos sin la lipólisis sustancial (Nimpf y Schneider, 1991).

En otras palabras durante la puesta de huevos, cantidades masivas de VLDL y VTG son producidas por el hígado bajo el control del estrógeno. La mayoría de las VLDL, que contiene apo II además de apo B (VLDLy), escapan a la lipólisis por la acción protectora de la apo II y se deposita por medio de endocitosis mediada por el receptor en el ovocito en crecimiento. El receptor responsable de la unión y la internalización de VLDL, es una proteína de 95-kDa que reside en la membrana plasmática de ovocitos en crecimiento (Nimpf y Schneider, 1991).

## 2.10 Modificación en la composición lipídica del huevo

La composición de la yema de huevo, es altamente sensible a la manipulación de la dieta de la gallina. Desde 1966, estudios realizados por diversos investigadores, muestran que la composición en ácidos grasos de la yema de huevo se puede modificar fácilmente mediante la adición de lípidos en la alimentación de las gallinas. Varios factores en el proceso de la puesta de huevos, determina el contenido de lípidos de la yema de huevo como son, la incorporación de lípidos en la dieta y la lipogénesis.

Las dietas de las aves suelen ser enriquecidas con harinas de pescado, linaza y DHA de algas (Nitsan et al., 1999, Lewis et al., 2000b). Huevos conocidos como “huevos griegos” tienen una relación  $\omega 6:\omega 3$  baja y elevadas concentraciones de EPA, DPA y DHA. Su contenido total de  $\omega 3$  es de 17.87 mg/g, mientras que un

huevo comercial de los Estados Unidos tiene sólo 1.74 mg/g. La relación  $\omega 6:\omega 3$  en el huevo griego es de 1.3 y en el comercial es de 19.4 aproximadamente (Simopoulos y Salem, 1989). Simopoulos, 2000) reportó los niveles de ácidos grasos en yema de huevo de gallinas comerciales (Cuadro 4). Una gallina alimentada con harina de linaza produce huevos con una relación  $\omega 6:\omega 3$  de 1.6:1 (Ross, 2002).

Cuadro 4. Niveles de ácidos grasos en yema de huevos comerciales (mg/g de yema)

<b>Saturados</b>	<b>mg/g de yema</b>
14:0	0.7
15:0	0.1
16:0	56.7
17:0	0.3
18:0	22.9
Total	80.7
<b>Monoinsaturados</b>	
16:1n-7	4.7
18:1	110.0
20:1n-9	0.7
24:1n-9	-
Total	115.4
<b>Poliinsaturados <math>\omega 6</math></b>	
18:2n-6	26.1
18:3n-6	0.3
20:2n-6	0.4
20:3n-6	0.5
20:4n-6	5.0
22:4n-6	0.4
22:5n-6	1.2
Total	33.9
<b>Poliinsaturados <math>\omega 3</math></b>	
18:3n-3	0.5
20:3n-3	-
20:5n-3	-
22:5n-3	0.1
22:6n-3	1.1
Total	1.7

Fuente: Simopoulos (2000)

Una propuesta reciente de la European Commission Scientific estableció un mínimo de 300 mg/100g de huevo de AG $\omega$ 3 para permitir que los huevos comerciales se etiqueten como fuente de AG $\omega$ 3. Estudios previos indican que una concentración mínima de 6g de AG $\omega$ 3/kg son necesarios para alcanzar el nivel de AG propuesto por este comité (García-Rebollar et al., 2008).

En los últimos años, muchos estudios han examinado la búsqueda de la mejor formulación de la dieta para gallina que aumenten de forma efectiva el contenido de AG $\omega$ 3 de la yema.

Elswyk (1997), realizó un estudio en el que analizó los efectos de distintos suplementos en la dieta de las gallinas: aceite de pescado, semillas de linaza y algas marinas, sobre el contenido de lípidos de la yema de huevo, y si estos modificaban el sabor. El aceite de pescado rico en EPA y DHA, fue muy eficaz en el aumento de AG $\omega$ 3 contenidos en la yema de huevo a niveles de inclusión de 15-30 g/kg, pero impartía un sabor no deseable para el huevo, las semillas de linaza influyeron en el contenido de AG $\omega$ 3 sólo en niveles dietéticos de 150 g/kg, por su parte las algas marinas demostraron ser muy eficaces para aumentar el contenido de AG $\omega$ 3 en la yema de huevo, además de que proporcionaron carotenoides a la yema lo que mejora la estabilidad oxidativa del huevo.

Huang et al. (1990), utilizaron niveles de inclusión de aceite de arenque a 1, 2 y 3% con 0.1% de etoxiquina (para prevenir el enranciamiento de las grasas), en la dieta de las gallinas. En este experimento se observó que la concentración de EPA y DHA en la yema de huevo, se incrementó significativamente, a medida que aumentaba el nivel de inclusión de aceite de arenque en la dieta. Sin embargo, el

incremento total fue mayor que el aumento relativo de EPA. La relación de EPA/DHA en la yema de huevo era inversamente proporcional a la relación de aceite de arenque. No encontraron cambios en las variables productivas estudiadas, así como en las pruebas organolépticas realizadas, esto último atribuido a la etoxiquina utilizada.

Farrel (1998), realizó un experimento en el que las gallinas fueron alimentadas con aceite de pescado hasta 50g/kg de alimento, encontrando concentraciones de AG $\omega$ 3 de 7.34% lo que equivale a 436 mg de AG $\omega$ 3 en un huevo promedio con buenas concentraciones de EPA y DHA (1% y 5.27%) y una relación  $\omega$ 6: $\omega$ 3 de 2:1, en contraste con la observada en los huevos del grupo control (25:1), sin que se afectarían las variables productivas o las características sensoriales de estos.

Castillo et al. (2005), utilizaron aceite de atún como fuente de AG $\omega$ 3 en inclusiones de 1% y 2%, encontrando disminución de AL, ALA y AA conforme se incrementaba la cantidad de aceite, obteniendo un total de AG $\omega$ 3 de 29.94 y 28.49 mg/g de lípidos respectivamente. Las concentraciones de EPA y DHA en el huevo, se incrementaron significativamente (hasta 300% superior que el grupo testigo) y la relación  $\omega$ 6: $\omega$ 3 fue 3 veces menor que en el grupo testigo. Las variables productivas no mostraron diferencias excepto en el peso del huevo que fue menor en los tratamientos donde se incluía aceite de atún.

Esquerra y Leeson (2000), usaron aceite de arenque deodorizado y no deodorizado en niveles de inclusión de 2, 4 y 6% encontrando una disminución lineal del peso del huevo conforme se incrementaba el nivel de inclusión de aceite

de arenque. El nivel de AG $\omega$ 3 aumentó conforme aumentaba la inclusión de aceite de arenque, así a una inclusión de 6% de aceite de arenque deodorizado encontraron un total de AG $\omega$ 3 de 343 mg/50g de huevo, mientras que a una inclusión de 6% de aceite de arenque no deodorizado encontraron un total de 246 mg/50g de AG $\omega$ 3 en el huevo. En cuanto a la concentración de ALA en el huevo, se observó un incremento cuando las dietas contenían más de 2% de inclusión. El contenido de EPA y DHA en el huevo aumentó con todos los niveles de inclusión considerados en el estudio, sin embargo, el incremento fue mayor en aquellos huevos donde se alimentaron a las gallinas con 6% de aceite de arenque no deodorizado. En cuanto a la evaluación sensorial, encontraron un aroma desagradable en aquellos huevos con inclusiones de aceite de arenque mayores a 2% y una mayor aceptación en los huevos de gallinas alimentadas con la dieta testigo que en los huevos de gallinas alimentadas con 2% de aceite de arenque. Sin embargo, no encontraron diferencias en cuanto a aceptabilidad de los huevos con los diferentes tipos de aceite, es decir el deodorizado y el que no lo estaba.

Elswyk 1997, realizó un experimento por 4 semanas en las cuales alimento a las gallinas con niveles de inclusión de 0, 5, 10, 15, 20, 25 o 30g de aceite de arenque/kg de alimento, observando un incremento en las concentraciones de AG $\omega$ 3 en la yema de huevo, en todas las dietas. La máxima concentración fue de 246 mg de AG $\omega$ 3/yema en la semana 3 de experimentación, con un nivel de inclusión de aceite de arenque de 25g/kg; y 234 mg de AG $\omega$ 3/yema en la semana 4 de experimentación con un nivel de inclusión de aceite de arenque de 30g/kg;

sin embargo, en la evaluación sensorial los panelistas detectaron un sabor a pescado no agradable.

Baucells et al. (2000), utilizaron 170 gallinas a las cuales se les proporcionaron dietas enriquecidas con 4% de aceite de pescado durante un periodo de 14 semanas. El aceite de pescado fue sustituido en las siguientes proporciones 25, 50, 75 o 100% por cuatro diferentes fuentes de grasa: aceite de linaza, aceite de colza, aceite de girasol y sebo. En cuanto a las variables productivas no hubo diferencias en ninguno de los tratamientos. Cuando se compararon las diferentes fuentes de grasa en remplazo del aceite de pescado, se encontró que los niveles de AG $\omega$ 3 en yema aumentaban cuando se usaba aceite de linaza. Este estudio mostró que la adición de aceite de linaza en las dietas de las gallinas es bastante eficiente en mantener buenos niveles de AG $\omega$ 3 en huevos incluso poco más que la sola adición de aceite de pescado.

García y Albalá (1998), compararon los huevos de gallinas alimentadas con harina de pescado (HP 9.4%) como fuente proteica, contra los huevos de gallinas a las cuales no se hizo tal inclusión, encontrando valores mucho más significativos de AG $\omega$ 3, EPA y DHA en aquellos con inclusión de HP (7.13g/100g, 0.57g/100g, 5.96g/100g respectivamente) que en aquellos sin inclusión de HP (1.77g/100g, 0.33g/100g, 1.40g/100g respectivamente).

Cachaldora et al. (2008a), observaron que con la suplementación de aceites de pescado, no se afectaba el contenido total de grasas en la yema del huevo, sin embargo si se modificaba la composición de ácidos grasos en la yema, esta suplementación en las dietas incrementaba linealmente el contenido de EPA,

DHA, y el contenido total de  $\omega 3$ , la mayoría de estos efectos fueron cuadráticos, observando que los incrementos de  $\omega 3$  eran más bajos en aquellos con niveles de inclusión más altos de aceite de pescado, un aumento de la inclusión en la dieta de aceite de pescado de 0 a 30 g / kg aumentó linealmente, en la yema, el contenido de EPA y lineal y cuadrática los DPA y DHA, y disminuyó los niveles de AA. Así mismo la concentración de  $\omega 6$  también se ve afectada, la concentración de ácido linoléico incrementa linealmente por cada 1g/kg de LA contenido en la dieta, además observaron que la suplementación con aceite de pescado afecta el contenido de  $\omega 6$  y la relación  $\omega 6:\omega 3$ , conforme se modifican los niveles de  $\omega 3$  en la dieta.

Cachaldora et al. (2008b), incluyeron 15 y 17 g/kg de aceite de pescado junto con diferentes inclusiones de aceite de linaza (1,2,3,4 y 5 g/kg) en la dieta de las aves, encontrando concentraciones de 255 mg/100g de AG $\omega 3$  en el huevo cuando la dieta incluía 15 g/kg de aceite de pescado y 1 g/kg de aceite de linaza. Mientras que con dietas que incluían 17 g/kg de aceite de pescado y 5 g/kg de aceite de linaza, se obtuvieron concentraciones de 360mg/100 g de AG $\omega 3$  en el huevo. Las características sensoriales del huevo no se afectaron.

Yalcín et al. (2007), estudiaron los efectos producidos en los lípidos del huevo, observado una disminución en el contenido total de ácidos grasos saturados en huevos de gallinas suplementadas con aceite de pescado (1.5%), aceite de linaza (4.32% y 8.64%) o ambos (1.5% de aceite pescado y 4.32% de linaza), en especial hubo disminución del palmítico el cual también fue el predominante en todas las dietas, el segundo con niveles más altos encontrados

en sus tratamientos fue el ácido esteárico, el cual no tuvo una influencia significativa en los tratamientos. El ácido mirístico se encontró en muy poca proporción en la yema y su reducción se observó solo en las dietas con semilla de linaza. Los AG $\omega$ 3 en yema aumentaron en todos los casos.

### **III. Justificación**

La ingesta regular de AG $\omega$ 3 resulta benéfica ya que reduce los riesgos de padecer numerosas patologías, incluida la diabetes mellitus tipo 2, el cáncer, enfermedades autoinmunes(GEOGRAFIA., 2012, Laguna y Piña, 2002), desórdenes neurológicos y enfermedades cardiovasculares. Reducen los niveles de triglicéridos, colesterol, los mecanismos pro-inflamatorios y poseen importantes propiedades antitrombóticas(Shapira et al., 2008, Simopoulos, 2008, Laguna y Piña, 2002). En particular, el EPA y DHA juegan un papel importante en la prevención de estas enfermedades y están involucrados en el desarrollo y función de distintos órganos a edades tempranas, especialmente del cerebro y el sistema nervioso (Simopoulos, 2008, Laguna y Piña, 2002).

Una excelente fuente de EPA y DHA son los productos del mar, en especial el aceite de pescado (Lehninger, 1988, Mahan et al., 2009); sin embargo, el consumo de productos marinos en México, está por debajo de lo recomendado que es de 2-3 porciones de 100g a la semana (Hagve y Christophersen, 1984). Por lo tanto, la inclusión de harinas de pescado o aceites de productos marinos ricos en AG $\omega$ 3 en la dieta de los animales, es un medio válido para satisfacer la demanda de los consumidores de productos de origen animal que sean

nutrimentalmente benéficos (Connor, 2000); particularmente del huevo cuyo consumo *per capita* en México, es elevado, constituyendo una buena alternativa para hacer llegar a gran parte de la población compuestos bioactivos tan importantes como los AG $\omega$ 3.

#### **IV. Hipótesis**

Suplementar la dieta de gallinas ponedoras con un concentrado de AG $\omega$ 3 de origen marino en forma granulada, aumentará el contenido de EPA y DHA en el huevo de gallinas ponedoras, sin afectar las variables productivas de las aves, la calidad física y características sensoriales del huevo.

#### **V. Objetivos**

##### Objetivo General

Determinar si al suplementar la dieta de gallinas ponedoras con un concentrado de AG $\omega$ 3 de origen marino en forma granulada, aumenta el contenido de EPA y DHA en el huevo de gallinas ponedoras, sin afectar las variables productivas de las aves, la calidad física y características sensoriales del huevo.

##### Objetivos específicos

- ✚ Evaluar el efecto que sobre las variables de producción tiene incluir en la dieta de gallinas ponedoras diferentes niveles de un concentrado de AG $\omega$ 3 de origen marino en forma granulada.
- ✚ Evaluar el efecto que sobre la calidad física del huevo tiene incluir en la dieta de gallinas ponedoras diferentes niveles de un concentrado de AG $\omega$ 3 de origen marino en forma granulada.
- ✚ Cuantificar en el huevo la concentración de lípidos totales y ácidos grasos  $\omega$ 3al incluir en la dieta de gallinas ponedoras diferentes niveles de un concentrado de AG $\omega$ 3 de origen marino en forma granulada.
- ✚ Evaluar el efecto que sobre las características organolépticas (sabor y olor) del huevo tiene incluir en la dieta de gallinas ponedoras diferentes niveles de un concentrado de AG $\omega$ 3 de origen marino en forma granulada.

## **VI. Materiales y Métodos**

### *Obtención del concentrado de AG $\omega$ 3 en forma granulada*

Fue proporcionado por los Laboratorios Peisa. La composición de dicho producto por cada gramo es la siguiente: 300 mg de aceite refinado de pescado, 200mg de sacarosa, 445 mg de almidón modificado, 45 mg de ascorbato sódico y 10 mg de dióxido de silicio.

### *Ensayo experimental*

La investigación se realizó en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (C.E.I.E.P.Av), de la Facultad de Medicina

Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. El Centro está ubicado en la calle Manuel M. López SN, Colonia Santiago Zapotitlán, Delegación Tláhuac, Distrito Federal, a una altura de 2250 m.s.n.m, en el paralelo 19°17' latitud norte y el meridiano 99° 02' 30" longitud oeste. El clima es de tipo templado subhúmedo (Cw), el mes más frío es enero y mayo el más caluroso; la temperatura promedio anual es de 16°C y la precipitación pluvial anual media de 747 mm.

Se utilizaron 192 gallinas de la línea Hy line W36 con 48 semanas en producción, alojadas en jaulas convencionales dentro de una caseta con ambiente natural. Las aves se distribuyeron al azar en 4 tratamientos, con 4 repeticiones de 12 gallinas cada una. El programa de iluminación fue de 16 horas luz por día. Agua y alimento se suministraron a libre acceso durante las ocho semanas que duró el experimento.

En el tratamiento testigo se utilizó una dieta con base sorgo-soya (Cuadro 5), en los otros tres tratamientos se utilizó la misma dieta base, pero con diferentes niveles de inclusión del concentrado de AG $\omega$ 3, quedando los tratamientos de la siguiente manera:

- Tratamiento 1. Dieta base sorgo + soya
- Tratamiento 2. Como 1+ 750 g de Omega 3 Duralife®/ tonelada
- Tratamiento 3. Como 1+ 1500 g de Omega 3 Duralife®/ tonelada
- Tratamiento 4. Como 1+ 2250 g de Omega 3 Duralife®/ tonelada

Cuadro 5. Composición de la dieta base

<b>Ingrediente (g/1000 kg)</b>	<b>Inclusión</b>
Sorgo 9%	641.591
Pasta de soya 48%	194.540
Carbonato de Calcio	113.731
Aceite de soya	27.929
Ortofosfato 1621	9.776
Sal	4.408
DL-Metionina 99	2.155
L-Lisina HCl	1.263
*Premezcla vitamínica	1.000
Pigmento de xantofilas amarillas de flor de cempazuchil	1.000
Pigmento de xantofilas rojas de chiles del género capsicum	0.800
Cloruro Colina 60	0.500
**Premezcla mineral	0.500
L-Treonina	0.359
<sup>ᵀ</sup> Bacitracina MD	0.300
<sup>ᵀᵀ</sup> Antioxidante	0.150
<b>Aporte calculado</b>	
Proteína cruda %	15.250
Energía metabolizable (EM/kg)	2.830
Lisina dig%	0.710
Met + Cis dig %	0.600
Fósforo disponible %	0.300
Calcio %	4.350

\*La premezcla proporciona por kg. Vitamina A, 40,000 MIOU; Vitamina D3, 8,000 MIOU; Vitamina E, 40,000 g; Vitamina K 310,000 g, Vitamina B1 4,000 g, Vitamina B2 20,000 g, Vitamina B12 60,000 mg; Ácido fólico 1200 g; Acido Pantoténico 32,000 g; Niacina 100,000 g, Calcio 149, 524 g; Excipiente cbp. 100,000.

\*\*La premezcla proporciona por kg: Selenio, 0.4 g; Cobalto, 0.2 g; Yodo, 0.7 g; Cobre, 12.0 g; Zinc, 100.0 g; Manganeso, 120.0 g; Excipiente cbp. 100.0 g.

<sup>ᵀ</sup> BMD 11%: Antibiótico promotor del crecimiento.

<sup>ᵀᵀ</sup>BHT (1.2%), BHA (9.0%) y Etoxiquin (4.8%).

### *Análisis químico de las dietas*

Se determinó el contenido de lípidos totales (método 923.07) y perfil de ácidos grasos (método 969.33) en las cuatro dietas, de acuerdo a los métodos descritos por la AOAC (AOAC, 2000). Las muestras se inyectaron en un cromatógrafo de gases Varian 3400CX equipado con una columna capilar DB-23 (30m x 0.25mm di) y un detector de ionización de flama. El gas acarreador fue nitrógeno, aplicando un flujo de 30mL/min. Las temperaturas utilizadas en el cromatógrafo fueron: columna: 280°C, inyector 260°C y detector 280°C. Los tiempos de retención fueron comparados con un estándar interno (ácido miristoléico).

Los resultados de lípidos totales se reportan como g/100 g de huevo liofilizado, mientras que los ácidos grasos se reportan como mg/100 g de huevo liofilizado.

#### *Evaluación de las variables productivas*

Durante los 56 días de experimentación, se llevó registro del peso y producción de huevo, consumo de alimento, conversión alimenticia y masa de huevo. También se llevó registró de los huevos con anomalías como huevos sucios, con cáscara rota y huevo en fáfara, con el propósito de vigilar que la incorporación del ingrediente a evaluar (concentrado de AG $\omega$ 3), en la dieta de las gallinas, no afectara negativamente las variables de producción.

También se pesaron 16 gallinas por tratamiento al inicio y al final del experimento con la finalidad de registrar aumento o disminución de peso a lo largo de la prueba.

### *Evaluación de la calidad física del huevo*

A la quinta y octava semanas de experimentación, se tomaron al azar 4 huevos de cada réplica para medir la calidad física de los mismos. La evaluación tuvo lugar en las instalaciones del C.E.I.EPAV, las variables consideradas fueron: Unidades Haugh, color de la yema, grosor de cascarón, peso de la yema; utilizando para ello un equipo automatizado (Technical Services and Supplies, Inc.).

### *Cuantificación de lípidos totales y ácidos grasos en el huevo*

Durante la quinta y octava semana de experimentación, se tomaron al azar 4 huevos por repetición, es decir 16 huevos por tratamiento, para determinar en ellos el contenido de lípidos totales y de ácidos grasos. Previo al análisis, se procedió a liofilizar el huevo en el Laboratorio de Análisis Químico y Toxicológico de Alimentos del Departamento de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UNAM, utilizando para ello la liofilizadora Freeze Dryer SuperModulo, marca Edwards®. Los huevos de cada repetición, se mezclaron formando un "pool".

El contenido de lípidos totales (Método 923.07) y el perfil de ácidos grasos (Método 969.33) en el huevo liofilizado, se determinaron de acuerdo a los métodos descritos por la AOAC (AOAC, 2000). Las muestras se inyectaron en un cromatógrafo de gases Varian 3400CX, equipado con una columna capilar DB-23 (30m x 0.25mm di) y un detector de ionización de flama. El gas acarreador fue nitrógeno, aplicando un flujo de 30mL/min. Las temperaturas utilizadas en el

cromatógrafo fueron: columna: 280°C, inyector 260°C y detector 280°C. Los tiempos de retención fueron comparados con un estándar interno (ácido miristoleico).

Los resultados de lípidos totales se presentan en g/100g de huevo liofilizado, mientras que los ácidos grasos en mg/100g de huevo liofilizado y como porcentaje del total de ácidos grasos (%TAG).

#### *Prueba de evaluación sensorial*

Al final del experimento se tomaron al azar 3 huevos por réplica, es decir 12 huevos por tratamiento para poder realizar la prueba de evaluación sensorial. Esta prueba se realizó en el Laboratorio de Evaluación Sensorial del Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán.

Participaron 30 jueces no entrenados, consumidores habituales de huevo, a quienes se le aplicó una prueba de nivel de grado (prueba hedónica), para evaluar el olor y sabor del huevo así como el color de la yema. Se utilizó una escala hedónica de 5 puntos, en la que “gusta mucho” correspondía a 5 y “disgusta mucho” correspondía a 1 (Ver anexo figuras 1, 2 y 3). La prueba tuvo lugar en cubículos individuales.

Para la evaluación de sabor y olor se cocinaron 10 huevos de cada tratamiento (revuelto, sin aceite y sin sal), se tomó una pequeña porción de cada tratamiento, colocando las cuatro muestras en un plato blanco. Cada tratamiento se codificó con 3 números aleatorios. Se presentó a cada juez o panelista una

charola con el plato junto con un vaso de agua y una rebanada de pan blanco de caja. Se les pidió que probaran cada una de las muestras tomando entre cada bocado, un poco de pan blanco y agua, para eliminar cualquier sabor residual e indicaran en la hoja de evaluación el nivel de agrado o desagrado que les producía cada una de las muestras. En este caso se utilizó dentro del cubículo luz roja para que no asociaran el color de la yema con el sabor del huevo.

Para evaluar el color de la yema, cada tratamiento también se codificó con 3 números aleatorios. Los huevos se colocaron en charolas de plástico transparente, sobre una charola de fondo blanco para mejorar la apreciación del color y se pidió a los jueces que observaran detenidamente el color de la yema e indicaran en la hoja de evaluación el nivel de agrado o desagrado que les producía cada una de ellas. En este caso se utilizó luz blanca dentro de cada cubículo.

#### *Análisis estadístico*

Los resultados obtenidos en las variables productivas y calidad física del huevo, se analizaron a través de un análisis de varianza para un diseño completamente al azar y cuando se detectaron diferencias estadísticas se empleó la prueba de Tukey para la comparación de medias, con un nivel de significancia de  $P < 0.05$  mediante el paquete estadístico SPSS®.

Los resultados obtenidos en la prueba de evaluación sensorial, fueron analizados mediante las pruebas no paramétricas de Fridman y la prueba de rangos de Wilcoxon, usando el paquete estadístico SPSS®.

## VII. Resultados

En el Cuadro 6, se observa que en el aceite de soya empleado en la dieta, la concentración de ácido linoléico es mucho mayor, lo que se refleja en el contenido total de  $\omega 6$  y la proporción  $\omega 6:\omega 3$  en la dieta. Por otro lado, el aceite de pescado presenta las concentraciones más altas de EPA (751g) en comparación con el aceite vegetal (0.62) y el concentrado omega 3 (453.07g); fue el único en el que se reportó la presencia de ácido docosapentaenoico y presenta los niveles totales más bajos de  $\omega 6$  y más altos de  $\omega 3$ . El concentrado, por otra parte, presentó los niveles más altos de DHA en comparación con el aceite vegetal y el aceite de pescado, así como una relación  $\omega 6:\omega 3$  de 1:1.

En el Cuadro 7, se muestra la composición de ácidos grasos determinados en la dieta de las gallinas.

Cuadro 6. Composición en ácidos grasos del aceite vegetal de soya, del aceite de pescado y del concentrado (g/100g)

	<b>Aceite vegetal</b>	<b>Aceite de pescado</b>	<b>Concentrado</b>
Linoléico (C18:2 $\omega$ 6)	11532.81	158	360.25
Gama-linolénico (C18:3 $\omega$ 6)	nd	nd	12.81
Araquidónico (C20:4 $\omega$ 6)	15.34	195	150.24
Alfa-linolénico (C18:3 $\omega$ 3)	3180.39	56.1	71.84
Eicosapentaenoico (C20:5 $\omega$ 3)	0.62	751	453.07
13, 16-docosapentaenoico (C22:5 $\omega$ 3)	nd	172	Nd
Docosahexaenoico (C22:6 $\omega$ 3)	nd	2100	2323.47
Total $\omega$ 6	11548.15	353	523.3
Total $\omega$ 3	3181.01	3079.1	524.91
$\omega$ 6: $\omega$ 3	3.63	0.11	0.99

Cuadro 7. Composición en ácidos grasos de las dietas

	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3	Dieta 4
Ácidos grasos (mg/100g)				
Linoléico (C18:2 $\omega$ 6)	314.20	386.85	689.46	713.52
Gama-linolénico (C18:3 $\omega$ 6)	nd	nd	nd	nd
Araquidónico (C20:4 $\omega$ 6)	1.37	1.16	nd	1.21
Alfa-linolénico (C18:3 $\omega$ 3)	24.47	32	59.12	57.09
Eicosapentaenoico (C20:5 $\omega$ 3)	nd	2.9	4.92	3.48
13, 16-docosapentaenoico (C22:5 $\omega$ 3)	5.83	4.59	1.62	1.27
Docosahexaenoico (C22:6 $\omega$ 3)	0.79	1.03	4.11	7.28
Total $\omega$ 6	315.57	388.01	689.46	714.73
Total $\omega$ 3	31.09	40.52	69.77	69.12
$\omega$ 6: $\omega$ 3	10.15	9.58	9.88	10.34

\*nd: no determinado

En comparación con la dieta 1 y 2 que contienen 31.09 y 40.52 g de  $\omega$ 3, respectivamente, las dietas 3 y 4 mostraron los valores más altos de  $\omega$ 3 (69.77 y 69.12 g respectivamente) ( $P < 0.05$ ). La dieta cuatro presenta el valor más alto en el total de  $\omega$ 6 con 715 g/100g, lo que ocasiona que la proporción  $\omega$ 6: $\omega$ 3 sea también (10.3). La dieta que mostró valores menores en la relación  $\omega$ 6: $\omega$ 3 fue la dieta número 2 con una relación de 9.58 (Cuadro 7).

Cuadro 8. Indicadores productivos promedio en 8 semanas de experimentación en dietas de gallinas Hy Line W36 suplementadas con diferentes niveles de inclusión del concentrado omega 3 Duralife ®

Tratamiento	Postura %	Peso de huevo (g)	Masa de huevo (g)	Consumo/ave/día (g)	Índice de conversión	Ganancia de peso (g)
1	81.0	64.5	52.2	93.1	1.76	2.8
2	83.1	63.8	53.0	93.4	1.76	41.2
3	79.8	64.3	51.3	91.8	1.79	19.3
4	80.6	64.6	52.0	93.2	1.79	16.8
No se detectaron diferencias estadísticas en ninguna de las variables (P>0.05)						

Cuadro 9. Anormalidades en huevo a las 8 semanas de experimentación en dietas de gallinas Hy Line W36 suplementadas con diferentes niveles de inclusión del concentrado omega 3 Duralife ®.

Tratamiento	Huevo roto %	Huevo fáfara %	Huevo sucio %
1	0.5	0.0	0.7
2	0.6	0.0	0.9
3	0.8	0.3	0.0
4	0.0	0.1	1.0
No se detectaron diferencias estadísticas en ninguna de las variables (P>0.05)			

Cuadro 10. Calidad del huevo de gallinas Hy Line W36 suplementadas con diferentes niveles de inclusión del concentrado de omega 3 Duralife®.

	<b>Peso huevo (g)</b>	<b>Peso yema (g)</b>	<b>Porcentaje yema</b>	<b>Unidades Haugh</b>	<b>Color yema</b>	<b>Grosor cascarón (mm)</b>
Trat 1	64.8 a	18.0 a	27.8 a	94.5 a	8.9 a	326.2 a
Trat 2	64.3 a	18.3 a	28.5 a	91.3 a	9.3 ab	347.1 a
Trat 3	65.2 a	17.9 a	27.5 a	91.0 a	9.4 b	325.6 a
Trat 4	66.4 a	18.8 a	28.4 a	90.9 a	9.1 ab	341.4 a
Valores con diferentes letras en una misma columna indican diferencia significativa (P<0.5)						

En el Cuadro 8 se puede observar que la inclusión de aceite de pescado en forma de granulado a diferentes niveles de inclusión en la dieta, no afectó los parámetros productivos como son: porcentaje de postura, peso promedio del huevo, masa de huevo ave al día, consumo de alimento e índice de conversión, así como tampoco se vio afectado la ganancia de peso de las gallinas. No hubo diferencia estadística ( $P>0.5$ ) entre los diferentes tratamientos.

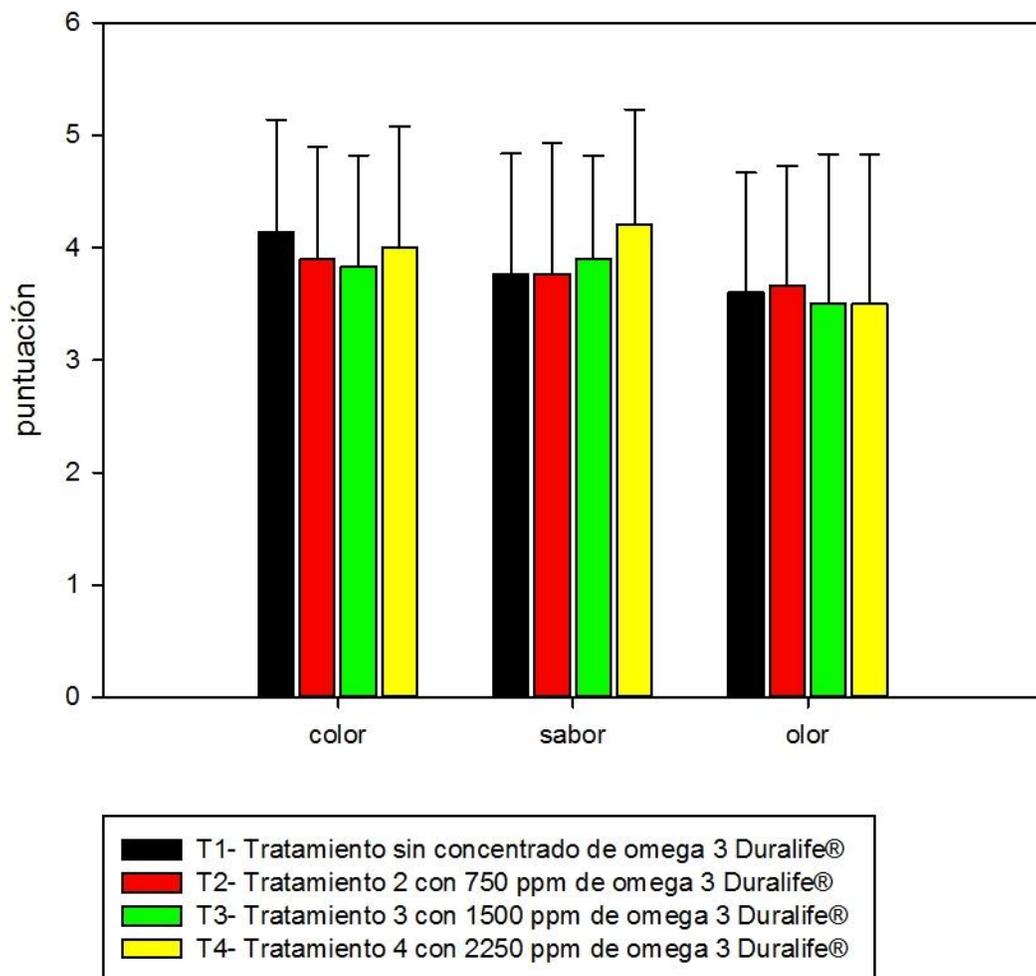
En el Cuadro 9, se aprecia que tampoco hubo diferencia estadística significativa ( $P>0.5$ ) entre los diferentes tratamientos en cuanto a anomalías en el huevo como porcentaje de huevo sucio, porcentaje de huevo roto y porcentaje de huevo fáfara.

En cuanto a las pruebas de calidad de huevo presentadas en el Cuadro 10, no hubo diferencias significativas con excepción de la variable de pigmentación de yema que indica diferencia ( $P<0.5$ ) entre tratamientos con la menor pigmentación

en el Tratamiento 1, sin embargo los tratamientos 2, 3 y 4 fueron similares ( $P>0.05$ ) entre sí.

En referencia a las pruebas de evaluación sensorial no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las variables (olor, color, sabor). (Figura 1).

### Pruebas organolépticas



En la figura 1, se muestra la media  $\pm$  desviación estándar de la puntuación obtenida en las pruebas organolépticas. El modelo se ajusta a una prueba no

paramétrica pareada. Se utilizó la prueba de rangos con signo, de Wilcoxon. No se encontró diferencia estadísticamente significativa, entre tratamientos ( $P > 0.05$ )

Cuadro 11. Concentración de lípidos (g/100 g) y ácidos grasos (mg/100 g) en huevo liofilizado

Factor	LT	AGS	AGI	$\omega 6$	$\omega 3$	$\omega 6:\omega 3$
Semana de experimentación						
5	38.44 <sup>b</sup>	9452.78 <sup>b</sup>	17501.4 <sup>b</sup>	4313.18 <sup>b</sup>	467.38 <sup>b</sup>	8.96 <sup>a</sup>
8	39.36 <sup>a</sup>	11090.74 <sup>a</sup>	19964.5 <sup>a</sup>	4458.27 <sup>a</sup>	552.35 <sup>a</sup>	8.22 <sup>b</sup>
EEM	0.11	55.34	103.07	17.59	1.27	0.20
Tratamientos						
1	39.58 <sup>a</sup>	9601.2 <sup>c</sup>	17584.3 <sup>c</sup>	3995.07 <sup>c</sup>	431.79 <sup>d</sup>	9.23 <sup>a</sup>
2	37.55 <sup>c</sup>	10765.1 <sup>a</sup>	20195.0 <sup>a</sup>	4648.79 <sup>a</sup>	482.09 <sup>c</sup>	9.09 <sup>a</sup>
3	39.88 <sup>a</sup>	10620.6 <sup>a</sup>	17903.9 <sup>c</sup>	4340.88 <sup>b</sup>	521.48 <sup>b</sup>	8.40 <sup>b</sup> <sup>a</sup>
4	38.60 <sup>b</sup>	10100.1 <sup>b</sup>	19248.6 <sup>b</sup>	4558.17 <sup>a</sup>	604.11 <sup>a</sup>	7.61 <sup>b</sup>
EEM	0.16	78.26	145.77	24.88	1.80	0.28
Tratamiento*sem	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

a,b,c en cada columna, literales distintas indican diferencia estadística ( $P < 0.05$ )

LT: Lípidos totales

AGS: Ácidos grasos saturados

AGI: Ácidos grasos insaturados

En los datos del Cuadro 11, se puede observar que al final de la octava semana de experimentación el contenido de lípidos totales, ácidos grasos saturados e insaturados presentaron valores más altos en comparación con la quinta semana, detectándose diferencias estadísticamente significativas ( $P < 0.05$ ).

El contenido de  $\omega 6$  y  $\omega 3$  en el huevo, también aumento significativamente de la quinta a la octava semana de experimentación ( $P < 0.05$ ). En cuanto a la

relación  $\omega 6:\omega 3$  esta disminuyó significativamente conforme avanzaron las semanas ( $P<0.05$ )

El contenido de lípidos totales muestra valores significativos ( $P<0.05$ ) más bajos en el segundo y cuarto tratamiento respecto al tercer tratamiento y al testigo.

Se observa un aumento estadísticamente significativo ( $P<0.05$ ) de los ácidos grasos saturados en todos los tratamientos comparado con el testigo, siendo menor en el cuarto tratamiento.

El comportamiento de los ácidos grasos insaturados es variable, observándose niveles más altos en el segundo tratamiento, seguido por el cuarto tratamiento ( $P<0.05$ ), el tratamiento testigo muestra los niveles más bajos junto con el tercero ( $P>0.05$ ),

Los niveles de  $\omega 6$  muestran un aumento en todos los tratamientos comparado con el testigo ( $P<0.05$ ), siendo el segundo y cuarto tratamiento los de mayor contenido, en cuanto a los niveles de  $\omega 3$ , estos aumentan significativamente ( $P<0.05$ ) conforme es mayor la inclusión de granulado de pescado en las dietas.

La proporción  $\omega 6:\omega 3$  disminuyó considerablemente ( $P<0.05$ ), conforme aumentó el nivel de inclusión del granulado, encontrando un balance de 8:1 en el cuarto tratamiento.

Cuadro 12. Contenido de ácidos grasos insaturados en el huevo obtenido de gallinas

Factor	PENTA	PALOLE	OLE	LA	GLA	ALA	EICO	AA	EPA	DHA
Semana de experimentación										
5	15.0 <sup>b</sup>	668.65 <sup>b</sup>	11820.3 <sup>b</sup>	3666.41 <sup>b</sup>	210.14 <sup>a</sup>	179.11 <sup>b</sup>	64.34 <sup>b</sup>	436.62 <sup>b</sup>	2.64 <sup>b</sup>	285.62 <sup>b</sup>
8	16.84 <sup>a</sup>	963.0 <sup>a</sup>	13677.9 <sup>a</sup>	3852.56 <sup>a</sup>	109.87 <sup>b</sup>	204.74 <sup>a</sup>	92.23 <sup>a</sup>	495.84 <sup>a</sup>	3.15 <sup>a</sup>	344.45 <sup>a</sup>
EEM	0.13	5.90	86.98	16.73	1.04	0.98	0.48	3.07	0.02	1.00
Tratamientos										
1	14.93 <sup>c</sup>	813.02 <sup>ba</sup>	12088.0 <sup>c</sup>	3500.02 <sup>c</sup>	84.79 <sup>d</sup>	182.03 <sup>b</sup>	80.99 <sup>b</sup>	410.25 <sup>c</sup>	1.21 <sup>d</sup>	248.54 <sup>d</sup>
2	14.68 <sup>c</sup>	793.01 <sup>b</sup>	14024.3 <sup>a</sup>	3936.51 <sup>a</sup>	238.33 <sup>a</sup>	195.80 <sup>a</sup>	61.40 <sup>c</sup>	473.94 <sup>b</sup>	3.06 <sup>c</sup>	283.22 <sup>c</sup>
3	17.78 <sup>a</sup>	826.19 <sup>a</sup>	11914.0 <sup>c</sup>	3752.72 <sup>b</sup>	124.68 <sup>c</sup>	196.23 <sup>a</sup>	85.66 <sup>a</sup>	463.47 <sup>b</sup>	3.52 <sup>b</sup>	321.72 <sup>b</sup>
4	16.29 <sup>b</sup>	831.11 <sup>a</sup>	129760.1 <sup>b</sup>	3848.68 <sup>a</sup>	192.21 <sup>b</sup>	193.63 <sup>a</sup>	85.09 <sup>a</sup>	517.27 <sup>a</sup>	3.80 <sup>a</sup>	406.67 <sup>a</sup>
EEM	0.18	8.35	123.01	23.65	1.48	1.38	0.68	4.34	0.03	1.41
Interacción	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001
Tratamiento*sem										

a,b,c,d en cada columna literales distintas indican diferencia estadística ( $P < 0.05$ )

PENTA: Ácido pentadecanoico, PALOLE: Ácido palmitoleico, OLE: Ácido oleico, LA: Ácido linolénico, GLA: Ácido gamma linolénico, ALA: Ácido linolénico, EICO: Ácido eicosenoico, AA: Ácido araquidónico, EPA: Ácido eicosapentaenoico, DHA: Ácido docosahexaenoico.

En los datos del Cuadro 12, se observa un aumento estadísticamente significativo ( $P < 0.05$ ) en los niveles de ácido linolénico, alfa-linolénico, eicosenoico, araquidónico, eicosapentaenoico y docosahexaenoico de la quinta a la octava semana de experimentación, así como el pentadecanoico, palmitoleico y oleico, el gamma-linolénico mostró disminución significativa ( $P < 0.05$ ) en sus valores de la quinta a la octava semana de experimentación.

Según el número de tratamiento los niveles de ácido linolénico muestran aumentos significativos ( $P < 0.05$ ) respecto al primero, así como el gamma-linolénico, alfa-linolénico y el ácido araquidónico, en cuanto al ácido eicosapentaenoico y el docosahexaenoico se observan aumentos en forma lineal respecto al primer tratamiento ( $P < 0.05$ ). El ácido eicosenoico mostró una reducción significativa ( $P < 0.05$ ) de sus niveles en el segundo tratamiento, en comparación con el testigo, sin embargo los niveles de este ácido aumentan significativamente ( $P < 0.05$ ) en el tercer y cuarto tratamiento respecto al testigo.

Cuadro 13. Contenido de ácidos grasos saturados en el huevo obtenido de gallinas suplementadas con un concentrado de AG  $\omega$ 3

Factor	Mirístico	Palmítico	Heptadecanoico	Esteárico	Araquídico
Semana de experimentación					
5	81.49 <sup>b</sup>	7188.01 <sup>b</sup>	56.88 <sup>a</sup>	2118.48 <sup>b</sup>	7.91 <sup>b</sup>
8	113.23 <sup>a</sup>	8442.2 <sup>a</sup>	57.30 <sup>a</sup>	2461.57 <sup>a</sup>	16.33 <sup>a</sup>
EEM	0.68	42.03	0.35	16.95	0.07
Tratamiento					
Testigo	97.0 <sup>b</sup>	7211.61 <sup>c</sup>	53.95 <sup>c</sup>	2217.63 <sup>b</sup>	20.95 <sup>a</sup>
2	90.82 <sup>c</sup>	8160.0 <sup>a</sup>	61.95 <sup>a</sup>	2443.08 <sup>a</sup>	9.24 <sup>c</sup>
3	101.41 <sup>a</sup>	8198.97 <sup>a</sup>	56.46 <sup>b</sup>	2252.81 <sup>b</sup>	10.97 <sup>b</sup>
4	100.21 <sup>ba</sup>	7690.02 <sup>b</sup>	56.01 <sup>b</sup>	2246.57 <sup>b</sup>	7.32 <sup>d</sup>
EEM	0.97	59.44	0.49	23.96	0.10
Tratamiento*sem	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001

a,b,c,d en cada columna literales distintas indican diferencia estadística ( $P < 0.05$ )

Todos los ácidos grasos saturados aumentaron significativamente ( $P < 0.05$ ) sus niveles de la quinta a la octava semana de experimentación con excepción del heptadecanoico (cuadro 13). Los valores de ácidos grasos según el tratamiento varían considerablemente, observándose en general valores más altos en comparación con el tratamiento testigo, excepto el ácido araquídico el cual disminuye significativamente ( $P < 0.05$ ).

## VIII. Discusión

Los resultados obtenidos en las variables productivas concuerdan con lo reportado por Cornejo et al. (Cornejo et al., 2008), al evaluar el efecto de la inclusión de lípidos marinos, hasta un 6%, en la dieta de las aves sobre el peso del huevo, masa de huevo, conversión alimenticia, porcentaje de postura, consumo y peso del ave. Sin embargo, Baucells et al. (2000), señalan que al incluir insumos de origen marino en las dietas de gallinas de postura se obtienen valores menores en el peso del huevo. Otros autores, sin embargo, no observaron un efecto sobre el peso del huevo (Cachaldora et al., 2008a). Por su parte González-Esquerra y Lesson (2000), señalan que el incremento en la inclusión de aceite de arenque determina una masa del huevo cada vez menor, sin embargo la ganancia de peso en las gallinas no se afecta, así como tampoco el consumo y la producción del huevo.

Se han publicado resultados contradictorios sobre la influencia de la suplementación con aceite de pescado sobre los parámetros de producción de las gallinas. Varios autores informaron parámetros de decremento en la producción, sobre todo una disminución de peso en huevo y/o peso de la yema con la alimentación de aceite de pescado (Gonzalez-Esquerra y Leeson, 2000, Van Elswyk et al., 1994). Se ha sugerido que el consumo de omegas 3 provoca una disminución de los triglicéridos en suero en las gallinas, por lo tanto, una disminución en la cantidad de lípidos disponibles para la formación de la yema (Van Elswyk et al., 1994). Por otra parte, los omegas 3 pueden influir en el estradiol circulante, lo que afecta el metabolismo lipídico hepático además, en algunos casos, la disminución del peso del huevo puede estar relacionada con el

hecho de que se consume menos alimento como lo menciona González - Esquerri y Leeson (2000).

Los datos de calidad física del huevo obtenidos en el presente estudio, concuerdan con lo reportado por Cachaldora et al. (2008<sup>a</sup>), quienes observaron que el tipo de dieta no afectó a los parámetros de producción ni calidad del huevo (postura, consumo, peso huevo, peso yema, unidades Haugh y grosor de cascarón), aunque el color de la yema aumentó con la inclusión de grasa en la dieta basal y disminuyó linealmente con la administración de suplementos de aceite de pescado. Esto se explica porque existe un aumento lineal en la absorción y disposición de oxicarotenoides en las dietas con más alto contenido de extracto etéreo, sin embargo en las dietas con más contenido de ácidos poliinsaturados podrían interactuar con este efecto, incrementando la peroxidación y reduciendo la disponibilidad de pigmentos en la yema.

En cuanto a la variable olor y sabor, este estudio concuerda con Cachaldora et al. (2008<sup>a</sup>), quienes no encontraron diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, muchos autores están de acuerdo en que el sabor y el olor se ve afectado, ya que los ácidos grasos EPA y DHA contienen más dobles enlaces que ALA, siendo más susceptibles a la descomposición por oxidación causada por la deposición directa de los lípidos oxidados de la dieta y por compuestos volátiles de bajo peso molecular que incrementan los sabores desagradables. (Gonzalez-Esquerri y Leeson, 2000 y Van Elswyk, 1995).

Por el proceso de microencapsulado del concentrado en este estudio, es posible que los ácidos grasos hayan tenido una mejor estabilidad oxidativa, evitando atributos sensoriales negativos.

Respecto a la concentración total de AG  $\omega_3$ , estos aumentaban conforme se incrementaba la concentración del granulado en la dieta, así mismo la relación  $\omega_6:\omega_3$  disminuía, lo que concuerda con lo reportado por Castillo et al. Esto es explicado por la gran afinidad que las enzimas  $\Delta_4$  y  $\Delta_6$  desaturasas tienen por el metabolismo de los  $\omega_3$  y la preferencia de acumularse en la fracción fosfolipídica de la yema, sin embargo en otros estudios se menciona que la deposición preferente de  $\omega_3$  en los lípidos estructurales podría implicar un límite de depósito, lo que contribuiría a explicar la eficacia decreciente de deposición de  $\omega_3$  cuando se suplementa con altos niveles de  $\omega_3$ .

Por otra parte encontramos un mayor depósito de DHA que de EPA conforme aumenta la inclusión del granulado en la dieta, lo que sugiere que el DHA puede ser incorporado preferentemente en las membranas en comparación con EPA tal como lo mencionan Herber-McNeil y Van Elswyk (1998), En estudios realizados se comparó la adición de aceite de pescado rico en EPA con la adición de aceite de pescado rico en DHA, para ambos tratamientos, el principal  $\omega_3$  en los huevos era DHA, acompañado por pequeñas cantidades de EPA, se calculó que la proporción de  $\omega_3$  ingerido ( EPA + DHA ) que fue depositado en la yema (en forma de DHA ) no difirió significativamente entre ambas dietas. Los resultados indicaron que EPA en la dieta se convierte en gran medida en DHA. La eficiencia de esta conversión es sólo ligeramente menor que la de la deposición directa de

DHA de la dieta en la yema (Cachaldora et al., 2008a). Sin embargo en otros estudios se comprobó que conforme se incrementa la inclusión de aceite de pescado, el aumento de la yema en contenido de DHA no fue proporcional, lo que indica una eficacia de deposición más baja en los niveles de inclusión más altos (Gonzalez-Esquerri y Leeson, 2000, Van Elswyk, 1995), por lo que es probable que se pudo experimentar con un tratamiento que incluyera niveles de granulado más altos y observar el comportamiento.

## **IX. Conclusiones**

La información reunida en este trabajo puso de manifiesto que la inclusión de 750, 1500 y 2250 ppm del concentrado de omega 3 (DURALIFE®) en la dieta de gallinas ponedoras aumenta en un 15,30 y 64% respectivamente, el contenido de EPA+DHA en el huevo sin afectar negativamente la respuesta productiva de las aves, la calidad interna del huevo, ni las características sensoriales del mismo.

Respecto a la concentración total de AG $\omega$ 3, los huevos comerciales no modificados, reportan entre 100 y 200 mg/100 g de huevo, así mismo, las marcas de huevos comercializados como enriquecidos, reportan entre 100 y 500 mg de AG $\omega$ 3/100 g de huevo pero, no especifican la cantidad y tipo de AG $\omega$ 3 que contiene. En este trabajo se encontró una cantidad total de AG $\omega$ 3 de 200 mg/100g en el tratamiento en que se adiciono 2250 ppm de DURALIFE®, de 174 mg/100g en el tratamiento con 1500 ppm de DURALIFE® y de 161 mg/100g con 750 ppm del concentrado granulado de pescado, sin embargo la cantidad de DHA encontrada en el tratamiento con 2250 ppm del concentrado granulado aporta más

del 60% de las recomendaciones de ingesta diaria recomendada para adultos de este ácido graso, mientras que el tratamiento con inclusión del concentrado de 1500 ppm, contiene casi el 50% de la ingesta diaria recomendada de DHA.

Se puede concluir, que a partir de una inclusión de 1500 ppm de DURALIFE®, una porción de 100g de huevo es una opción viable para aumentar los niveles de DHA en la dieta, con el consiguiente aporte de los beneficios para la salud.

Además, dado el proceso de microencapsulado del concentrado en este estudio, es posible que se logre una mejor estabilidad oxidativa de los ácidos grasos de la dieta, evitando atributos sensoriales negativos.

## ANEXO

### Cuestionarios para las pruebas de evaluación sensorial

Nombre: \_\_\_\_\_

Muestra: Yema de huevo Característica a evaluar: Sabor

Instrucciones: Observe detenidamente cada una de las muestras que a continuación se le presenten e indique con una X su nivel de agrado.

MUESTRA	171	782	669	896
Gusta mucho	_____	_____	_____	_____
Gusta poco	_____	_____	_____	_____
Es indiferente	_____	_____	_____	_____
Disgusta poco	_____	_____	_____	_____
Disgusta mucho	_____	_____	_____	_____

Comentarios: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Figura 1. Cuestionario para la evaluación de sabor

Nombre: \_\_\_\_\_

Muestra: Yema de huevo Característica a evaluar: Olor

Instrucciones: Observe detenidamente cada una de las muestras que a continuación se le presenten e indique con una X su nivel de agrado.

MUESTRA	171	782	669	896
Gusta mucho	_____	_____	_____	_____
Gusta poco	_____	_____	_____	_____
Es indiferente	_____	_____	_____	_____
Disgusta poco	_____	_____	_____	_____
Disgusta mucho	_____	_____	_____	_____

Comentarios: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Figura 2. Cuestionario para la evaluación de olor

Nombre: \_\_\_\_\_

Muestra: Yema de huevo Característica a evaluar: Color

Instrucciones: Observe detenidamente cada una de las muestras que a continuación se le presenten e indique con una X su nivel de agrado.

MUESTRA	749	544	151	744
Gusta mucho	_____	_____	_____	_____
Gusta poco	_____	_____	_____	_____
Es indiferente	_____	_____	_____	_____
Disgusta poco	_____	_____	_____	_____
Disgusta mucho	_____	_____	_____	_____

Comentarios: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Figura 3. Cuestionario para la evaluación de color

## Referencias

- ABURTO, A., RUIZ, S., D., PÉREZ, M., BARRETO, J., SANTANA, S. & RODRÍGUEZ, A. 2008. El huevo como aliado de la nutrición y la salud. *Rev Cubana Aliment Nutr*, 18, S1-S15.
- AOAC 2000. Official Methods of Analysis. 17 th edition. Association Official of Analytical Chemists. AOAC International. Washington D.C. USA.
- APPLEGATE, E. 2000. Introduction: nutritional and functional roles of eggs in the diet. *J Am Coll Nutr*, 19, 495S-498S.
- ARO, T., TAHVONEN, R., MATTILA, T., NURMI, J., SIVONEN, T. & KALLIO, H. 2000. Effects of season and processing on oil content and fatty acids of baltic herring (*Clupea harengus membras*). *J Agric Food Chem*, 48, 6085-93.
- AVICULTORES., U. N. D. 2013. [base de datos en internet]. Monografía de indicadores económicos del sector avícola 2013 [Citado Mayo 10 de 2013]. Disponible desde URL: <http://www.una.org.mx/index.php/component/content/article/2-uncategorised/19-indicadores-economicos>.
- BAUCELLS, M. D., CRESPO, N., BARROETA, A. C., LOPEZ-FERRER, S. & GRASHORN, M. A. 2000. Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. *Poult Sci*, 79, 51-9.
- BURDGE, G. 2004. Alpha-linolenic acid metabolism in men and women: nutritional and biological implications. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 7, 137-44.

- CACHALDORA, P., GARCÍA-REBOLLAR, P. & ÁLVAREZ, C. 2008a. Effect of type and level of basal fat and level of fish oil supplementation on yolk fat composition and n-3 fatty acids deposition efficiency in laying hens. *Animal Feed Science and Technology*, 141, 104-114.
- CACHALDORA, P., GARCIA-REBOLLAR, P., ALVAREZ, C., DE BLAS, J. C. & MENDEZ, J. 2006. Effect of type and level of fish oil supplementation on yolk fat composition and n-3 fatty acids retention efficiency in laying hens. *Br Poult Sci*, 47, 43-9.
- CACHALDORA, P., GARCÍA-REBOLLAR, P., ÁLVAREZ, C., DE BLAS, J. C. & MÉNDEZ, J. 2008b. Effect of the combined supplementation of diets with increasing levels of fish and linseed oils on yolk fat composition and sensorial quality of eggs in laying hens. *Animal Feed Science and Technology*, 337-348.
- CALDER, P. C. & YAQOOB, P. 2009. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and human health outcomes. *Biofactors*, 35, 266-72.
- CAMARERO E, CULEBRAS JM & J., G.-G. 2005. Tratado de Nutrición. Madrid: Editorial Acción Médica.
- CARLSON, S. E., RHODES, P. G. & FERGUSON, M. G. 1986. Docosahexaenoic acid status of preterm infants at birth and following feeding with human milk or formula. *Am J Clin Nutr*, 44, 798-804.
- CASTILLO-BADILLO, C., VÁZQUEZ-VALLADOLID, J., GONZÁLEZ-ALCORTA, M., MORALES-BARRERA, E., CASTILLO-DOMINGUEZ, R. & CARRILLO-DOMINGUEZ, S. 2005. El aceite de atún como fuente de ácidos grasos omega-3 en el huevo de gallina. *Grasas y Aceites*, 56, 153-159.

- CASTILLO, C., VÁZQUEZ, J., GONZÁLEZ, M., MORALES, E., CASTILLO, R. & CARRILLO, S. 2005. El aceite de atún como fuente de ácidos grasos omega-3 en el huevo de gallina. *Grasas y Aceites*, 56, 153-159.
- CASTILLO, R. 2004. Efecto del aceite de sardina sobre el contenido de colesterol y ácidos grasos omega-3 y omega-6 en huevo de gallina (tesis de maestría) Tecomán (Colima) México *Univ de Colima*.
- CONNOR, W. E. 2000. Importance of n-3 fatty acids in health and disease. *Am J Clin Nutr*, 71, 171S-5S.
- CONNOR, W. E., NEURINGER, M. & REISBICK, S. 1992. Essential fatty acids: the importance of n-3 fatty acids in the retina and brain. *Nutr Rev*, 50, 21-9.
- CORNEJO, S., HIDALGO, H., ARAYA, J. & POKNIAK, J. 2008. Suplementación de dietas de gallinas de postura comercial con aceites de pescado de diferentes grados de refinación. Efectos productivos en las aves y en la calidad organoléptica de los huevos. . *Arch Med Vet*, 40, 15-50.
- COVADONGA, M. 2009. Mitos y realidades sobre el consumo de huevo en México. Memorias de XXXIV Convención Anual, ANECA 2009. México. *ANECA*, 1-8.
- DASHTI, N., KELLEY, J. L., THAYER, R. H. & ONTKO, J. A. 1983. Concurrent inductions of avian hepatic lipogenesis, plasma lipids, and plasma apolipoprotein B by estrogen. *J Lipid Res*, 24, 368-80.
- DE BLAS, C. 1991. Nutrición y Alimentación de gallinas ponedoras. España: Editorial: Mundiprensa.

- DE GOMEZ DUMM, I. N. & BRENNER, R. R. 1975. Oxidative desaturation of alpha-linoleic, linoleic, and stearic acids by human liver microsomes. *Lipids*, 10, 315-7.
- FARINA, E. K., KIEL, D. P., ROUBENOFF, R., SCHAEFER, E. J., CUPPLES, L. A. & TUCKER, K. L. 2011. Protective effects of fish intake and interactive effects of long-chain polyunsaturated fatty acid intakes on hip bone mineral density in older adults: the Framingham Osteoporosis Study. *Am J Clin Nutr*, 93, 1142-51.
- FARRELL, D. J. 1998. Enrichment of hen eggs with n-3 long-chain fatty acids and evaluation of enriched eggs in humans. *Am J Clin Nutr*, 68, 538-44.
- GARCÍA-REBOLLAR, P., CACHALDORA, P., ÁLVAREZ, C., DE BLAS, J. C. & MÉNDEZ, J. 2008. Effect of the combined supplementation of diets with increasing levels of fish and linseed oils on yolk fat composition and sensorial quality of eggs in laying hens. *Animal Feed Science and Technology*, 140, 337-348.
- GARCÍA, C. & ALBALA, C. 1998. Composición lipídica de huevos de gallinas alimentadas con productos grasos y proteicos marinos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 48, 71-76.
- GEOGRAFIA., I. N. D. E. Y. 2012. [ Base de datos en internet]. Indicadores Sociales [Citado Julio 19 de 2012] Disponible desde URL <http://www.inegi.org.mx/Sistemas/temasV2/Default.aspx?s=est&c=21702>.
- GONZALEZ-ESQUERRA, R. & LEESON, S. 2000. Effect of feeding hens regular or deodorized menhaden oil on production parameters, yolk fatty acid profile, and sensory quality of eggs. *Poult Sci*, 79, 1597-602.

- HAGVE, T. A. & CHRISTOPHERSEN, B. O. 1984. Effect of dietary fats on arachidonic acid and eicosapentaenoic acid biosynthesis and conversion to C22 fatty acids in isolated rat liver cells. *Biochim Biophys Acta*, 796, 205-17.
- HARDMAN, W. E. 2002. Omega-3 fatty acids to augment cancer therapy. *J Nutr*, 132, 3508S-3512S.
- HASLER, C. 1998. Functional foods: Their role in disease prevention and health promotion. *Food Technology*, 52, 63-70.
- HERBER-MCNEILL, S. M. & VAN ELSWYK, M. E. 1998. Dietary marine algae maintains egg consumer acceptability while enhancing yolk color. *Poult Sci*, 77, 493-6.
- HERMIER, D. 1997. Lipoprotein metabolism and fattening in poultry. *J Nutr*, 127, 805S-808S.
- HERRON, K. L. & FERNANDEZ, M. L. 2004. Are the current dietary guidelines regarding egg consumption appropriate? *J Nutr*, 134, 187-90.
- HONIGMANN, G., SCHIMKE, E., BEITZ, J., MEST, H. & SCHLIACK, V. 1982. Influence of a diet rich in linolenic acid on lipids, thrombocyte aggregation and prostaglandins in type I (insulin-dependent) diabetes. *Diabetología*, 23, 175-179.
- HU, F. B., BRONNER, L., WILLETT, W. C., STAMPFER, M. J., REXRODE, K. M., ALBERT, C. M., HUNTER, D. & MANSON, J. E. 2002. Fish and omega-3 fatty acid intake and risk of coronary heart disease in women. *JAMA*, 287, 1815-21.

- HUANG, Z. B., LEIBOVITZ, H., CHONG, L. & MILLAR, R. 1990. Effect of Dietary Fish Oil on omega-3 Fatty Acid Levels in Chicken Eggs and Thigh Flesh. *J Agric Food Chem*, 38.
- KATHLEEN MAHAN L, ESCOTT-STUMPO & KRAUSE, S. 2009. Dietoterapia. 12 ed. España: Editorial Elsevier-Masson.
- KETTLER, D. B. 2001. Can manipulation of the ratios of essential fatty acids slow the rapid rate of postmenopausal bone loss? *Altern Med Rev*, 6, 61-77.
- LAGUNA, J. y PIÑA, E. 2002. Bioquímica de Laguna. 5ed. México: Manual Moderno.
- LEDESMA JOSÉ, ADOLFO CHAVEZ, FERNANDO PÉREZ, EDUARDO MENDOZA, CONCEPCIÓN CALVO & CHAVEZ, M. M. D. 2010. Composición de alimentos: Valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo. México: Mc Graw Hill.
- LEHNINGER, A. L. 1988. Principios de Bioquímica. 2 ed. Barcelona: Ediciones Omega.
- LEWIS, N. M., SCHALCH, K. & SCHEIDELER, S. E. 2000a. Serum lipid response to n-3 fatty acid enriched eggs in persons with hypercholesterolemia. *J Am Diet Assoc*, 100, 365-7.
- LEWIS, N. M., SEBURG, S. & FLANAGAN, N. L. 2000b. Enriched eggs as a source of N-3 polyunsaturated fatty acids for humans. *Poult Sci*, 79, 971-4.
- LICHTENSTEIN, A. H., APPEL, L. J., BRANDS, M., CARNETHON, M., DANIELS, S., FRANCH, H. A., FRANKLIN, B., KRIS-ETHERTON, P., HARRIS, W. S., HOWARD, B., KARANJA, N., LEFEVRE, M., RUDEL, L., SACKS, F., VAN HORN, L., WINSTON, M. & WYLIE-ROSETT, J. 2006. Diet and lifestyle

- recommendations revision 2006: a scientific statement from the American Heart Association Nutrition Committee. *Circulation*, 114, 82-96.
- LÓPEZ, F., A. & MACAYA, C. 2006. Efectos antitrombóticos y antiinflamatorios de los ácidos grasos omega-3. *Rev Esp Cardio*, 6, 31D-7D.
- M.E. VAN ELSWYK, P. L. D., A.R. SAMS 1995. Dietary menhaden oil influences sensory characteristics and headspace volatiles of shell eggs. *Journal of Food Science*, 60, 89-89.
- MURRAY RK, BENDER DA & P.J., K. 2006. Harper Bioquímica Ilustrada.28 ed. México: McGraw-Hill.
- NIMPF, J. & SCHNEIDER, W. J. 1991. Receptor-mediated lipoprotein transport in laying hens. *J Nutr*, 121, 1471-4.
- NITSAN, Z., MOKADY, S. & SUKENIK, A. 1999. Enrichment of poultry products with omega3 fatty acids by dietary supplementation with the alga *Nannochloropsis* and mantur oil. *J Agric Food Chem*, 47, 5127-32.
- OSORIO, H. J. & FLOREZ, J. D. 2011. Diferencias bioquímicas y fisiológicas en el metabolismo de lipoproteínas de aves comerciales. *Biosalud*, 10, 88-98.
- ROSS, W. R. 2002. Eggs and Health Promotion. E.U: Iowa State Press.
- SALUD., S. D. 2001. Programa de acción: Enfermedades Cardiovasculares e Hipertensión Arterial. México (D.F.): SSA, 2001 [ Citado Septiembre 3 de 2012] Disponible desde URL: [http://www.salud.gob.mx/docprog/estrategia\\_3/enfermedades\\_cardiovasculares.pdf](http://www.salud.gob.mx/docprog/estrategia_3/enfermedades_cardiovasculares.pdf).

- SCHLANGER, S., SHINITZKY, M. & YAM, D. 2002. Diet enriched with omega-3 fatty acids alleviates convulsion symptoms in epilepsy patients. *Epilepsia*, 43, 103-4.
- SHAPIRA, N., WEILL, P. & LOEWENBACH, R. 2008. Egg fortification with n-3 polyunsaturated fatty acids (PUFA): nutritional benefits versus high n-6 PUFA western diets, and consumer acceptance. *Isr Med Assoc J*, 10, 262-5.
- SIMOPOULOS, A. P. 1991. Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. *Am J Clin Nutr*, 54, 438-63.
- SIMOPOULOS, A. P. 2000. Human requirement for N-3 polyunsaturated fatty acids. *Poult Sci*, 79, 961-70.
- SIMOPOULOS, A. P. 2002. Omega-3 fatty acids in inflammation and autoimmune diseases. *J Am Coll Nutr*, 21, 495-505.
- SIMOPOULOS, A. P. 2008. The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Exp Biol Med (Maywood)*, 233, 674-88.
- SIMOPOULOS, A. P. & SALEM, N., JR. 1989. n-3 fatty acids in eggs from range-fed Greek chickens. *N Engl J Med*, 321, 1412.
- TAPIA, A. 2005. La Suplementación con ácidos grasos Omega-3 disminuye la agresividad, hostilidad y el comportamiento antisocial. *Rev. chil. nutr.* [revista en Internet]. Agosto 2005 [citado 2012 Nov 08] ; 32(2): 95-101. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-75182005000200003&lng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182005000200003&lng=es). doi: 10.4067/S0717-75182005000200003.

- TRAUTWEIN, E. 2001. N-3 fatty acids — Physiological and technical aspects for their use in food. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 103, 45-55.
- UAUY, R. & VALENZUELA, A. 2000. Marine oils: the health benefits of n-3 fatty acids. *Nutrition*, 16, 680-4.
- VAN ELSWYK, M. E. 1997. Comparison of n-3 fatty acid sources in laying hen rations for improvement of whole egg nutritional quality: a review. *Br J Nutr*, 78 Suppl 1, S61-9.
- VAN ELSWYK, M. E., HARGIS, B. M., WILLIAMS, J. D. & HARGIS, P. S. 1994. Dietary menhaden oil contributes to hepatic lipidosis in laying hens. *Poult Sci*, 73, 653-62.
- WEISS, L. A., BARRETT-CONNOR, E. & VON MUHLEN, D. 2005. Ratio of n-6 to n-3 fatty acids and bone mineral density in older adults: the Rancho Bernardo Study. *Am J Clin Nutr*, 81, 934-8.
- WELCH, A. A., SHAKYA-SHRESTHA, S., LENTJES, M. A., WAREHAM, N. J. & KHAW, K. T. 2010. Dietary intake and status of n-3 polyunsaturated fatty acids in a population of fish-eating and non-fish-eating meat-eaters, vegetarians, and vegans and the product-precursor ratio [corrected] of alpha-linolenic acid to long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids: results from the EPIC-Norfolk cohort. *Am J Clin Nutr*, 92, 1040-51.
- YALZÝN, H., KEMAL, M. & BASMACYOOLU, H. 2007. The fatty acid and cholesterol composition of enriched egg yolk lipids obtained by modifying hens diets with fish oil and flaxseed. *Grasas y Aceites*, 38, 372-378.