



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

FACULTAD DE QUÍMICA

*Efecto del ácido linoléico conjugado (CLA) y del aceite de pescado sobre las variables productivas de las aves y la composición lipídica del huevo al incorporarlos en forma combinada en la dieta de gallinas ponedoras.*

**TESIS**

PARA OBTENER EL TITULO DE  
**QUÍMICO DE ALIMENTOS**

P R E S E N T A

**LUIS DANIEL BRAVO GARCIA**



México, D.F.

AÑO 2010.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## **JURADO ASIGNADO**

**PRESIDENTE**      **LUCIA CORNEJO BARRERA**  
**VOCAL**            **HERMILO LARA LEAL**  
**SECRETARIO**    **SILVIA CARRILLO DOMINGUEZ**  
**1er. SUPLENTE**   **SANDRA PEREZ MUNGUIA**  
**2 SUPLENTE**     **CLAUDIA TERESA TOVAR PALACIO**

**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA**

**DEPTO. DE NUTRICIÓN ANIMAL, INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS MÉDICAS Y NUTRICIÓN  
SALVADOR ZUBIRAN.**

---

**M.P.A. SILVIA CARRILLO DOMÍNGUEZ**  
**ASESOR**

---

**M. EN C. ROSA MARÍA CASTILLO DOMINGUEZ**  
**SUPERVISOR TÉCNICO**

---

**LUIS DANIEL BRAVO GARCÍA**  
**SUSTENTANTE**

---

---

## AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater la **Universidad Nacional Autónoma de México** que dentro de ella, la **Facultad de Química**, la mejor facultad en química de latinoamérica me abrió sus puertas. Al ingresar profesores te dicen que consideres y por consiguiente trates a la **UNAM** como tu segundo hogar, ahora entiendo porque...

Al **INNCSZ** por permitirme llevar a cabo mi tesis de licenciatura y apoyarme en el desarrollo y conclusión de mi licenciatura. Al **Dr. Fernando Pérez-Gil Romo** jefe de departamento de Nutrición Animal.

Un agradecimiento muy especial por su paciencia al enseñarme y orientarme a mi asesora **M.P.A. Silvia Carrillo Domínguez** y **M. en C. Rosa María Castillo Domínguez** supervisora técnica. Además a **Patricia Torres, Sara Montaña, Lourdes, María Elena Carranco y Claudia Delgadillo** por su actitud siempre positiva y amable conmigo.

**Dr. Benjamín Fuente Martínez** y al **Dr. Ernesto Ávila González** director del Centro Experimental de Investigación y Extensión Avícola (CEIEPA) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM.

A BASF-México por la donación del CLA parte medular para la realización experimental del presente estudio de investigación.

A los profesores de la Facultad de Química **Dr. Hermilo Lara Leal** y **Lucia Cornejo Barrera** por su paciencia y apoyo en la conclusión de mi tesis.

A mis compañeros de laboratorio **Anhel, Miriam, Jesús, Belem, Maru, Jocelyn, Marysol, Daniela** y a todos los que compartimos el lugar de trabajo. **Zuen** e **Isadora** gracias por impulsarme con sus comentarios a llegar al final de este ciclo académico.

---

## DEDICATORIAS

A mi madre **María Elena**. Debería de darte las gracias por darme la vida pero quiero antes dar gracias a la vida por darme la oportunidad de nacer a tu lado, de ser mi madre. Citándote "*Solo Dios sabe lo que hemos pasado*" muy cierto, eres una gran persona y ser humano gracias por tu amor siempre sincero.

A mi padre **José Luis**. Gracias por tu apoyo incondicional, creer en mí y enseñarme con el ejemplo. "*Cuando seas padre entenderás muchas cosas*" - me decías – ojala el tiempo me regale vida para darme cuenta aun mas de la sabiduría que tienes.

A mi hermano **Abelman**. Que te puedo decir a ti hermano y no quedarme corto, gracias por tu compañía, amistad y siempre estar a mi lado cuando lo he necesitado, pero mas que nada por enseñarme a no pensar de forma ordinaria. Sabes que cuentas conmigo siempre.

A **Vero** la persona que fue y es una luz en mi camino cuando todo parecía un poco complicado siempre teniendo una palabra linda con una sonrisa en el rostro. No se que nos dicte el futuro, pero definitivamente gracias por el presente nena.

A mis amigos, **Chava, Edgar, Gerardo, Marco, Rulo, Mario, Rafa, Eric, Ruy y Pancho** por estar en momentos muy o poco importantes de mi vida, solo ahí. A la música por darme tantas alegrías, satisfacciones y cultura.

Hay personas que conoces y por razones de la misma se van quedando en el camino al recorrerla siempre dejando una enseñanza, gracias por ser parte de mi vida.

*"Sin música la vida seria un error"*  
*Friederich Nietzsche*

# Índice

---

## INDICE

	<b>Páginas</b>
<b>INDICE DE CUADROS</b>	<b>v</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>vi</b>
<b>Resumen</b>	<b>vii</b>
<b>1. INTRODUCCION</b> -----	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b> -----	<b>2</b>
2.1 Situación de la salud pública en México	
2.2 Ácidos grasos	
2.3 Ácidos grasos omega 3 (AGn-3)	
2.4 El ácido linoléico conjugado (CLA)	
2.5 Huevo de gallina	
2.6 Huevo enriquecido con AG n3	
2.7 Huevo enriquecido con CLA.	
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> -----	<b>30</b>
<b>4. OBJETIVOS</b> -----	<b>33</b>
4.1 Objetivo general.	
4.2 Objetivos específicos	
<b>5. HIPÓTESIS</b> -----	<b>33</b>
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS</b> -----	<b>34</b>
6.1 Obtención del aceite de sardina y CLA	

# Índice

---

6.2 Preparación de las dietas	
6.3 Ensayo biológico	
6.4 Medición de las variables productivas	
6.5 Determinación de Lípidos Totales	
6.6 Metilación y esterificación de lípidos para la obtención de ésteres metílicos de ácidos grasos	
6.7 Análisis estadístico	
<b>7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>-----41</b>
7.1 Variables productivas	
7.2 Ácidos grasos saturados (AGS) en huevo	
7.3 Ácidos grasos monoinsaturados (AGM) en huevo	
7.4 Ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) en huevo	
7.5 Total de AGS, AGM y AGPI en huevo	
7.6 Acido linoléico conjugado (CLA) en huevo	
<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>-----55</b>
<b>9. LITERATURA CITADA</b>	<b>-----56</b>

# Índice

---

## INDICE DE CUADROS

	<b>Págs.</b>
<b>Cuadro 1.</b> Principales causas de mortalidad general en México.	<b>3</b>
<b>Cuadro 2.</b> Nomenclatura de los principales ácidos grasos	<b>8</b>
<b>Cuadro 3.</b> Perfil de ácidos grasos n-3 en especies de pescado y aceites de pescado (g/100g)	<b>13</b>
<b>Cuadro 4.</b> Beneficios a la salud del ácido linoléico conjugado	<b>17</b>
<b>Cuadro 5.</b> Composición química del huevo de gallina	<b>25</b>
<b>Cuadro 6.</b> Composición en aminoácidos del huevo de gallina. (g/ 100g de porción comestible)	<b>26</b>
<b>Cuadro 7.</b> Ácidos grasos presentes en el huevo de gallina (g/ 100g)	<b>27</b>
<b>Cuadro 8.</b> Composición en ácidos grasos de los aceites utilizados en el experimento	<b>35</b>
<b>Cuadro 9.</b> Composición de la dieta base	<b>36</b>
<b>Cuadro 10.</b> Composición en AG de las dietas experimentales (mg/100 g)	<b>38</b>
<b>Cuadro 11.</b> Variables productivas obtenidas en gallinas alimentadas con dietas que incluyen aceite de sardina y CLA	<b>41</b>
<b>Cuadro 12.</b> Efecto del tratamiento y el tiempo sobre las variables productivas obtenidas en gallinas alimentadas con aceite de sardina y CLA	<b>42</b>
<b>Cuadro 13.</b> Concentración de ácidos grasos saturados (AGS) en el huevo (mg/100g) de gallinas alimentadas con dietas que incluyen AP y CLA	<b>44</b>
<b>Cuadro 14.</b> Concentración de ácidos grasos monoinsaturados (AGM) en el huevo (mg/100g) de gallinas alimentadas con dietas que incluyen AP y CLA	<b>46</b>
<b>Cuadro 15.</b> Concentración de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) omega 6 en el huevo (mg/100g) de gallinas alimentadas con dietas que incluyen AP y CLA	<b>48</b>



## Índice

---

<b>Cuadro 16.</b>	Concentración de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) omega 3 en el huevo (mg/100g) de gallinas alimentadas con dietas que incluyen aceite de sardina y CLA	<b>49</b>
<b>Cuadro 17.</b>	Concentración promedio del total de ácidos grasos (%) y la relación de AGPI n-6:n-3	<b>51</b>
<b>Cuadro 18.</b>	Concentración de ácido linoléico conjugado (CLA) en el huevo (mg/100g) de gallinas alimentadas con dietas que incluyen AP y CLA	<b>53</b>

# Índice

---

## INDICE DE FIGURAS

	<b>Págs.</b>
<b>Figura 1.</b> Estructura de un triacilglicerol	<b>4</b>
<b>Figura 2.</b> Estructura molecular de distintos ácidos grasos	<b>6</b>
<b>Figura 3.</b> Estructura del ácido linoléico	<b>10</b>
<b>Figura 4.</b> Estructura química del ácido linoléico y los isómeros de CLA	<b>14</b>
<b>Figura 5.</b> Vías metabólicas para la biosíntesis de CLA (cis-9, trans-11 C18:2)	<b>15</b>
<b>Figura 6.</b> Producción nacional de huevo	<b>18</b>
<b>Figura 7.</b> Consumo nacional per-capita de huevo para plato	<b>19</b>
<b>Figura 8.</b> Estructura general del huevo de gallina.	<b>19</b>
<b>Figura 9.</b> Estructura del cascarón	<b>23</b>
<b>Figura 10.</b> Diagrama general del ensayo experimental	<b>34</b>

## Resumen

---

### RESUMEN

En vista de los múltiples beneficios que los ácidos grasos omega tres (AGn3) aportan a la salud, hoy es muy común producir huevos enriquecidos con estos nutrimentos, utilizando para ello el aceite de pescado en la dieta de las aves. Sin embargo, hoy también se sabe que el ácido linoleico conjugado (CLA) es efectivo en la prevención de diferentes tipos de cánceres, diabetes mellitus y fortalece el sistema inmunológico. El objetivo de este estudio fue obtener huevos enriquecidos con AGn3 y CLA, incorporando en forma combinada aceite de sardina (AS) y CLA en la dieta de gallinas ponedoras, y determinar su efecto sobre las variables productivas de las aves y la composición lipídica del huevo. Se utilizaron 135 gallinas Bovans White distribuidas aleatoriamente en 3 tratamientos, con 5 réplicas de 9 aves cada una. A cada grupo de gallinas se le asignó en forma aleatoria uno de los siguientes tratamientos: T1 (2.5% AS), T2 (2.5% AS + 1% CLA) y T3 (2.5% AS + 2% CLA). El ensayo tuvo una duración de 28 días. Al final de cada semana se elaboró un resumen con los datos de consumo de alimento, producción, peso y masa del huevo así como la conversión alimenticia. Al final de experimento se tomaron 25 huevos por tratamiento (5 por replica), Se prepararon 5 "pools" homogeneizando manualmente con una batidora, la clara con la yema. Se determinó el contenido de lípidos totales mediante extracción con solventes (clororoformo:etanol) y el perfil de ácidos grasos y CLA por cromatografía de gases. Los resultados mostraron que la inclusión en forma combinada de 2.5% de aceite de sardina y CLA (1 y 2%) en la dieta de gallinas ponedoras no afecta la producción, masa y peso de huevo ( $P < 0.05$ ), y aunque el consumo de alimento se reduce, la conversión alimenticia se ve favorecida ( $P < 0.05$ ). El contenido de AGn3, CLA y ácidos grasos saturados en el huevo se incrementó en los tratamientos adicionados con CLA ( $P < 0.05$ ). Se concluye que al incorporar en la dieta de gallinas, aceite de sardina junto con ácido linoléico conjugado, no se afectan las variables productivas en forma negativa y se obtiene un producto con doble valor agregado, con alto contenido de AG n3 y CLA.

# Introducción

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde inicios del siglo XX la dieta occidental ha presentado una deficiencia de AGn3. Aproximadamente 90% de la población occidental la padece actualmente. Es decir, que hay un exceso de omega 6 (AGn6) en la dieta, proveniente de un alto consumo de granos y aceites vegetales y un bajo consumo de productos marinos, lo que a su vez altera la relación AGn6 / AGn3. El resultado final de este cambio en la relación AGn6/ AGn3 es el aumento de toda clase de enfermedades crónicas degenerativas comunes en nuestra época, empezando por la obesidad y enfermedades cardiovasculares.

Hace aproximadamente unos 30 años empezaron a aparecer los primeros estudios que relacionaban la ausencia de enfermedades del corazón con el consumo de aceites ricos en ácidos grasos omega 3 (AGn3). Además, el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA), dos de los principales AGn-3, predominan en los fosfolípidos del cerebro y la retina por lo que es vital su administración en el primer trimestre de gestación debido a que en este periodo se encuentran en desarrollo estos órganos. Investigaciones recientes revelan también que el ácido linoléico conjugado (CLA), al igual que los AGn3 brinda también múltiples beneficios a la salud.

En virtud de que el huevo es un alimento versátil, fácil de preparar y económico, se ha tratado de utilizarlo como vehículo para hacer llegar a la mayor parte de la población nutrimentos tan importantes como los AGn3 y el CLA. La inclusión de ingredientes con un alto contenido de AGn3 como el aceite de pescado, algas marinas y canola en la alimentación de las aves ha sido una alternativa para enriquecer el huevo con estos nutrimentos. De hecho, ya se comercializan los huevos enriquecidos con AGn3. Por otra parte el enriquecimiento del huevo para plato con CLA también ha sido evaluado, sin embargo se han detectado algunos efectos indeseables, como una disminución en el peso del huevo y un incremento en el contenido de ácidos grasos saturados. Algunos investigadores señalan que utilizarlo en forma combinada con ingredientes ricos en AGn3 en la dieta de las aves, pudiera corregir estos problemas, además de poder ofrecer al consumidor un producto de doble valor agregado, con mayor contenido de AG n3 y CLA, que un huevo convencional.

### **2. ANTECEDENTES**

#### **2.1 La salud pública en México**

De acuerdo a datos proporcionados por el Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI, 2005) las principales causas de defunción en México son las enfermedades relacionadas con el Sistema Circulatorio como: la aterosclerosis, enfermedades vasculares periféricas, embolia, trombosis arteriales y enfermedades de arterias y vasos capilares. Como segunda causa de fallecimiento están las enfermedades endocrinas, nutricionales y metabólicas como la obesidad, diabetes mellitus, kwashiorkor, marasmo nutricional y desnutrición proteico-calórica. Seguidas por diferentes tipos de cáncer (Cuadro 1).

Por otra parte, resultados publicados en la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT, 2006) muestran un descenso de la desnutrición crónica en el ámbito nacional, entre 1999 y 2006, y revelan que el sobrepeso y la obesidad se han incrementado en todas las edades, regiones y grupos socioeconómicos, con lo que se colocan entre los problemas de salud pública más importantes. De hecho, México tiene en la actualidad una de las más altas tasas de sobrepeso y obesidad del mundo (ENSANUT, 2006).

Sin embargo, se ha observado que incrementar la ingestión de ácidos grasos omega tres (AGn3) y ácido linoléico conjugado (CLA) en la dieta es de gran utilidad en la prevención y control de las enfermedades cardiovasculares y diferentes tipos de cáncer, así como en reducir la obesidad.

# Antecedentes

**Cuadro 1.** Principales causas de mortalidad en México.

Orden de Importancia	Causas	Defunciones
	<b>Total</b>	<b>495 240<sup>a</sup></b>
<b>1</b>	<b>Enfermedades del corazón</b>	<b>81 242</b>
	Enfermedades isquémicas del corazón	53 416
<b>2</b>	<b>Diabetes mellitus</b>	<b>67 159</b>
<b>3</b>	<b>Tumores malignos</b>	<b>63 128</b>
	De la tráquea, de los bronquios y del pulmón	7 048
	Del estómago	5 336
	Del hígado y de las vías biliares intrahepáticas	4 849
<b>4</b>	<b>Accidentes</b>	<b>35 854</b>
	De tráfico de vehículos de motor	15 972
<b>5</b>	<b>Enfermedades del hígado</b>	<b>30 254</b>
	Enfermedad alcohólica del hígado	13 812
<b>6</b>	<b>Enfermedades cerebrovasculares</b>	<b>27 398</b>
<b>7</b>	<b>Ciertas afecciones originadas en el periodo perinatal</b>	<b>16 450</b>
	Dificultad respiratoria del recién nacido y otros trastornos respiratorios originados en el periodo perinatal	8 164
<b>8</b>	<b>Enfermedades pulmonares obstructivas crónicas</b>	<b>15 465</b>
<b>9</b>	<b>Influenza y neumonía</b>	<b>13 134</b>
<b>10</b>	<b>Insuficiencia renal</b>	<b>10 250</b>
<b>11</b>	<b>Agresiones</b>	<b>9 921</b>
<b>12</b>	<b>Malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas</b>	<b>9 255</b>
<b>13</b>	<b>Desnutrición y otras deficiencias nutricionales</b>	<b>8 480</b>
<b>14</b>	<b>Bronquitis crónica y la no especificada, enfisema y asma</b>	<b>6 713</b>
<b>15</b>	<b>Enfermedad por virus de la inmunodeficiencia humana</b>	<b>4 654</b>
<b>16</b>	<b>Lesiones autoinfligidas intencionalmente</b>	<b>4 314</b>
<b>17</b>	<b>Enfermedades infecciosas intestinales</b>	<b>4 266</b>
<b>18</b>	<b>Septicemia</b>	<b>3 745</b>
<b>19</b>	<b>Anemias</b>	<b>3 656</b>
<b>20</b>	<b>Úlceras gástrica y duodenal</b>	<b>2 823</b>
	Subtotal	418 161
	Paro cardíaco	0
	Síntomas, signos y hallazgos anormales clínicos y de laboratorio, no clasificados en otra parte	9 509
	Las demás causas	67 570

\* NOTA: Estos criterios de selección, se establecen en el Centro Mexicano para la Clasificación de Enfermedades (CEMECE) y están vigentes a partir del año estadístico 2001

a El total no corresponde a la suma de ambos sexos, ya que incluye sexo no especificado.

b Se excluye paro cardíaco (29 C).

c Incluye tétanos neonatal (A33).

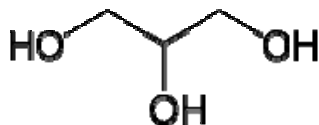
**Fuente:** INEGI. (2005). Dirección General de Estadística; Dirección de Estadísticas Vitales

### 2.2 Ácidos grasos

Los ácidos grasos pertenecen al grupo de los lípidos (del griego *lipos* = grasa). Son solubles en disolventes orgánicos y escasamente solubles en agua. Estos compuestos químicos varían en polaridad y dimensiones desde triglicéridos hidrófobos y ésteres del esteroide hasta fosfolípidos más hidrosolubles. Son los principales componentes del tejido adiposo y, junto con las proteínas y los hidratos de carbono constituyen el grueso de los componentes estructurales de todas las células vivientes (Fennema, 2000)

En los alimentos existen componentes lipídicos como los esfingolípidos, glicerofosfolípidos y los triglicéridos o triacilgliceroles con un contenido energético de 9 kcal/g (38 KJ), con respecto a las 4 kcal/g (17 KJ) que aportan los hidratos de carbono y proteínas (Fennema, 2000)

Un triglicérido está compuesto por la condensación de una molécula de glicerina con tres ácidos grasos (AG) (Figura 1). Los ésteres de glicerol de los ácidos grasos, que representan el 99% de los lípidos de origen animal y vegetal, se han llamado tradicionalmente grasas o aceites, dependiendo de si el material es sólido o líquido a temperatura ambiente. Las propiedades físicas y químicas de estas grasas o aceites dependen del tipo y cantidad de AG que las componen así como de la distribución en los triglicéridos.



**Figura 1.** Estructura de un triacilglicerol

**Fuente:** Fennema, 2000

El término ácido graso se refiere a todo ácido alifático monocarboxilado con cadenas laterales hidrocarbonadas que pueda ser liberado mediante hidrólisis de cualquier producto natural que lo contenga. (Fennema 2000).

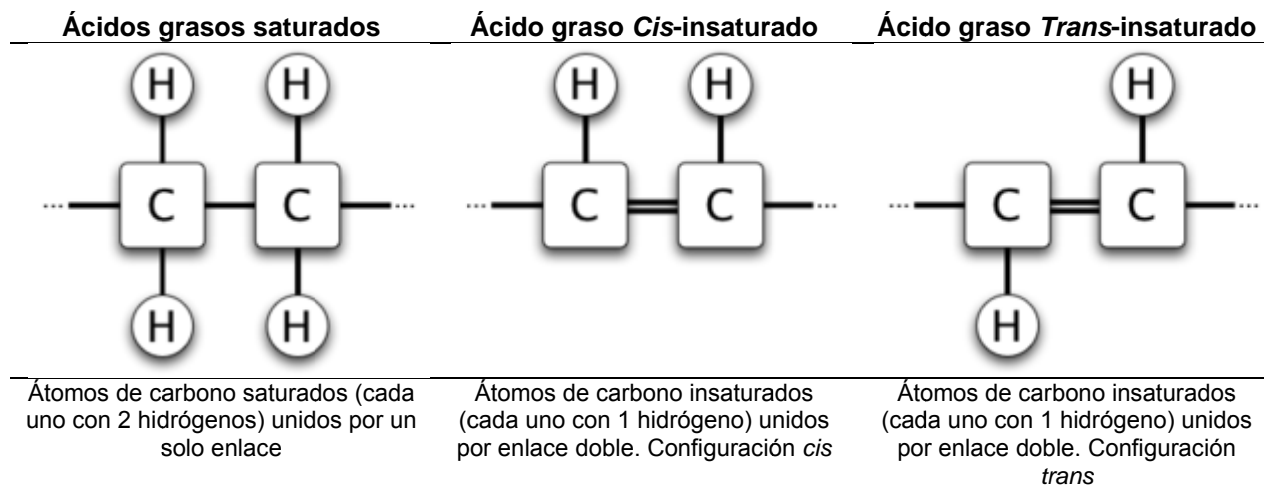
### Clasificación

Los ácidos grasos (AG) de interés biológico tienen un número par de átomos de carbono que van desde 4 a 26 y se pueden clasificar de diferente manera:

- a) Dependiendo de la longitud de su cadena hidrocarbonada:
  - Ácidos grasos de cadena corta (4-8)
  - Ácidos grasos de cadena media (10-12)
  - Ácidos grasos de cadena larga (14-18)
  - Ácidos grasos de cadena muy larga (20-26)
- b) Dependiendo de su grado de saturación los AG pueden clasificarse en: saturados, monoinsaturados y poliinsaturados. En los saturados no existen dobles ligaduras en la cadena hidrocarbonada, en los monoinsaturados existe una doble ligadura, mientras que en los poliinsaturados existen dos o más dobles ligaduras en la cadena. En los AG la conformación espacial de los hidrógenos en los enlaces simples es **cis** (del latín, del mismo lado) y en los dobles enlaces la conformación es **trans** (del latín, enfrente) (Figura 2). También existen AG con insaturaciones (dobles enlaces) en posición **trans** que pueden encontrarse en la fracción lipídica de la leche o de la carne de los rumiantes que se forman, por efecto de microorganismos, dentro de su aparato digestivo como el *Butyrivibrio fibrisolvens*. Esto también puede ocurrir por medio de una transformación química en procesos tecnológicos como la hidrogenación y refinación de un aceite



## Antecedentes



**Figura 2.** Estructura molecular de distintos ácidos grasos.

**Fuente:** Fennema, 2000

### Nomenclatura

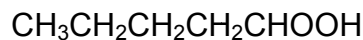
Los ácidos grasos se pueden denominar de cinco formas diferentes (Cuadro 2):

- a) Con el mismo prefijo que los hidrocarburos cuyo número de átomos de carbono sea el mismo (por ejemplo, CH<sub>3</sub> y COOH) reemplazando la terminación por *oico*. Así:



alcano

pentano



alcanoico

pentanoico

Si el ácido contiene dos grupos carboxilo, el sufijo se transforma en dioico (por ej., pentanodioico).

Como en el caso de los ácidos grasos saturados (AGS), los ácidos grasos insaturados (AGI) se nombran en función del hidrocarburo del que se deriven, reemplazando la terminación **anoico** por **enoico** para indicar la insaturación; los prefijos di, tri, etc., representan el número de enlaces existentes. Por ejemplo, ácido hexadecenoico ó 16:1. ácido octadecatrienoico ó 18:3, etc.

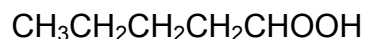
- b) En función del grupo carboxilo que sustituye al H del hidrocarburo correspondiente, (el COOH reemplaza H), utilizando el sufijo ácido carboxílico:

## Antecedentes

---



pentano



Ácido 1-pentano-carboxílico

- c) Los ácidos más comunes se pueden designar con sobrenombres para su reconocimiento en un ámbito industrial, médico y nutricional, como butírico, esteárico, oleico, etc.
- d) Mediante números separados por dos puntos, que expresan el número de átomos de carbono y el número de dobles enlaces por ejemplo 4:0, 18:1, 18:3. En el caso de los AGI, la forma más simple de especificar la localización del doble enlace es colocar antes del nombre del ácido un número para enlace insaturado. Por ejemplo, el ácido oleico, con un doble enlace entre los carbonos 9 y 10, se denomina ácido 9-octadecanoico. En algunos casos es conveniente distinguir los ácidos grasos insaturados por la localización del doble enlace contando desde el metilo terminal de la molécula, es decir, desde el carbono omega. Así, el ácido linoléico (ácido 9,12-octadecadienoico) se escribe como 18:2 n6 (*Fennema, 2000*).
- e) Utilizando abreviaturas a la hora de denominar a los triacilgliceroles, sustituyendo a cada ácido graso por una letra mayúscula, por ejemplo, P para el palmítico, L para el linoléico, etc. La posición del primer enlace insaturado desde el metilo al carbono terminal de la cadena es especificada por una “n” o “ω”. De acuerdo a esta clasificación se dividen en 3 grandes familias ω-3, ω-6 y ω-9. La letra griega omega (ω) se utiliza para indicar la posición de la doble ligadura empezando a contar el número de carbonos a partir del carbón metílico terminal de la molécula del ácido graso. Por ejemplo 18:1 ω-9 es el ácido oleico, el 18 corresponde al número de carbonos de la cadena, el 1 corresponde al número de insaturaciones y el 9 indica el número del carbono donde se encuentra la insaturación con respecto al metilo terminal del ácido graso (Figura 3 (Huang y Liu, 1999). Así, el ácido  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CHOOH}$  se puede nombrar como 4:0, ácido n-butanoico, ácido 1-propano carboxílico o ácido butírico (*Fennema, 2000*).

## Antecedentes

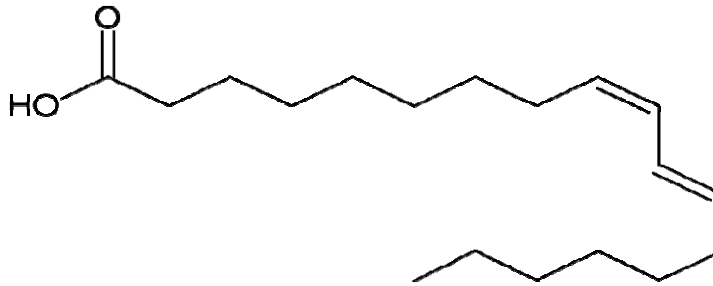
**Cuadro 2.** Nomenclatura de los principales ácidos grasos

	<b>Símbolo</b>	<b>Nombre Común</b>	<b>Nombre Sistemático</b>	<b>Formula Condensada</b>
<b>Saturados</b>	C4:0	Butírico	Butanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$
	C6:0	Caproico	Hexanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$
	C8:0	Caprílico	Octanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$
	C10:0	Cáprico	Decanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$
	C12:0	Láurico	Dodecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$
	C14:0	Mirístico	Tetradecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$
	C16:0	Palmítico	Hexadecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
	C18:0	Esteárico	Octadecanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
	C20:0	Araquídico	Eicosenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$
	C22:0	Behénico	Docosanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$
C24:0	Lignocérico	Tetracosanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$	
<b>Monoinsaturados</b>	C16:1	Palmitoléico	<i>cis</i> -9-Hexadecaenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
	C18:1	Oléico	<i>cis</i> -9-Octadecaenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
	C18:1	Elaídico	<i>trans</i> -9-Octadecaenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
	C20:1	Gadoleico	<i>cis</i> -9-Eicosaenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
	C20:1	Gandoico	<i>cis</i> -11-Eicosaenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$
C22:1	Erúcico	<i>cis</i> -9-Docosanoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$	

## Antecedentes

Polinsaturados	n6	C18:2	Linoleico	<i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12-Octadecaenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
		C18:3	$\gamma$ -Linolénico	<i>cis</i> -6, <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12-Octadecatrienoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$
		C20:3	Dinomo- $\gamma$ -Linolénico	<i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14-Eicosatrienoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$
		C20:4	Araquidónico (AA)	<i>cis</i> -5, <i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14-Eicosatrienoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$
		C22:4	Artrénico	<i>cis</i> -7, <i>cis</i> -10, <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16-Docosatetraenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$
		C22:5	Osmond (DPA)	<i>cis</i> -4, <i>cis</i> -7, <i>cis</i> -10, <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16 Docosapentaenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$
Polinsaturados	n3	C18:3	$\alpha$ - Linolénico (ALA)	<i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15-Octadecatrienoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$
		C18:4	Estearidónico	<i>cis</i> -6, <i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15-Octadecatetraenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$
		C20:5	Timnodónico (EPA)	<i>cis</i> -5, <i>cis</i> -8, <i>cis</i> -11, <i>cis</i> -14, <i>cis</i> -17-Eicosapentaenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_5(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$
		C22:5	Osmond (DPA)	<i>cis</i> -7, <i>cis</i> -10, <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16, <i>cis</i> -19 Docosapentaenoico	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$
		C22:6	Cervónico (DHA)	<i>cis</i> -4, <i>cis</i> -7, <i>cis</i> -10, <i>cis</i> -13, <i>cis</i> -16, <i>cis</i> -19-Docosahexaenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_6(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$

Fuente: Mataix, 2004



**Figura 3.** Estructura del ácido linoléico

### 2.3 Ácidos grasos omega 3

Los principales representantes de la familia de los n6 son el ácido linoléico C18:2 (LA) y el ácido araquidónico C20:4 (AA). En el caso de los AGn3 son los ácidos alfa-linolénico C18:3 (ALA), el eicosapentaenoico C20:5 (EPA), el docosapentaenoico C22:5 (DPA) y el docosahexaenoico C22:6 (DHA) (Ronayne, 2000).

Los ácidos linoléico (LA) y el alfa linolénico (ALA), son considerados esenciales o indispensables para los animales y el ser humano, ya que no pueden sintetizarlos porque carecen de las enzimas necesarias para colocar dobles ligaduras en los carbonos que se encuentran mas allá del carbono 9. Por lo tanto, deben ser suministrados a través de la dieta. Los AG de cadena más larga (AA, EPA, DPA y DHA) son sintetizados a partir del ácido linoléico y el ácido  $\alpha$ -linolénico por reacciones de desaturación y elongación alternantes.

Los estudios han demostrado que tanto los AGn3 como los n6 no sólo hay que tomarlos en cantidades suficientes, también hay que guardar una cierta proporción entre ellos (*Simopoulos, 2002*). Sin embargo, algunos estudios de nutrición demuestran que las dietas occidentales, más aún la típica estadounidense, pueden tener proporciones n6:n3 de 10:1 e incluso hasta de 30:1, lo cual tiene consecuencias negativas para la salud, ya que, los n6 compiten con los n3 por puestos en las membranas celulares. Disminuir esta razón a por lo menos 5:1 resulta benéfico para los asmáticos, mientras que de 4:1 ayuda a prevenir enfermedades cardiovasculares

## Antecedentes

---

hasta en un 70%, artritis reumatoide y cáncer colorectal. De ahí la importancia de incrementar el consumo de AGn3 para mantener el equilibrio (Deckere, 1999).

Los beneficios a la salud que los AGn3 proporcionan son múltiples, algunos de ellos se mencionan a continuación:

- a) La ingesta de AG n-3 disminuye la concentración de colesterol y triacilgliceroles en sangre reduciendo el riesgo de aterosclerosis, enfermedad que altera las membranas internas de las arterias, y que favorece una mayor acumulación del colesterol esterificado libre y de fosfolípidos, en la pared de las arterias generando ateromas y entorpeciendo la circulación de la sangre al grado de interrumpirla por completo (Puiggrós, 2004).
- b) Los AGn3 regulan las enzimas lipogénicas, las enzimas oxidativas mitocondriales, así como las gluconeogénicas, reduciendo por lo general la lipogénesis hepática, con lo que disminuye el contenido de enzimas en la síntesis lipídica, como pueden ser la sintetasa de AG, la acetil-CoA carboxilasa y la enzima málica entre otras; esta disminución se explica por una regulación negativa de la transcripción genética, a nivel de los mRNAs. (Ríos, 2006)
- c) Estos AG también se encargan de regular la adipogénesis, que es el proceso de generación de tejido blanco adiposo que se inicia con la diferenciación de fibroblastos en los adipositos, en cuyo proceso se involucra la inducción de proteínas específicas, la acetil-CoA sintetasa y la lipoproteína lipasa. Los AG inducen la expresión de estos productos específicos de los adipositos estimulando la diferenciación de los mismos aunado a una reducción del tejido adiposo visceral ya que los AGn3 actúan regulando negativamente la formación de dichos adipositos. De forma general, se ha observado que la reducción en la expresión hepática, es mediada por PPAR $\alpha$  (receptor alfa de los peroxisomas) que se activa por los AG n3 y n6. Estos receptores tienen un rol principal en la regulación del metabolismo de lípidos y glucosa así como en la diferenciación de los adipositos (Uauy-Dagach, 2001).
- d) Hay estudios que demuestran que el ALA está asociado a un menor riesgo de enfermedad cardiovascular. El cuerpo convierte el ALA en ácidos grasos de

## Antecedentes

---

cadena más larga, el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA). No se sabe si el efecto protector en contra de arritmias cardíacas es ejercido por el ALA mismo o por los productos metabólicos eicosanoides. Se ha sugerido en algunas investigaciones que existe un mayor efecto neuroprotector en modelos vivos para la isquemia y ciertos tipos de epilepsias (Kris-Etherton, Harris and Appel, 2002).

- e) Los lípidos se encuentran en mayores concentraciones en el sistema nervioso central, específicamente en la materia gris de la corteza cerebral, en membranas sinápticas, mitocondriales y microsomales (donde los fosfolípidos constituyen el 22% de los lípidos) y en el segmento externo de los fotorreceptores de la retina. En éstas estructuras destaca el alto contenido de DHA y AA, ya que ocupan el 50% del total de los AG presentes. Durante el embarazo, la transferencia de lípidos de la madre al feto es muy importante, se estima que en promedio se incorporan a los tejidos maternos y fetales 2.2 g por día. Más del 50 % de energía aportada al feto y al neonato es utilizada en el crecimiento cerebral. El DHA constituye hasta el 60% de los lípidos presentes en el segmento externo de los fotorreceptores de la retina. Se conocen dos roles específicos para el DHA en el sistema nervioso central: función visual y función cerebral (Mariane, 1998).
- f) Regulan el uso de oxígeno, el transporte de electrones y la producción de energía en los procesos celulares (Chow, 2008)
- g) Contribuyen al color de la sangre (Hemoglobina) a partir de sustancias más simples (Ronayne, 2000).
- h) Mantienen activas las funciones glandulares de producción de fluidos (exocrina) y de hormonas (endocrina) (Ronayne, 2000).
- i) Son necesarios para conservar sana la piel, el crecimiento del cabello, regular el metabolismo del colesterol y conservar la tasa de reproducción (Ronayne, 2000)

Aunque el ALA es importante, no es tan eficiente como el EPA y DHA en promover beneficios a la salud. Los productos marinos (peces, crustáceos, microalgas

## Antecedentes

marinas, etc.) constituyen la principal fuente de EPA y DHA (Cuadros 3 y 4). Mientras que la canola y la linaza constituyen la fuente principal de ALA (Mataix 2004).

**Cuadro 3.** Perfil de ácidos grasos n3 en especies de pescado y aceites de pescado (g/100g)

<b>Alimento</b>	<b>Total n3</b>	<b>C18:3</b>	<b>C18:4</b>	<b>C20:5</b>	<b>C22:5</b>	<b>C22:6</b>
<b>Pescado</b>						
Anchoa	1.47	0.01	0.04	0.50	0.02	0.90
Róbalo	0.78	0.02	-	0.17	-	0.59
Anjova	0.83	-	0.13	0.25	0.06	0.52
Lota	0.20	0.07	-	0.07	0.03	0.10
Carpa	0.70	0.27	-	0.24	0.08	0.11
Siluro	0.53	0.07	-	0.13	0.10	0.23
Halibut	0.52	0.07	-	0.07	0.09	0.29
Perca	2.6	0.10	-	0.90	-	1.60
Lucio	0.37	0.01	-	0.09	0.04	0.23
Gado	0.44	-	-	0.07	0.02	0.35
Merluza de Alaska	1.67	0.10	-	0.68	0.17	0.72
Esperinque	0.80	0.10	-	0.30	-	0.40
Pargo	0.20	-	-	-	-	0.20
Lenguado	0.10	-	-	-	-	0.10
Esturión	0.43	0.10	-	0.19	0.05	0.09
Pez Espada	0.44	0.24	0.00	0.10	0.00	0.10
Caviar	3.74	0.55	-	1.03	0.81	1.35
Pulpo	0.20	-	-	0.10	-	0.10
<b>Aceites de Pescado</b>						
Hígado de bacalao	19.75	0.94	-	6.90	0.94	10.97
Arenque	11.86	0.76	-	6.27	0.62	4.21
Lacha	28.14	1.49	-	13.17	4.92	8.56
Salmón	35.30	1.06	-	13.02	2.99	18.23

**Fuente:** Fuente: Astasarian y Martínez (2000) y Mataix (2004)

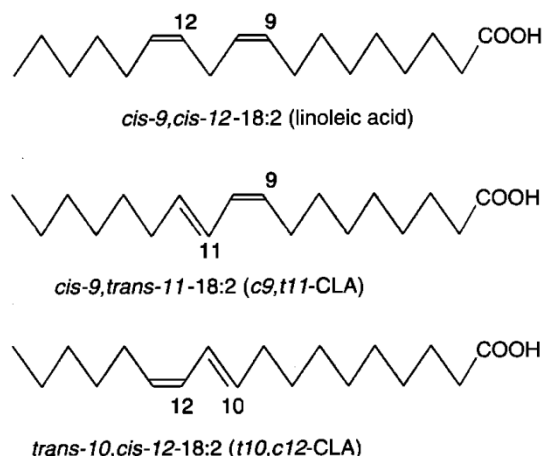
### 2.4 Ácido linoléico conjugado (CLA)

El ácido linoléico conjugado (CLA por sus siglas en inglés), es un ácido graso esencial producido por la flora intestinal de los animales rumiantes. Es un ácido



## Antecedentes

graso esencial ligeramente modificado. Se dice que es conjugado, porque ha sufrido algún cambio en su estructura molecular (Figura 4). Se han descrito 2 isómeros principales, el cis-9, trans-11 y el trans-10, cis-12. La estructura de estos isómeros fue determinada por Ha, Grima y Pariza en 1987, según lo señalan Zlatanov et al. (2002). Que sea un ácido conjugado, significa que ha sufrido algún cambio en su estructura molecular.



**Figura 4.** Estructura química del ácido linoléico y los isómeros principales del CLA

**Fuente:** Chow, 2008

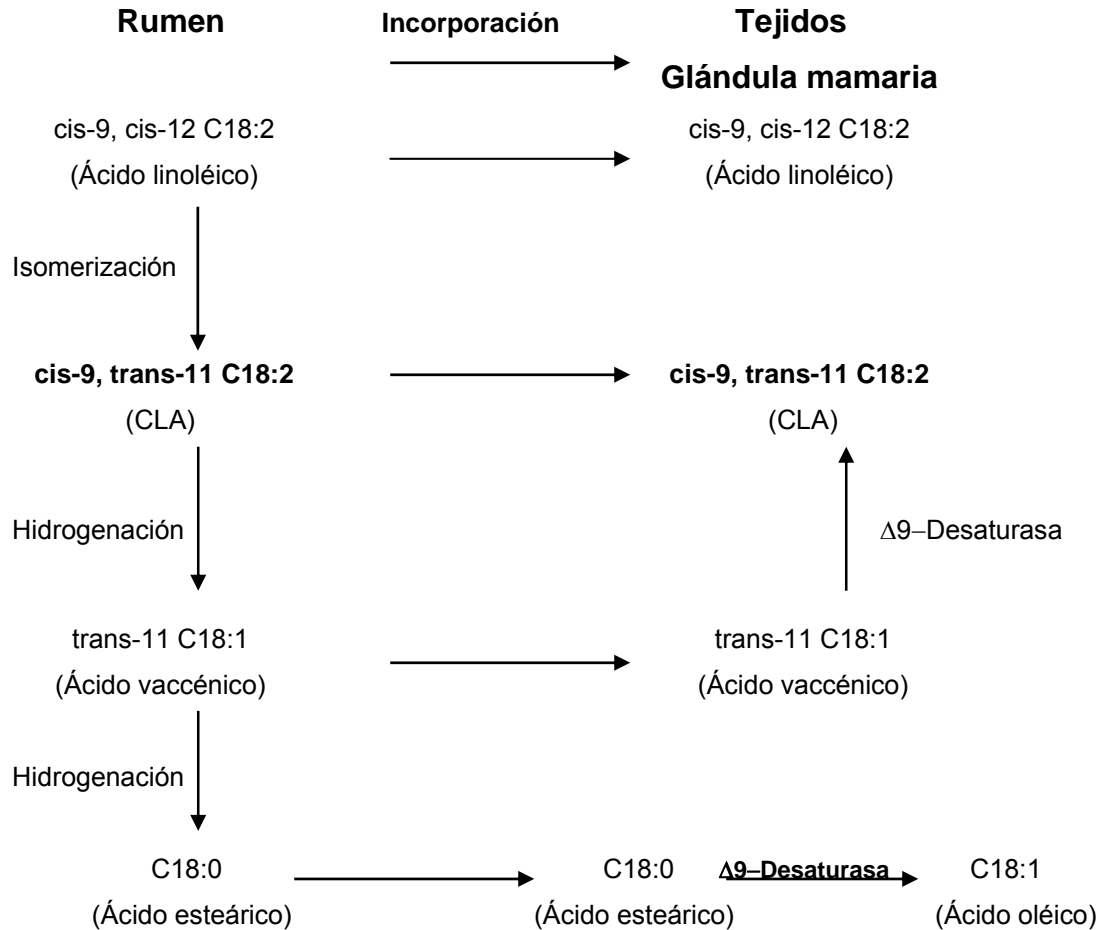
Existen dos vías de biosíntesis para el CLA:

- La primera es denominada la vía de la bioconversión, donde los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) ingeridos en la dieta como el ácido linoléico (cis-9, cis-12 C18:2), son transformados enzimáticamente por diferentes bacterias presentes en el rumen, generando el CLA.
- La segunda vía consiste en la conversión endógena del ácido vaccénico a cis-9, trans-11 C18:2, por la acción de la enzima  $\Delta$ -9 desaturasa presente en la glándula mamaria; a través de esta se genera el 60% de CLA presente en la grasa de la leche (Gnädig et al., 2003).

En 1969, Kleper aisló la enzima linoleato isomerasa del rumen, donde se identificó a la bacteria *Butyrivibrio fibrisolvens* como la responsable de la isomerización del ácido linoléico en cis-9, trans-11 C18:2 (ácido ruménico), siendo este el primer

## Antecedentes

paso de la vía, posteriormente el doble enlace en la posición  $\Delta$ -9 es hidrogenado para formar ácido vaccénico (trans-11 C18:1). Por último el ácido vaccénico es hidrogenado a ácido esteárico (C18:0). Los intermediarios cis-9, trans-11 C18:2 y el ácido vaccénico son acumulados y absorbidos en el intestino y se incorporan a diferentes tejidos (Figura 5).



**Figura 5.** Vías metabólicas para la biosíntesis de CLA (cis-9, trans-11 C18:2).

**Fuente:** Gnädig *et al.*, 2003

Los primeros estudios que demostraron los beneficios en la salud del ácido linoléico conjugado ocurrieron hace más de dos décadas, cuando Pariza y

## Antecedentes

---

colaboradores en 1986 encontraron en la carne vacuna un factor antimutagénico que consistía en una serie de isómeros del ácido linoléico. (Zlatanov *et al.*, 2002)

Numerosas investigaciones han atribuido al CLA diversos efectos fisiológicos positivos tales como, la inhibición de la carcinogénesis y de la diabetes mellitus inducida químicamente en roedores, además de fortalecer el sistema inmune en roedores y gallinas, reducción de la aterosclerosis en gallinas y conejos, mejora del crecimiento en ratas y cerdos, disminución de la grasa corporal en perros, ratones, ratas, cerdos y humanos (Pariza *et al.*, 2001)(Cuadro 4).

Los efectos del CLA sobre el sistema inmune se basan principalmente en el estímulo que ejerce en la síntesis de anticuerpos como las inmunoglobulinas A, G y M (IgA, IgG, IgM respectivamente), las cuales ofrecen protección frente al ataque de patógenos invasores. Del mismo modo se asocia al CLA con la disminución significativa de los niveles de inmunoglobulina E (IgE), anticuerpo relacionado a la mayoría de las reacciones alérgicas; por lo que se concluye que el CLA podría tener efectos favorables en la prevención y/o tratamiento de ciertas alergias alimentarias (Gnädig *et al.*, 2003)

El efecto más importante del CLA es la actividad anticarcinogénica, principalmente contra el cáncer de mama (Zlatanov *et al.*, 2002). En este sentido, se observó en ratas con tumores mamarios trasplantados una disminución de hasta un 73% del crecimiento tumoral si se aporta a los animales, antes de la inoculación del tumor, una dieta con 1% de CLA. Se dice que es más efectivo en su prevención que el ácido oleico, linoléico y que los AGn3, eicosapentaenoico y docosahexaenoico (Chow, 2008).

Otras funciones demostradas del CLA, son las siguientes (Chow, 2008):

- reduce la grasa corporal
- aumenta la masa muscular
- remodela la figura corporal
- reduce los niveles de colesterol y triglicéridos en sangre
- actúa como antioxidante, previniendo la aparición de ciertas enfermedades y el envejecimiento prematuro, neutralizando los radicales libres.

## Antecedentes

---

**Cuadro 4.** Beneficios a la salud del ácido linoléico conjugado

Efecto	Modo de acción	Modelo Experimental
Anticancerígeno	Inhibición del crecimiento de tumores/metástasis	Animales
	Inhibición de la proliferación de células cancerígenas	Células
	Inhibición de angiogénesis	Animales
Antiaterogénico	Reducción de la formación de placa	Animales
	Inhibición de la angiogénesis	Células
	Inhibe la formación de citoquinas	Animales
Antiobesidad	Reducción de la deposición de grasa	Animales/Humanos
	Inhibición de la diabetes	Animales
Modulación de la inmunidad	Inhibición de la producción de citoquina inflamatoria	Animales/Humanos

**Fuente:** Wahle *et al.*, 2004

Para recibir los beneficios del CLA una persona de 70 kg de peso debería consumir 3.0 g de CLA por día. Esta cantidad es aproximadamente tres veces mayor al consumo diario de los adultos en los Estados Unidos de Norteamérica, por lo que no es una idea tan fuera de lugar incrementar el nivel de CLA en los alimentos (Ip et al. 1995).

Para recibir los beneficios tanto de los AGn3 como del CLA es importante incrementar el consumo de productos marinos, así como de la leche y el queso. Sin embargo, tal como lo demuestran las estadísticas el consumo de pescado en México es de 13.9 kg de consumo per cápita anual (SAGARPA 2008) y el de la leche 117.2 lt

## Antecedentes

de consumo per cápita anual (SAGARPA, 2005). Sin embargo, existe un alimento de alto consumo en todo el país (22 kg per cápita anual), que está siendo utilizado como vehículo para hacer llegar estos nutrientes (AGn3 y CLA) al consumidor (Ip et al. 1995). Este alimento es el huevo de gallina.

### 2.5 El huevo de gallina

En los últimos 50 años, la industria avícola ha experimentado más cambios que cualquier otro sector de la producción animal. El consumo mundial de los productos avícolas ha ido en aumento más allá del ritmo de crecimiento de la población mundial y continúa dando signos de desarrollo aun en las economías mas rezagadas del planeta. Durante la última década la producción de huevo en México creció a un ritmo anual de 6.2% (Figura 6). En la actualidad **México es el sexto país productor de huevo** a nivel mundial (Figura 6). Por otra parte, el consumo nacional de huevo también se ha incrementado en los últimos años, actualmente el consumo per cápita anual es de 22.12 kg (Figura 7), constituyéndose México como el **primer país consumidor de huevo fresco** (INA,2010).

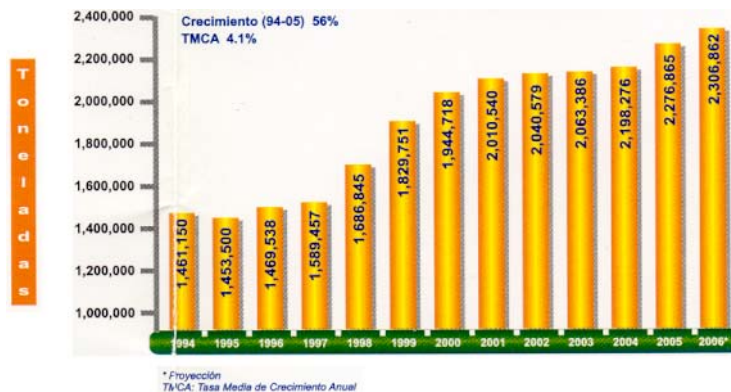
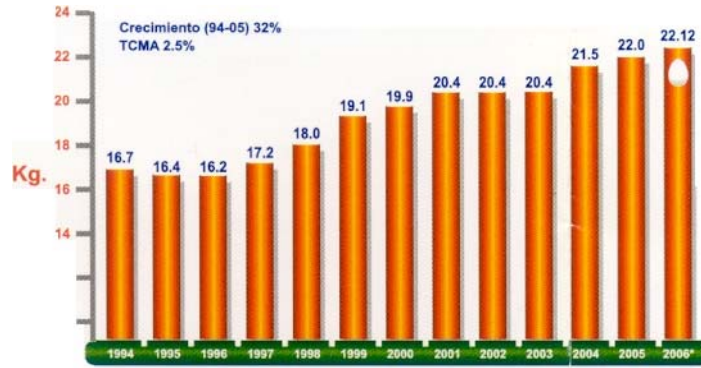


Figura 6. Producción nacional de huevo

Fuente: INA, 2010

## Antecedentes

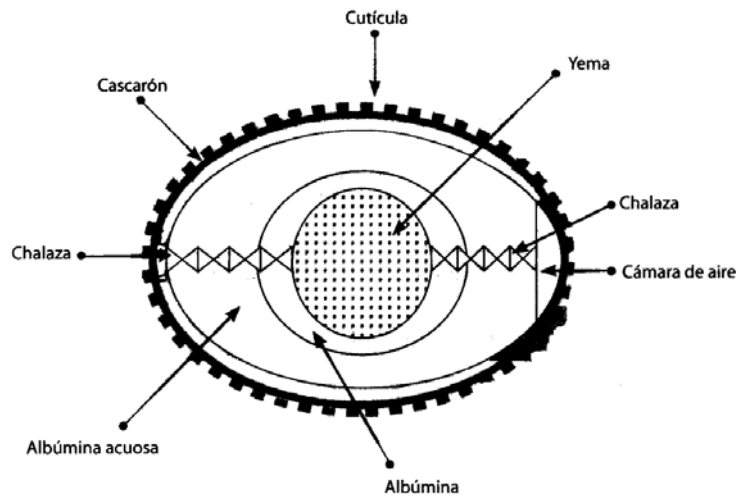


**Figura 7.** Consumo per-cápita nacional de huevo para plato

**Fuente:** INA, 2010

### Estructura del huevo

El huevo es un alimento que se encuentra formado por tres estructuras principales: yema, albúmina o clara y el cascarón.



**Figura 8.** Estructura general del huevo de gallina.

**Fuente:** Carrillo, 2010

## Antecedentes

---

### Yema

Cuando las gallinas ponedoras alcanzan la madurez sexual (18-22 semanas de edad), los folículos crecen en el ovario como consecuencia del aumento del tamaño del citoplasma del ovocito. En este lugar tiene la deposición de sustancias lipoprotéicas que constituyen el vitelo. Este ovocito, repleto de vitelo y rodeado de sus membranas es el que se denomina yema (Bell, 2002).

La yema es la porción amarilla del huevo, está recubierta por una membrana vitelina que la separa de la clara y la protege de una posible rotura. Puede presentar una mancha rojiza, que corresponde al disco germinativo, a partir del cual se desarrollará el pollo, en caso de que el huevo sea fecundado. Es una emulsión de grasa en agua, con un porcentaje de 50% de extracto seco. En la fase sólida se han visto tres tipos de partículas: esferas, gránulos grandes (que contienen grasa en forma esterificada y colesterol) y micelas (que contienen el 90% de los triacilgliceroles en forma de microemulsión). En el centro de la micela se encuentra una gota de grasa rodeada por una capa de fosfolípido-proteína (Bowers, 1992). El color está determinado por la dieta de la gallina. Una tercera parte de la yema de huevo está constituida por proteínas y dos terceras partes por lípidos.

### Proteínas

- A) Livetina: Proteína caracterizada por su solubilidad en agua.
- B) Lipovitelina: Son lipoproteínas de alta densidad (HDL), cuya fracción lipídica constituye el 22% del extracto seco.
- C) Lipovitelinina
- D) Fosvitina: Es una glicofosfoproteína que fija con facilidad los iones metálicos formando complejos metálicos. Tiene un alto contenido en serina, careciendo de triptofano, cisteína y metionina; poco valor nutritivo.
- E) Vitelina: Se encuentra dispersa una pequeña cantidad en la fase acuosa de la yema.
- F) Vitelinina

## Antecedentes

---

### Lípidos

El contenido total de lípidos en la yema es de 4 a 4.5 g por unidad, de los cuales 1.5 g son grasa saturada y el resto insaturada (predominando la monoinsaturada que es benéfica para el organismo). El principal fosfolípido de la yema es la lecitina (fosfatidilcolina) con algo de fosfatidiletanolamina y pequeñas cantidades de fosfatidilserina. Los ácidos grasos que se encuentran en mayor proporción en los triacilgliceroles son: ácido palmítico, esteárico, oleico y linoléico (Bowers, 1992).

### **Albúmina o clara**

Tiene una función protectora. La albúmina es una solución viscosa (coloidal) que rodea a la yema y se encuentra contenida entre las membranas del cascarón. Se distinguen tres capas diferenciales por su consistencia: dos densas y una acuosa. La clara densa va perdiendo su consistencia al transcurrir el tiempo después de haber sido puesto el huevo, y por lo tanto va perdiendo su capacidad de mantener a la yema en la posición central normal. Con el paso del tiempo la clara densa se transforma en fluida y el pH se incrementa de 7.6 a 9.3. (Bell, 2002)

Básicamente se trata de una solución de proteínas globulares que contienen fibras de ovomucina (existen mas de treinta proteínas diferentes), ricas en aminoácidos esenciales. Las glucoproteínas A, B y C suman mas del 80% del total de proteínas en la clara de huevo (Zeidler, 2002):

#### A) Ovoalbúmina (54 %)

La principal proteína de la clara de huevo es una fosfoglucoproteína integrada por tres fracciones: A1, A2 y A3 en una proporción de 85:12:3 respectivamente, se diferencian por su contenido de fósforo. Es rica en metionina y cisteína. Proteína muy importante en la tecnología de alimentos, por su capacidad para formar espumas debido a los puentes disulfuro. Se desnaturaliza con cierta facilidad, dando grupos SH libres.

#### B) Conalbúmina (13 %)

Es una proteína no fosforilada formada por dos cadenas polipeptídicas; no presenta grupos sulfhidrilo pero es rica en enlaces disulfuro. Contiene restos de manosa y glucosamina. Tiene gran poder quelante de metales, en especial el hierro, volviéndose



## Antecedentes

---

termoresistente. La capacidad secuestrante del hierro le confiere propiedades antioxidantes y actividad antimicrobiana. Tiene interés biológico y bromatológico, ya que favorece la conservación.

### C) Ovomucoide (11 %)

No se coagula con el calor. Es una glucoproteína rica en glucosamina (14%) y aminoácidos azufrados (13%). Presenta manosa, galactosa y ácido neuramínico. Es rica en puentes disulfuro. Factor antitripsico y alergénico. Se enlaza con la tripsina del tubo digestivo produciendo indigestión.

### D) Lisozima (3,5 %)

Actividad antimicrobiana y enzimática. La clara de huevo contiene un 7% de globulinas incluyendo la lisozima, una proteína interesante ya que disuelve las paredes celulares de algunas bacterias; los mucopolisacáridos de las bacterias Gram +

### E) Ovoflavoproteínas

Proteínas enlazadas con la riboflavina, vitamina B<sub>12</sub>

### F) Avidina

Existe en pequeñas cantidades, se une a la biotina y se inactiva por el calor.

### G) Ovomucina

Contribuye al espesor de la clara densa y es una glucoproteína más rica que el ovomucoide en ácido siálico. Es un inhibidor de la hemoaglutinación vírica; proteína antivirica. Muy viscosa.

## Cascarón

Complejo mineral formado por carbonato de calcio (94%) y carbonato de magnesio, puede presentar también fosfato cálcico y fosfato de magnesio. Posee una proteína que es la oseína y mucoproteínas. Dentro de sus funciones están las siguientes: la contención y transporte del contenido, la exclusión de patógenos y microbios que pueden dañar al contenido y soportar el desarrollo embrionario. El cascarón del huevo es de un grosor muy variable que va de 0.28 a 0.48 mm. Esta revestido con una película protectora natural que impide que los microorganismos penetren. El cascarón

## Antecedentes

constituye entre el 9% y 12% del huevo del peso total. Su naturaleza porosa permite el intercambio de agua y anhídrido carbónico con la atmósfera. Las capas del cascarón son las siguientes (Figura 9):

### A) Membranas de la cáscara o testáceas (la interna y externa)

Son dos envolturas que en conjunto forman el corion, una esta adherida al cascarón y otra con la clara, ambas están unidas internamente y se separan en el polo mas ancho, para formar la cámara de aire.

### B) Capa mamilar o capa de protuberancias mamilares

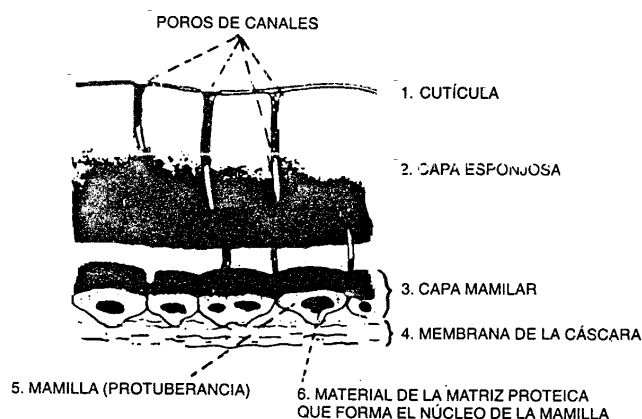
Constituye la capa calcificada inmediata a la membrana externa. La materia orgánica de esta capa está formada por un mucopolisacárido y una proteína sulfurada en los núcleos y por un complejo proteína-mucopolisacárido y una pequeña cantidad en el resto de las protuberancias.

### C) Capa empalizada o "capa esponjosa"

Formada por fibras dispuestas paralelamente a la superficie del huevo, constituye del 60 al 95% de la cáscara.

### D) La cámara de aire

Se localiza en el polo obtuso o ancho del huevo. Es relativamente pequeña en el huevo recién puesto (3mm) y aumenta de profundidad a medida que pasa el tiempo. Por tal motivo es importante para determinar la calidad del huevo, entre mas chica sea la cámara de aire es mas fresco el huevo.



**Figura 9.** Estructura del cascarón.

**Fuente:** Mountney y Parkhurst, 2001

## Antecedentes

---

### E) Latebra

Es un cordón de vitelo que inicia en el disco germinativo y se prolonga hasta el centro de la yema.

### F) Chalazas

Son dos formaciones similares a cordones, de un color transparente-blanquecino. Se localizan en los ejes longitudinales del huevo, se forman en el útero, por torsión de las fibras de mucina. La función principal es la de fijar la yema al centro del huevo, cuanto mas prominente es la chalaza mas fresco es el huevo.

### G) Capa mamilar

Es la porción interna del cascarón mas calcificada. La mayor parte orgánica de esta estructura contiene mucopolisacáridos y proteínas azufradas. Cuando hay una distribución dispareja de los núcleos, los cascarones son débiles y con áreas delgadas.

### H) Capas palizadas

Consisten de columnas paralelas de cristal que se extienden hasta acercarse a la superficie del cascarón.

### I) Cutícula

Es la estructura final del cascarón, es una cubierta orgánica grasosa que se deposita sobre el cascarón conforme pasa a través de la vagina. Tiene un espesor de 10 a 30 micras. Está compuesta de materia orgánica llamada mucina. Su función es evitar el paso de partículas sólidas y líquidas y así evitar la invasión microbiana al interior del huevo; también se encarga de regular el intercambio de gases.

## Valor nutritivo

El huevo para plato contiene valiosos nutrimentos en forma concentrada (Cuadro 5). Contiene de 6 a 7 g de proteína y todos los aminoácidos esenciales, lo que le confiere un alto valor biológico. Por tal motivo los especialistas en nutrición la usan como estándar de referencia para evaluar la calidad de la proteína de otros alimentos (Cuadro 6).

La yema de huevo es rica en colesterol, compuesto lipóide que se encuentra en la sangre, tejido nervioso y otras partes del cuerpo. El colesterol es sintetizado tanto en el organismo (endógeno) como obtenido a través de los alimentos que se

## Antecedentes

consumen (exógeno). También se encuentran sustancias como la lecitina que contribuye a mantener el balance de colesterol en el cuerpo actuando como emulsificante y por lo tanto, contribuye a reducir la concentración de colesterol en la sangre (Mc Namara y Nicolosi, 1999).

**Cuadro 5.** Composición química del huevo de gallina

HUEVOS DE GALLINA (composición por 100 g de porción comestible)			
	Huevo	Yema	Clara
Agua (g)	74,5	51,7	88
Energía (Kcal.)	162	353	49,1
Proteínas (g)	12,7	16,1	11,1
Carbohidratos (g)	0,68	0,3	0,7
Almidón (g)	0	0	0
Azúcares sencillos (g)	0,68	0,3	0,7
Lípidos totales (g)	12,1	31,9	0,2
Colesterol (mg)	410	1260	0
Fibra vegetal (g)	0	0	0
Alcohol (g)	0	0	0
Tiamina (mg)	0,11	0,29	0,022
Riboflavina (mg)	0,37	0,4	0,32
Equivalentes de Niacina (mg)	3,3	4,2	3,4
Vitamina B <sub>6</sub> (mg)	0,12	0,3	0,012
Eq.Folatodietético (µg)	51,2	159	9,2
Vitamina B <sub>12</sub> (µg)	2,1	2	0,1
Vitamina C (mg)	0	0	0,3
Pantoténico (mg)	1,8	3,7	0,14
Vitamina-A (µg)	227	886	0
Retinol (µg)	225	881	0
Carotenoides (µg)	10	29	0
Vitamina D (µg)	1,8	5,6	0
Vitamina E (µg)	1,9	5,5	0
Vitamina K (µg)	8,9	2	0,01
Calcio (mg)	56,2	140	11
Fósforo (mg)	216	590	21
Hierro (mg)	2,2	7,2	0,2
Iodo (µg)	12,7	12	6,8
Cinc (mg)	2	3,8	0,02
Magnesio (mg)	12,1	16	12
Sodio (mg)	144	51	170
Potasio (mg)	147	138	154
Manganeso (mg)	0,071	0,13	0,04
Cobre (mg)	0,065	0,35	0,006
Selenio (µg)	10	19	5,4

**Fuente:** Carrillo et al, 2010

## Antecedentes

El huevo también es una fuente del fosfolípido colina (el cual favorece el desarrollo de la memoria durante el crecimiento) y de los pigmentos luteína y zeaxantina (Belitz y Grosch, 2002). En el caso particular de la vitamina D, esta se produce de forma natural por la exposición solar, sin embargo en casos donde esto no es posible, el huevo es una herramienta útil, ya que es la segunda fuente más importante de vitamina D, después del pescado.

**Cuadro 6.** Composición en aminoácidos del huevo de gallina  
(g/ 100g de porción comestible)

<b>Aminoácido</b>	<b>Huevo entero</b>	<b>clara</b>	<b>yema</b>
Alanina	0.71	0.65	0.82
Arginina	0.84	0.63	1.13
Ac Aspártico	1.20	0.85	1.37
Cisteína	0.30	0.26	0.27
Ac Glutámico	1.58	1.52	1.95
Glicina	0.45	0.40	0.57
Histidina	0.31	0.23	0.37
Isoleucina	0.85	0.70	1.00
Leucina	1.13	0.95	1.37
Lisina	0.68	0.65	1.07
Metionina	0.40	0.42	0.42
Fenilalanina	0.74	0.69	0.72
Prolina	0.54	0.41	0.72
Serina	0.92	0.75	1.31
Treonina	0.51	0.48	0.83
Triptofano	0.21	0.16	0.24
Tirosina	0.55	0.45	0.76
Valina	0.95	0.84	1.12

**Fuente:** Belitz et al, 2004

## Antecedentes

A excepción de la vitamina C los huevos contienen generosas cantidades de las vitaminas liposolubles (A, D, E y K) e hidrosolubles (el complejo B: tiamina, riboflavina, ácido pantoténico, niacina, ácido fólico y vitamina B<sub>12</sub>).

Los principales ácidos grasos saturados presentes en el huevo son el palmitico (C16:0) y el estearico (C18:0), de los monoinsaturados es el oleico (C18:1n9), mientras que de los poliinsaturados es el linoléico (C18:2 n6) (AEB, 2005) (Cuadro 7)

**Cuadro 7.** Ácidos grasos presentes en el huevo de gallina. (g/ 100g)

Ácidos Grasos	Huevo Entero	Yema	Clara
Saturados	3.15	7.82	-
Mirístico (C14:0)	0.04	0.09	-
Palmítico (C16:0)	2.28	5.68	-
Esteárico (C18:0)	0.81	2.02	-
Monoinsaturados	3.89	9.75	-
Palmitoléico (C16:1)	0.26	0.64	-
Oleico (C18:1)	3.58	9.01	-
Eicosenoico (C20:1)	0.03	0.06	-
Poliinsaturados	1.41	3.63	-
Linoléico (C18:2 LA $\omega$ -6)	1.1	2.94	-
Alfa-Linolénico (C18:3 ALA $\omega$ -3)	0.03	0.06	-
Araquidónico (C20:2 AA $\omega$ -6)	0.14	0.43	-
Eicosapentaenóico (C20:5 EPA $\omega$ -3)	0.09	0.03	-
Docosahexaenóico (C22:6 DHA $\omega$ -3)	0.05	0.13	-

**Fuente:** AEB, 2005

### 2. 6 Huevo enriquecido con AGn3

La modificación en la composición lipídica del huevo a través de la dieta de las aves, ha mostrado ser un método viable para poner al alcance de cualquier consumidor nutrimentos tan importantes como los AGn3. Los recursos que se han evaluado para lograr tal fin son: el aceite de menhaden, aceite de atún, aceite de sardina, microalgas marinas, aceite y harina de linaza, aceite de canola, harina de crustáceos (Castillo et al. 2001; González-Ezquerria y Lesson, 2000, 2001; Carranco et al., 2004; Castillo-Badillo et al. 2005; Carrillo et al. 2005). La linaza y la canola son excelente fuente del ácido  $\alpha$ -linolenico (ALA), sin embargo los mayores beneficios se obtienen con el EPA y DHA (Simopoulos, 2000; González-Esquerria y Leeson, 2000). Además se ha observado que al suplementar las dietas con aceite de linaza en lugar de aceite de pescado hay una retención preferencial de ALA, lo que ocasiona una baja deposición de C20:5 n-3 (EPA) y C22:6 n-3 (DHA) (Chow, 2008).

Los aceites de pescado (AP) constituyen una excelente fuente de EPA y DHA. En México su uso es incipiente, pero es una excelente alternativa. González-Esquerria y Leeson (2001) encontraron un incremento lineal en el contenido de AGn3 de cadena larga en la yema con la adición del aceite de pescado menhaden a la dieta, por encima de 60 g/kg de inclusión. Sin embargo, estudios realizados con este recurso señalan la conveniencia de emplear niveles inferiores al 3% de la dieta de las aves, a fin de no afectar negativamente el sabor del huevo (Hargis y Van Elswyk, 1993; Castillo et al. 2001; Castillo-Badillo et al. 2005).

La deposición de AG n3 en los lípidos totales de la yema podría ser afectada por la adición a la dieta de otra fuente de lípidos, lo cual podría interferir con la elongación y desaturación de AG n-3 y con su deposición en la yema. En este sentido, la inclusión de AP como sustituto de aceite de linaza, semilla de girasol y sebo llevaron a cambios en el contenido de AG n3 que variaron acorde al tipo de grasa sustituido (Baucells et al., 2000)

Trabajos previos con AP menhaden (Huang et al., 1990) mostraron que el rango de deposición de AG n3 de cadena larga en huevo decrece cuando el nivel de inclusión de AP menhaden en la dieta se incrementa. Sin embargo González-Esquerria

## Antecedentes

---

y Leeson (2001) encontraron un incremento lineal en el contenido de AG n3 de cadena larga en la yema con la adición de aceite menhaden a la dieta por encima de 60 g/kg de inclusión. La proporción de DHA en el total de AG n3 varía ampliamente entre diferentes tipos de pescado.

Diversos estudios (Van Elswyk, 1997; Gonzalez-Esquerria y Lesson 2001) sugieren que la presencia de sabor a pescado en el huevo y en consecuencia la baja aceptación de los panelistas también ocurre con altos niveles de inclusión de CLA y aceite de algas en la dieta de las aves.

### 2.7 Huevo enriquecido con CLA

Trabajos previos (Du et al., 2000; Jones et al., 2002; Álvarez et al., 2004<sup>a</sup>) han demostrado que es posible producir huevos enriquecidos con ácido linoléico conjugado (CLA) a través de la suplementación de este AG en las dietas. Sin embargo, algunos trabajos también indican que suplementar la dieta de las gallinas con CLA provoca cambios en la composición de lípidos en el huevo (Ahn et. al., 1999; Álvarez et. al., 2004).

Ahn *et al.* (1999) y Aydin *et al.*(2001) encontraron que la concentración de ácidos grasos monoinsaturados y ácidos grasos poliinsaturados (no de CLA) se redujo, mientras que la de los ácidos grasos saturados se incrementa notablemente. Estos efectos fueron atribuidos a una actividad decreciente de la enzima delta 9-desaturasa. Estos mismos autores señalan que, suplementar la dieta con CLA por encima de 5 g/kg, altera el color y la textura de la yema (gomosa y elástica en huevos cocidos). Otros trabajos también indican que al adicionar CLA a la dieta de las aves se incrementa el grado de saturación en la yema de huevo y consecuentemente se afecta la dureza de la yema de huevo (Ahn et. al., 1999; Álvarez et. al., 2004<sup>a,b</sup>). Estos cambios fueron paralelos a un incremento en el contenido del agua en la yema y de su pH, con un decremento del pH de la albúmina y movimiento de iones a través de la membrana de la yema durante el almacenamiento. Estos efectos han sido relacionados a la incorporación de CLA entre los fosfolípidos de la membrana de la yema (Du et al., 2000) incrementando su permeabilidad.



## Antecedentes

---

La eficiencia de retención de CLA en el huevo fue alrededor de 20% pero varía con el tipo de isómero de CLA usado (Du et al., 1999; Jones et al., 2000) y con el tipo y contenido de lípidos en la dieta base.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, las enfermedades cardiovasculares, los accidentes cardiovasculares, diabetes y diferentes tipos de cáncer constituyen las principales causas de mortalidad en México y otros países. Se sabe que la ingesta regular de AG n3 y CLA puede prevenir y/o reducir el riesgo de padecer alguna de estas enfermedades, lo que ha generado gran interés por estos compuestos.

Pero es un hecho que con la inherente desigualdad social de países subdesarrollados no todas las personas tienen posibilidad de tener al alcance, ya sea la información o los beneficios de estos novedosos nutrimentos.

Por tal motivo el huevo de gallina, alimento de alto consumo, ha sido utilizado como vehículo para hacer llegar al consumidor los beneficios de compuestos nutraceuticos, como los AGn3 y CLA.

Actualmente ya se comercializan los huevos enriquecidos con AGn3, sin embargo al enriquecer el huevo con CLA se han detectado algunos efectos indeseables, como una disminución en el peso del huevo y un incremento en el contenido de ácidos grasos saturados. Algunos investigadores señalan que utilizarlo en forma combinada con ingredientes ricos en AGn3 en la dieta de las aves, pudiera corregir estos problemas, además al hacer esto se podría ofrecer al consumidor un producto con doble valor agregado, enriquecido con ácidos grasos omega tres (AG n3) y ácido linoléico conjugado (CLA) a un mismo tiempo. Esto podría ser posible incorporando en forma combinada aceite de sardina (AS) y CLA a la dieta para aves de corral. El AS fue utilizado en el presente por su bajo costo en comparación a otros aceites provenientes de algunas variedades de pescado,

## 4. OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Incorporar en la dieta de gallinas ponedoras ácido linoléico conjugado y aceite de sardina (AS) en forma combinada y determinar su efecto sobre la composición y concentración de ácidos grasos en el huevo y sobre las variables productivas de las aves

### 4 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar el efecto de incorporar en forma combinada aceite de sardina (AS) y CLA, en la ración de gallinas ponedoras, sobre las variables productivas de las aves.
- Determinar el efecto de incorporar en forma combinada aceite de sardina (AS) y CLA, en la ración de gallinas ponedoras, sobre el contenido de lípidos totales y ácidos grasos del huevo.
- Obtener huevo para plato con doble valor agregado (alto contenido de AGn3 y CLA)

## 5. HIPÓTESIS

- Al incorporar en forma combinada aceite de sardina (AS) y CLA, en la ración de gallinas ponedoras, las variables productivas de las aves no se verán afectadas en forma alguna.
- Al incorporar en forma combinada aceite de sardina (AS) y CLA, en la ración de gallinas ponedoras, la composición en ácidos grasos del huevo se verá modificada.
- Al incorporar en forma combinada aceite de sardina (AS) y CLA, en la ración de gallinas ponedoras, se obtendrá huevo para plato con doble valor agregado (alto contenido de AGn3 y CLA).

### 6. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 6.1 Obtención del aceite de sardina y del CLA

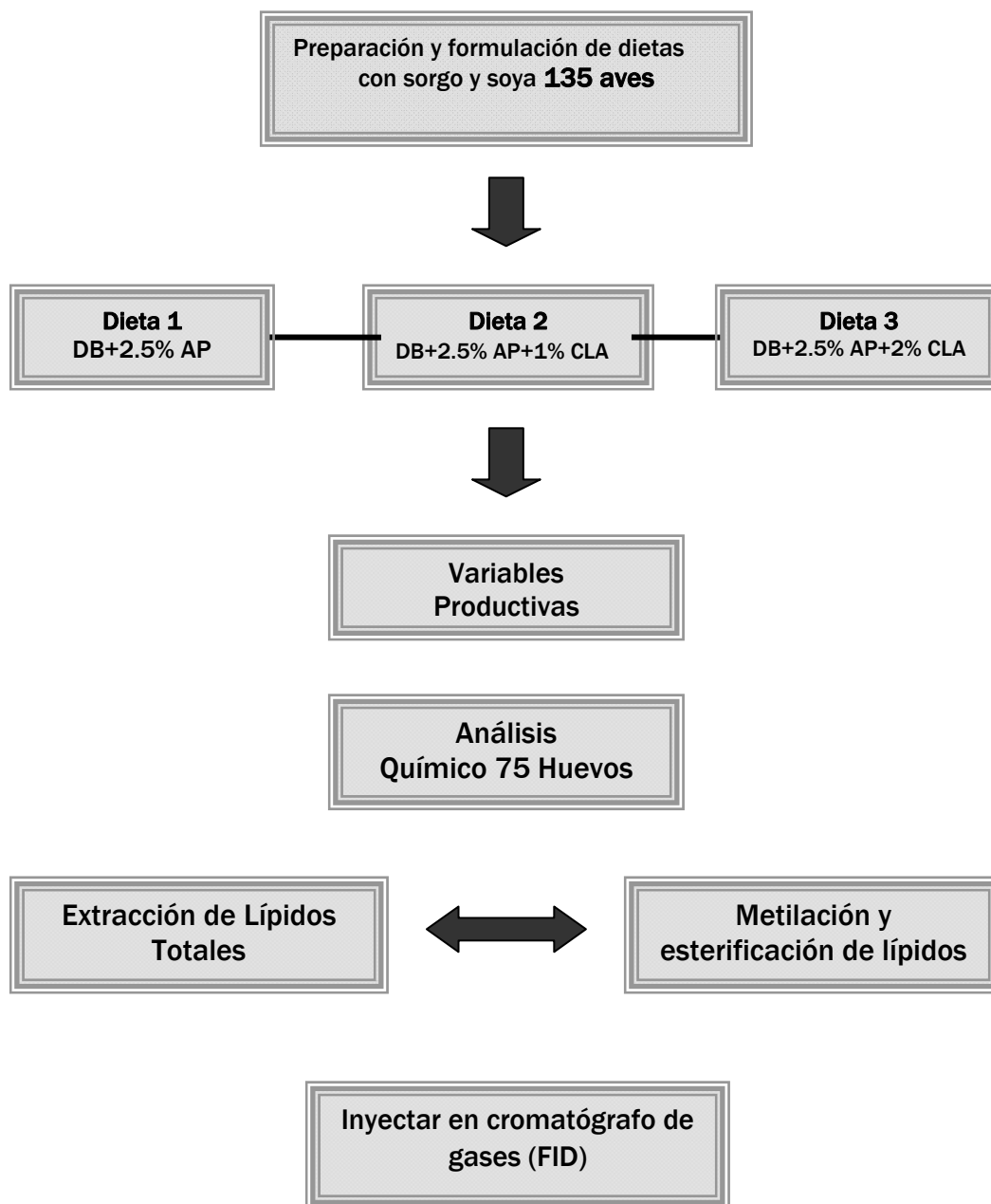
El aceite de sardina (AS) fue adquirido en la empresa Selecta de Guaymas, en Guaymas Sonora. El aceite era no deodorizado y contenía como antioxidante BHT en una concentración de 200 ppm. Se mantuvo en refrigeración (4°C) durante todo el periodo experimental y se le determinó el perfil de ácidos grasos (Cuadro 8). Por otra parte, el ácido linoléico conjugado (CLA) fue proporcionado por BASF Mexicana (Lutrell granulado).

#### 6.2 Preparación de las dietas

Se formuló una dieta con base sorgo-soya (DB) y 2.5% de aceite de sardina (AS) (Cuadro 9) utilizando el programa Nutrition Windows TM versión 5.0 Pro (Comercializadora de Software S.A. de C.V.). Esta DB+2.5%AS fungió como testigo (**T1**), las otras dos dietas contenían lo mismo, pero además 1% de CLA (**T2**) y 2% de CLA (**T3**). Las dietas cubrían las necesidades nutrimentales para gallinas ponedoras señaladas por el National Research Council (NRC, 1994). Las dietas se prepararon cada semana y se les realizó un análisis del perfil de ácidos grasos (Cuadro 10) por cromatografía de gases (AOAC, 2001).

## Materiales y Métodos

---



**Figura 10.** Diagrama general del ensayo experimental

## Materiales y Métodos

**Cuadro 8.** Composición en ácidos grasos de los aceites utilizados en el experimento (%TAG)

Ácidos Grasos (% TAG)	Aceite Sardina	Aceite Soya
<b>Saturados</b>		
Mirístico (C14:0)	6.09	0.11
Palmítico (C16:0)	18.54	10.77
Heptadecanoico(C17:0)	0.56	0.10
Esteárico (C18:0)	3.82	4.22
Araquídico (C20:0)	0.29	0.31
Heneicosanoico (C21:0)	0.14	ND
Behenico (C22:0)	0.12	0.07
Tricosanoico (C23:0)	ND	0.04
Lignocérico (C24:0)	ND	0.12
<b>Monoinsaturados</b>		
Pentadecanoico (15:1)	0.51	ND
Palmitoléico (C16:1)	7.47	0.18
Cis10-heptadecenoico (17:1)	0.99	0.07
Oleico (C18:1)	12.20	21.91
Cis-vaccenico (C18:1)	3.06	0.83
Eicosenoico (C20:1)	2.17	0.22
<b>Poliinsaturados</b>		
Linoléico (C18:2 LA $\omega$ -6)	1.37	53.23
Alfa-Linolénico (C18:3 ALA $\omega$ -3)	0.99	6.95
Araquidónico (C20:2 AA $\omega$ -6)	0.75	ND
Eicosapentaenóico (C20:5 EPA $\omega$ -3)	14.20	0.40
Docosapentaenoico (C22:5 DPA $\omega$ -3)	1.57	ND
Docosahexaenóico (C22:6 DHA $\omega$ -3)	10.26	0.04

TAG = Total de Ácidos Grasos, ND = no detectado

## Materiales y Métodos

**Cuadro 9.** Composición de la dieta base

<b>Ingrediente</b>	<b>Peso (%)</b>
Sorgo milo (8%) <sup>1</sup>	62.68
Soya Solv. (48%) <sup>1</sup>	20.71
Carbonato de calcio	9.85
Aceite de sardina	2.50
Ortofosfato de calcio	1.39
Sal	0.40
Metionina	0.07
Vitaminas premezcla <sup>2</sup>	0.10
Avelut polvo 15 <sup>3</sup>	0.10
Minerales premezcla	0.05
Cloruro de colina 60	0.05
Avired <sup>4</sup>	0.05
Furacoltyzona	0.02
Antioxidante <sup>5</sup>	0.04
Total	100.00

<sup>1</sup> Contenido de proteína cruda <sup>2</sup> Vitaminas (por kg de dieta) = A, 12000 UI; D3 2500 UIP; E, 30 UI; K3, 2 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 7.5 mg; B6, 3.5 mg; B12, 0.02 mg; niacina, 45 mg; ácido pantoténico, 12.5 mg; biotina, 0.125 mg; ácido fólico, 1.5 mg. <sup>3</sup> Avelut polvo 15= xantofilas saponificadas naturales de harina de flor de cempasuchitl (amarillo 15ppm); <sup>4</sup> Avired= xantofilas rojas (cantaxantina 10 ppm); <sup>5</sup> Antioxidante = BHT.

### 6. 3 Ensayo experimental

El ensayo se realizó en el Centro Experimental de Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPA) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México Se utilizaron 135 gallinas Bovans White y de 24 semanas de edad, distribuidas aleatoriamente en 3 tratamientos, con 5 réplicas de 9 aves cada una. Las aves se mantuvieron en jaula los 28 días que duro el periodo experimental. El agua y el alimento se suministraron *ad libitum*. A cada grupo de gallinas se le asignó en forma aleatoria uno de los siguientes tratamientos:

- Tratamiento 1 DB + 2.5% AS
- Tratamiento 2 DB + 2.5% AS + 1% CLA
- Tratamiento 3 DB + 2.5% AS + 2% CLA

### 6.4 Medición de las variables productivas

Todos los días se llevó un registro de la producción y peso del huevo. El consumo de alimento se registró al inicio y al final de cada semana. Se elaboró un resumen semanal con los datos de consumo de alimento, peso, producción y masa del huevo además de la conversión alimenticia. Estas se calcularon de la siguiente forma:

#### Consumo de alimento:

$$\text{Consumo de alimento/ave/día} = \frac{\text{Alimento consumido por semana}}{\text{No. de gallinas}}$$

#### Peso promedio:

$$\text{Peso promedio del huevo (g)} = \frac{\text{Peso promedio del huevo por semana}}{\text{No. de huevos por semana}}$$

#### Porcentaje de postura o producción de huevo:

$$\text{Producción de huevo (\%)} = \frac{\text{Huevo producido por semana}}{\text{No. de gallinas por semana}} \times 100$$

#### Masa del huevo:

$$M = \text{Producción de huevo por ave (\%)} \times \text{Peso promedio de cada huevo en g}$$

#### Conversión alimenticia:

$$\text{Conversión Alimenticia} = \frac{\text{Alimento consumido por semana (g)}}{\text{Peso total del huevo (g)}}$$



**Cuadro 10.** Composición en AG de las dietas experimentales (g/100 g de muestra)

Composición química		Testigo	2.5% AS 1% CLA	2.5% AS 2% CLA
	Humedad	7.57	6.95	7.15
	Cenizas	14.08	13.39	14.94
	Proteína cruda	16.34	15.31	15.78
	Lípidos totales	5.22	9.88	9.51
	Carbohidratos	2.34	2.15	2.71
	Energía bruta kcal/g	3.06	2.59	3.72
<b>Ácidos grasos (% del total de ácidos grasos)</b>				
C16:0	Palmítico	13.47	13.07	13.2
C16:1	Palmitoleico	1.88	1.32	1.31
C18:0	Esteárico	3.76	20.93	14.04
C18:1 n-9	Oleico	19.81	16.98	18.45
C18:2 n-6	Linoléico (LA)	40.26	24.33	19.9
C18:3 n-3	Alfa-linolenico (ALA)	4.94	2.74	2.06
C20:4 n-6	Araquidónico (AA)	0.36	0.23	0.22
C20:5 n-3	Eicosapentaenoico (EPA)	3.59	2.47	2.4
C22:5 n-3	Docosapentaenoico (DPA)	2.39	1.69	1.45
C22:6 n-3	Docosahexaenoico (DHA)	0.43	0.31	0.3
C18:2	Linoléico conjugado (CLA)	0.45	10.2	20.32

### 6.5 Determinación de lípidos totales en el huevo

**Fundamento:** La cuantificación de lípidos se llevó a cabo por una extracción con una mezcla de disolventes cloroformo-etanol. El etanol tiene una mayor solubilidad en esfingomielinas, cerebrosidos y lecitina, disuelve compuestos como aminoácidos, carbohidratos, sales, ácidos orgánicos, cetonas, aldehídos y alcoholes. Por otra parte tenemos también un disolvente de mayor polaridad como es el caso del cloroformo para separar los lípidos que pudieran estar unidos a una proteína (complejos lipoproteínicos), al ser más polar extrae más lípidos que el etanol, pero con la desventaja de disolver más impurezas que este mismo además de la alta toxicidad.

En las semanas 2 y 4 del experimento se tomaron 25 huevos por tratamiento (5 huevos por réplica). Se prepararon 5 “pools” (de 5 piezas cada uno) por tratamiento, homogeneizando las claras junto con las yemas manualmente con una batidora. Se determinó el contenido de lípidos totales mediante extracción con cloroformo y etanol

## Materiales y Métodos

---

en una proporción de 1:1 (AOAC, 2001) de acuerdo al procedimiento descrito por la AOAC (2002, *Método 923.07*) (Figura 11). Se pesó 1 g de muestra (clara y yema), se agregaron 25 mL de cloroformo y etanol (1:1), agitando durante 3 minutos en un vortex. Después de un reposo de 24 hrs se filtraron con papel filtro Whatman #4. El filtrado se recibió sobre un tubo para centrifuga previamente purgado, rotulado y pesado. El filtrado se evaporó a sequedad con flujo de nitrógeno en Baño María a 60° C. Se dejó reposar a Temperatura ambiente (aprox. 30 min.). Por último se pesó el tubo para calcular el % en lípidos por diferencia de pesos.

### **6.6 Metilación y esterificación de lípidos para la obtención de esteres metílicos de ácidos grasos y del CLA inclusive**

Una vez obtenido el extracto lipídico se continuó con el método oficial de la AOAC (AOAC, 2000 method 969.33) para la metilación y esterificación de los ácidos grasos (Figura 12). Se inició con una saponificación agregando 2 mL de sosa metanólica al 2% y 1 mL de estándar interno (ácido miristóleico a una concentración de 1 g/mL), se colocaron los tubos en ebullición a Baño María durante 10 minutos; después se agregó 1mL de solución de Trifloruro de Boro (en metanol al 14%) y continuó ebullendo por 2 minutos. Se agregaron 5 mL de N-heptano (J. T. Baker) y se dejó hervir 2 min. Se retiraron los tubos del Baño María y se dejaron enfriar a temperatura ambiente para adicionar 2 mL de solución saturada de cloruro de sodio agitando en vortex por un minuto, se centrifugó durante 10 minutos a 3500 rpm y se esperó a la separación de fases en el tubo.

Se separó la fase orgánica (superior) y se pasó a un tubo limpio. Se evaporó a sequedad con flujo de nitrógeno en un Baño Maria a 60°C. El material resultante fue reconstituido con 1mL de hexano grado HPLC y transvasado a un vial para leer en el cromatógrafo Varían, modelo **3380**, equipado con detector de ionización de flama (FID) y una columna capilar DB-23 de 30 m de longitud y 0.25mm de diámetro interno, recubierta internamente con una película de cianopropilpolisiloxano y un automuestreador modelo CP8400.

## Materiales y Métodos

---

Cada uno de los AG y el CLA fueron identificados comparando los tiempos de retención con los de la mezcla de esteres metílicos de los ácidos grasos (Supelco FAME mix C4-C24 18919-1AMP) y con el estándar del CLA.

La integración de los resultados se hizo mediante el programa Star Chromatography Workstation version 6.3 Varian Associates, Inc., integrado al cromatógrafo.

Las condiciones cromatográficas fueron:

- Temperatura de inyección: 250 °C
- Temperatura del detector: 300°C
- Gas acarreador: Nitrógeno con un flujo de 30 ml/min
- Tiempo de corrida: 30min

### 6.7 Análisis estadístico

Los datos de las variables productivas se analizaron a través de un análisis de varianza para eventos repetidos utilizando el procedimiento GLM de SAS (ver. 6.2). Los datos obtenidos de lípidos totales y ácidos grasos en el huevo, se analizaron mediante un análisis de varianza con arreglo factorial 3x2 donde los factores analizados fueron los tratamientos (0%, 1% y 2% de CLA) y el tiempo (semanas 2 y 4), utilizando el procedimiento GLM de SAS.

Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05.

## Resultados y Discusión

### 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 7.1 Variables productivas

En el cuadro 11 se presentan los datos de las variables productivas por tratamiento, obtenidos a través de las 4 semanas que fueron medidas las distintas variables productivas.

**Cuadro 11.** Variables productivas obtenidas en gallinas alimentadas con dietas que incluyen aceite de sardina y CLA

	<b>Consumo de Alimento g/ave/d</b>	<b>Producción de huevo (%)</b>	<b>Peso de Huevo g</b>	<b>Masa de Huevo g</b>	<b>Conversión Alimenticia</b>
T1sem1	121.20a	76.60a	73.80a	52.80ab	2.30a
T1sem2	118.80ab	86.00a	69.00abc	59.20ab	2.06abc
T1sem3	117.80ab	82.00a	69.60abc	58.20ab	2.06abc
T1sem4	113.80ab	81.20a	70.80abc	57.60ab	2.00abc
T2sem1	118.20ab	78.40a	66.40c	51.60b	2.28a
T2sem2	114.00ab	78.40a	67.00c	52.80ab	2.20ab
T2sem3	109.80ab	76.80a	68.20bc	54.80ab	2.00abc
T2sem4	109.20ab	81.60a	66.80c	54.60ab	2.02abc
T3sem1	119.60a	81.60a	73.80a	57.40ab	2.00abc
T3sem2	110.60ab	91.00a	69.20abc	63.20a	1.80c
T3sem3	110.80ab	86.60a	69.00abc	59.60ab	1.84bc
T3sem4	105.40b	86.20a	68.40bc	59.00ab	1.76c

T1 = DB+2.5% AP, T2= DB+2.5%AS+1%CLA, T3 = DB+2.5%AS+2%CLA. a, b y c. En cada columna literales distintas indican diferencia estadísticamente significativa (P<0.05).

El mayor consumo de alimento observado en las primeras semanas de experimentación, en los tres tratamientos, puede ser explicado por hecho de que en los primeros días, el ave se está acostumbrando a las nuevas dietas y tienden a desperdiciar mucho alimento, conforme aumenta la edad del ave se van estabilizando todas estas variables (Cuadro 11).

En el Cuadro 12 se muestra el promedio de estas mismas variables productivas obtenidas en los 3 tratamientos (T1=2.5% AS, T2=2.5% AS + 1% CLA y T3=2.5% AS + 2% CLA), englobando los resultados de las 4 semanas para cada una de las variables.

## Resultados y Discusión

Esto con el objeto de observar, ya en forma general el comportamiento de las aves de acuerdo a cada tratamiento y a través del tiempo.

**Cuadro 12.** Efecto del tratamiento y el tiempo sobre las variables productivas obtenidas en gallinas alimentadas con dietas que incluyen aceite de sardina y CLA

	<b>Consumo de Alimento g/ave/d</b>	<b>Producción de huevo (%)</b>	<b>Peso de Huevo g</b>	<b>Masa de Huevo g</b>	<b>Conversión Alimenticia</b>
<b>Tratamiento</b>					
T1	117.9a	81.5ab	70.5a	57.0ab	2.1a
T2	112.8b	78.8b	67.1b	53.5b	2.1a
T3	111.6b	86.4a	70.1a	59.8a	1.9b
<b>Semana</b>					
1	119.7a	78.9a	70.9a	53.9a	2.2a
2	114.5ab	85.1a	68.4b	58.4a	2.0b
3	112.8b	81.8a	68.9ab	57.5a	2.0b
4	109.8b	83.0a	68.7ab	57.1a	1.9b
EEM	39.1	45.2	6.1	28.1	0.03
Trat x Sem	NS	NS	NS	NS	NS

T1=DB+2.5%AP, T2= DB+2.5%AP+1%CLA, T3 = DB+2.5%AP+2%CLA. a, b y c. En cada columna literales distintas indican diferencia estadísticamente significativa (P<0.05). EEM: error estándar de la media; Trat: tratamiento; Sem: semana.

Ya en forma general, se observa que el consumo de alimento se redujo significativamente en los tratamientos con CLA (112.8 y 111.6 contra 117.9) (P<0.05) (Cuadro 12). La producción de huevo también se redujo cuando se incorporó en la dieta 2% de CLA, aunque este efecto solo fue significativo con 2% de CLA, con respecto al testigo (P<0.05). En el caso del peso de huevo, el huevo del tratamiento con 1% de CLA pesó en promedio 3 g menos que en los otros dos tratamientos. La masa de huevo que se obtuvo en los dos tratamientos con CLA no fue diferente al grupo testigo, aunque si entre ellas (P<0.05). La mejor conversión alimenticia se obtuvo en el tratamiento con 2% de CLA (P<0.05).

Por otra parte, las variables de consumo de alimento, peso del huevo y conversión alimenticia se vieron afectadas significativamente conforme pasó el tiempo (P<0.05). Estas variables mostraron los valores más altos en la primera semana del

## Resultados y Discusión

---

ensayo, y a partir de la segunda y hasta la cuarta los valores no mostraron diferencias entre sí ( $P>0.05$ ).

La conversión alimenticia fue afectada en forma positiva ( $P<0.05$ ), mostrando los mejores valores en la tercera y cuarta semana como se observa en los Cuadros 11 y 12.

Esto concuerda con lo señalado por otros autores. Herber y Van Elswyk (1996), Van Elswyk (1997), y González Esquerro y Leeson (2000), quienes observaron una reducción en el peso y producción de huevo cuando suministraron a gallinas ponedoras dietas con aceite de pescado en niveles superiores a 3%, ó aceite de alga marina con altas concentraciones de DHA. Ellos atribuyen este efecto a una reducción en la concentración de triacilgliceroles en el flujo sanguíneo, que conlleva a una reducción en la disponibilidad de lípidos para la formación de la yema de huevo; además de una reducción en los niveles de estradiol con un consumo excesivo de ácidos grasos n-3.

Por lo tanto, es posible que la reducción en el peso del huevo observada en el presente estudio con 1% de CLA (T2) se deba a la alta concentración de ácidos grasos n-3 presentes en esta dieta, aunque en el tratamiento con 2% de CLA no ocurrió lo mismo así que con base a los resultados reportados en el presente estudio no se puede concluir que la adición de CLA influye directamente en la reducción de peso del huevo.

### 7.2 Ácidos grasos saturados en el huevo (AGS)

Desde el punto de vista nutrimental los AGS solo se emplean como fuente energética y no son AG esenciales ya que son sintetizados por el organismo además de encontrarse en alimentos de origen vegetal (Belitz y Grosch, 2000).

En el caso del huevo los ácidos grasos saturados: butírico (C4:0), caproico (C6:0), caprílico (C8:0), cáprico (C10:0), láurico (C12:0), mirístico (C14:0), araquídico (C20:0), behénico (C22:0) y lignocérico (C24:0); se presentaron en los tres

## Resultados y Discusión

tratamientos, en concentraciones menores a 5 mg/100g, menos del 1% del total de ácidos grasos (TAG).

Los que se presentaron en mayor concentración en el huevo, en los tres tratamientos fueron: el palmítico (C16:0) y el esteárico (C18:0), predominando el primero. (Cuadro 13) Fue interesante observar que la concentración de ambos, en los tratamientos con CLA, se incrementó en forma significativa ( $P < 0.05$ ) con respecto al grupo testigo. Sin embargo, aun cuando el tratamiento 3 tenía el doble de CLA que el tratamiento 2, la concentración de los AGS no fue diferente ( $P > 0.05$ ) entre estos dos tratamientos.

**Cuadro 13.** Concentración de ácidos grasos saturados (AGS) en el huevo (mg/100g) de gallinas alimentadas con dietas que incluyen aceite de sardina y CLA

CLA g/kg	C16:0		C18:0	
	Semana		Semana	
	2	4	2	4
0	1235.7 <sup>c</sup> (22.6)	1486.4 <sup>bc</sup> (25.4)	391.37 <sup>b</sup> (7.37)	444.9 <sup>b</sup> (8.13)
10	2056.5 <sup>a</sup> (30.6)	1948.9 <sup>a</sup> (30)	1370.6 <sup>a</sup> (20.5)	1305.5 <sup>a</sup> (20.3)
20	1855.2 <sup>ab</sup> (29.3)	2043.5 <sup>a</sup> (29.4)	1421.1 <sup>a</sup> (20.8)	1483.9 <sup>a</sup> (21.7)

<sup>a, b, c</sup> Literales distintas en cada ácido graso indican diferencia significativa ( $P < 0.05$ ). Los valores entre paréntesis corresponden a la concentración del ácido graso en % del Total de AG.

En trabajo realizado por Alvarez *et al.* (2004), se encontró que la adición de CLA y AP en la dieta no afectaba la cantidad total de ácidos grasos (TAG) en el huevo, pero sí la composición de AG. De hecho, observaron un incremento en el contenido total de los AGS (C14:0, C16:0 y C18:0) de 417 a 510 g/kg, al adicionar de 1 a 5 g/kg de CLA en las dietas.

Cachaldora *et al.* (2006) y Cherian *et al.* (2007), también observaron un incremento en la concentración de AGS en la yema del huevo debido a la

## Resultados y Discusión

---

suplementación de la dieta con CLA, lo que concuerda con lo hallado en el presente ensayo.

Este efecto puede deberse a:

1. Que el CLA se incorpora sin dificultad a los fosfolípidos presentes en la membrana celular, remplazando al ácido araquidónico ( AA C20:4 n-6). Reduciendo así la disponibilidad del ácido araquidónico para la síntesis de eicosanoides, los cuales cumplen amplias funciones como mediadores en el sistema nervioso central, eventos de la inflamación y de la respuesta inmune
2. El CLA también compite con enzimas involucradas en el metabolismo de ácidos grasos. Las proporciones de los ácidos esteárico (C18:0), docosatetraenoico (C22:4) y docosapentaenoico (C22:5 n-6) se incrementan mientras las proporciones de los ácidos palmítico (C16:0), oleico (C18:1) y dihomo-gamma-linolénico (C20:3) decrecen sugiriendo con esto una disminución en la actividad enzimática para la  $\Delta 6$  y  $\Delta 9$ -desaturasa y un incremento en la actividad enzimática de la  $\Delta 5$ -desaturasa (Chow, 2008)
3. Así mismo los valores de AGS encontrados en yema son también un reflejo del aumento de estos AG en la dieta. El tipo de dieta tuvo un efecto en la concentración de palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0) en los huevos de gallina analizados, mostrando un incremento, esto a pesar de las diferentes concentraciones de estos ácidos grasos entre las dietas suministradas.
4. Cachaldora et al (2006) también sugiere que este aumento de los AGS se debe a una síntesis endógena compensatoria de estos ácidos grasos en proporción a su concentración en la dieta.

Estos hallazgos son de gran interés, porque un incremento en el consumo de AGS, especialmente mirístico (C14:0) y palmítico (C16:0), está asociado con un incremento de la concentración de lipoproteínas de baja densidad (LDL) y colesterol en



## Resultados y Discusión

el plasma sanguíneo, factores relacionados con un mayor riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares (Cherian *et al*, 2007).

El tiempo no afectó significativamente ( $P>0.05$ ) la deposición en el huevo de los ácidos grasos palmítico y esteárico, en ninguno de los tres tratamientos (Cuadro 13).

### 7.3 Ácidos grasos monoinsaturados en el huevo (AGM)

Los ácidos grasos: cis-10-pentadecaenoico (15:1) palmitoelaídico (C17:1), elaídico (C18:1 n-9), vaccenico (C18-1 n-7), eicosaenoico (C20:1), erúcico (C22:1) y nervónico (C24:1 n-9) se encontraron en una concentración promedio menor a 10 mg/100g de huevo en los tres tratamientos, representando una parte muy pequeña del total de AG ( $\leq$  del 1% del TAG).

**Cuadro 14.** Concentración de los ácidos grasos monoinsaturados (AGM) en el huevo (mg/100g) de gallinas alimentadas con dietas que incluyen aceite de sardina y CLA

CLA g/kg	C16:1		C18:1	
	Semana		Semana	
	2	4	2	4
0	123.94 <sup>a</sup> (2.43)	134.91 <sup>a</sup> (2.52)	1564.1 <sup>a</sup> (32.09)	1688.6 <sup>a</sup> (35.89)
10	62.49 <sup>b</sup> (0.80)	63.49 <sup>b</sup> (0.91)	1360.6 <sup>b</sup> (20.07)	1396.4 <sup>b</sup> (22.01)
20	54.37 <sup>b</sup> (0.76)	53.74 <sup>b</sup> (0.76)	1223.9 <sup>b</sup> (18.34)	1272.9 <sup>b</sup> (18.88)

<sup>a, b.</sup> Literales distintas en cada ácido graso indican diferencia significativa ( $P<0.05$ ). Los valores entre paréntesis corresponden a la concentración del ácido graso en % del Total de AG.

Los AGM palmitoléico (C16:1) y oléico (C18:1) son los AGM que se presentaron en mayor concentración ( $P>0.05$ ) en los tres tratamientos, predominando el segundo (C18:1). Sin embargo, en este caso se observó un comportamiento contrario a lo que ocurrió con los AGS. En los tratamientos con CLA, la concentración total de AGM se

## Resultados y Discusión

---

redujo significativamente en comparación con el grupo testigo ( $P < 0.05$ ). Entre los tratamientos 2 y 3 no se detectaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) aun cuando el tratamiento 3 tenía el doble de concentración de CLA que el tratamiento 2.

A diferencia de lo que ocurrió con los AGS, se observa un efecto significativo en la deposición de los AGM: palmitoléico (C16:1) y oléico (C18:1) (Cuadro 14). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Cachaldora et al (2006), García-Rebollar et al (2008) y Álvarez (2004 y 2005) quienes señalan un aumento en AGS y una disminución en la concentración de AGM al adicionar a la dieta AP y CLA en forma combinada o separada. Estos efectos fueron atribuidos a una actividad decreciente de la enzima  $\Delta 9$ -desaturasa, la cual es responsable de la conversión del ácido esteárico (18:0) en ácido oléico (18:1). El CLA favorece un incremento en la concentración de AGS y un efecto inhibitorio en la enzima  $\Delta 9$ -desaturasa responsable de la conversión metabólica de palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0) a palmitoléico (C16:1 n-9) y oléico (C18:1 n-9) respectivamente, ocasionando de esta forma una reducción en la concentración de AGM (Cherian, et al 2007, Álvarez, 2004).

Un estudio reciente también reportó una reducción en la expresión del mRNA de la esteroil coenzima A en ratas alimentadas con CLA, afectando la síntesis de AGM y acumulación de AGS (Cherian, et al 2007).

Por otra parte el tiempo no fue un factor que influyera en la concentración de AGM en el huevo, ya que no se observaron diferencias en la deposición de AGM entre las semanas 2 y 4, en ninguno de los tres tratamientos ( $P > 0.05$ ).

### 7.4 Ácidos grasos poliinsaturados en el huevo (AGPI)

Los mamíferos no producen las enzimas  $\Delta 12$ -desaturasa y  $\Delta 15$ -desaturasa y por lo tanto no pueden sintetizar los AG linoléico (LA C18:2) y alfa linolénico (ALA C18:3), precursores de las familias n-3 y n-6 (Chow, 2008). El ALA es metabolizado por una serie de reacciones de desaturación y elongación para producir AGPI n-3 de

## Resultados y Discusión

cadena larga, principalmente eicosapentaenoico (C20:5 n-3) y docosahexaenoico (C22:6 n-3) mejor conocidos como EPA y DHA.

El contenido de los ácidos grasos LA n-6 y ALA n-3 en el huevo (Cuadro 15 y 16), a las 4 semanas de experimentación se incrementó en los tratamientos con CLA (P<0.05), pero no se detectaron diferencias significativas (P>0.05) entre los tratamientos 2 y 3 (1 y 2% de CLA), lo que indica que el incremento de LA y ALA en el huevo no es proporcional al incremento de CLA en la dieta. La conversión limitada de ALA (C18:3 n-3) a AG n-3 de cadena larga ha sido explicado por una saturación de la actividad de enzimas desaturasas involucradas en el metabolismo de ALA C18:3 n-3 (Grobas *et al.*, 2001)

Estos resultados concuerdan con lo reportado por García-Rebollar *et al* (2008), pero son contrarios a lo reportado por Cachaldora *et al* (2006), quienes señala que el contenido de ácidos grasos totales n-6 y de ALA (C18:3 n-3) es mayor en las yemas con las dietas adicionadas con aceites de pescado y otra fuente de AGPI.

**Cuadro 15.** Concentración de los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) omega 6 en el huevo (mg/100g) de gallinas alimentadas con dietas que incluyen aceite de sardina y CLA

CLA g/kg	C18:2 LA n6		C20:4 AA n6	
	Semana		Semana	
	2	4	2	4
0	557.3 <sup>b</sup> (11.7)	872.7 <sup>a</sup> (13.9)	48.1 <sup>b</sup> (0.8)	67.7 <sup>ab</sup> (0.9)
10	912.4 <sup>a</sup> (13.3)	885.6 <sup>a</sup> (13.5)	70.6 <sup>a</sup> (0.8)	64.7 <sup>ab</sup> (0.8)
20	844.3 <sup>a</sup> (11.7)	802.9 <sup>a</sup> (11.7)	60.2 <sup>ab</sup> (0.7)	64.2 <sup>ab</sup> (0.6)

a, b, c Literales distintas en cada ácido graso indican diferencia significativa (P<0.05). Los valores entre paréntesis corresponden a la concentración del ácido graso en % del Total de AG.

## Resultados y Discusión

En el tratamiento testigo, solo en la semana 2 hubo una diferencia estadísticamente significativa con respecto a los demás tratamientos como lo muestra el cuadro 15, donde se reporta 557.34 y 872.65 mg/100g (a las 2 y 4 semanas) mostrándose un aumento de ácido linoleico (LA) para la semana 4.

Álvarez (2004) y Cherian et al (2007) señalan que el ácido araquidónico (AA) decrece con la adición de CLA, lo mismo que el contenido total de AG n-6, por una reducción de actividad de la enzima  $\Delta 6$ -desaturasa, requerida para la síntesis de C20:4 n-6 (AA) y C18:2 n-6 (LA) o por un decremento de C18:2 n-6 en la dieta asociado con la inclusión de CLA.

**Cuadro 16.** Concentración de los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) omega 3 en el huevo (mg/100g) de gallinas alimentadas con dietas que incluyen aceite de sardina y CLA

CLA g/kg	C18:3 ALA n3		C20:5 EPA n3		C22:5 DPA n3		C22:6 DHA n3	
	Semana		Semana		Semana		Semana	
	2	4	2	4	2	4	2	4
0	35.1 <b>b</b> (0.6)	50.7 <b>ab</b> (0.8)	10.6 <b>d</b> (0.1)	17.6 <b>c</b> (0.3)	18.6 <b>d</b> (0.3)	29.1 <b>d</b> (0.4)	134.9 <b>c</b> (2.2)	180.0 <b>bc</b> (2.7)
10	70.8 <b>a</b> (0.8)	52.7 <b>ab</b> (0.8)	25.3 <b>ab</b> (0.4)	22.1 <b>bc</b> (0.4)	86.3 <b>bc</b> (0.9)	79.2 <b>c</b> (0.8)	256.1 <b>a</b> (3.4)	261.7 <b>a</b> (3.4)
20	51.1 <b>ab</b> (0.7)	45.4 <b>ab</b> (0.6)	29.5 <b>a</b> (0.4)	29.1 <b>a</b> (0.4)	104.6 <b>ab</b> (1.3)	116.1 <b>a</b> (1.2)	254.6 <b>a</b> (3.3)	245.7 <b>ab</b> (3.2)

<sup>a, b, c</sup> Literales distintas en cada ácido graso indican diferencia significativa (P<0.05). Los valores entre paréntesis corresponden a la concentración del ácido graso en % del Total de AG.

Por otra parte los ácidos eicosapentaenoico (C20:5 n-3) y docosahexaenoico (C22:6 n-3) mejor conocidos como EPA y DHA pertenecientes a la familia de los omega 3, aumentaron su concentración en huevo al adicionar CLA en la dieta. Sin embargo, el incremento de estos dos AG observado en los tratamientos 2 y 3, no es proporcional al incremento de CLA en la dieta 3. (Cuadro 16)

## Resultados y Discusión

---

El mismo comportamiento se observó con el ácido docosapentaenoico (C22:5 n-3 DPA), aunque en este caso hubo un incremento lineal conforme aumento la cantidad de CLA en la dieta ( $P < 0.05$ ) (Cuadro 16).

Álvarez (2004) confirma lo reportado en el presente trabajo, observando un incremento lineal en el contenido de DPA y DHA en huevo al adicionar CLA en la dieta.

Por otra parte, aunque en general se observa un mayor contenido de AGPI en la semana 4, las diferencias no fueron significativas en ninguno de los tres tratamientos ( $P > 0.05$ ), salvo en el caso del ALA y EPA del tratamiento testigo (Cuadro 16). Por lo que el tiempo, en este caso, no influyó significativamente en la deposición de AG.

Esto es algo relevante ya que los AGPI n-3 de cadena larga, EPA y DPA, son importantes componentes de las membranas celulares de todos los tejidos principalmente de la retina y del sistema nervioso. Además la ingesta de AGPI n-3 de cadena larga reduce el tejido adiposo, incrementa la termogénesis y en algunas instancias reducen el peso corporal (Chow, 2008). En este sentido la ingesta de AGPI n-3 de cadena larga sustituyendo a la grasa saturada es importante en individuos con sobrepeso, problema que en la actualidad aqueja a la población mexicana.

Inclusive estudios demuestran que los AGPI n-3 de cadena larga son cruciales para la función neuronal y la ausencia de estos puede alterar las propiedades de membrana en áreas vitales del cerebro que regulan el apetito.

### **7.5 Total de AGS, AGM y AGPI en el huevo**

En el cuadro 17 se observa que en el caso del grupo testigo, en la semana 4 hubo una mayor deposición de AG tanto saturados como insaturados; pero en los tratamientos con CLA las concentraciones fueron similares a las 2 y 4 semanas.

También se observa que la concentración total de AGS se incrementó notablemente en los tratamientos con CLA (aproximadamente en un 20%), con respecto al grupo testigo. Y el hecho de que entre los tratamientos 2 y 3 las concentraciones sean similares indica que adicionando solo 1% de CLA a la dieta, se observa el mismo comportamiento en el perfil lipídico del huevo, que con 2% de CLA.

## Resultados y Discusión

**Cuadro 17.** Concentración promedio (%) del total de ácidos grasos y la relación de AGI n6:n3

CLA g/kg	Total AGS		Total AGI		S:I		Total n3		Total n6		n6:n3	
	Semana		Semana		Semana		Semana		Semana		Semana	
	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
0	30.0	33.5	49.8	57.3	0.6	0.6	2.3	2.9	13.5	16.0	5.9	5.5
10	51.1	50.2	43.3	45.5	1.2	1.1	3.8	4.2	17.4	16.7	4.6	4.0
20	50.1	51.0	43.3	43.4	1.2	1.2	3.7	3.6	16.3	16.0	4.4	4.4

AGS = Ácidos grasos saturados. AGI = Ácidos grasos insaturados. S:I = Relación de ácidos grasos saturados contra ácidos grasos insaturados

La concentración total de AGI se mantiene casi igual en los tres tratamientos. En este caso la adición de CLA en las dietas no afectó el total de AGI.

Pero como era de esperarse la relación S:I en el huevo sí se vio afectada por la adición de CLA en la dieta, ya que al incrementarse el contenido de AGS en el huevo la relación pasó de ser 0.6:1 a aproximadamente 1:1. Esto no es deseable, ahora que se busca reducir el consumo de grasas saturadas. (Cuadro 17).

Por otra parte, un aspecto que se vio favorecido con la inclusión de CLA en las dietas fue el incremento en el total de n3 en el huevo (Cuadro 17), alcanzando incrementos de hasta 4% en comparación con un 3% del grupo testigo. Es posible que el CLA favorezca el uso de la  $\Delta 6$ -desaturasa para AG n-3 mas bien que para el metabolismo de AG n-6 ya que esta enzima es requerida para la síntesis de araquidónico (C20:4 n-6) y artrénico (C22:4 n-6), pero también para EPA (C20:5 n-3) y DPA (C22:5 n-3). (Álvarez, 2004)

En el caso del total de los AG n6 en huevo, estos no se modificaron en los tratamientos con CLA en comparación con el testigo. Un comportamiento contrario a lo observado en el presente estudio es reportado por Álvarez (2005), quien informa una disminución en el contenido de AG n6 con la inclusión de CLA acompañado de un aumento en los AG n3 de cadena larga.

## Resultados y Discusión

---

La inclusión de aceite de sardina en la dieta no modifica el contenido total de AG n-6. Este resultado podría reflejar un decremento en la disponibilidad de las enzimas requeridas para la síntesis de ácidos grasos n-6 de cadena larga las cuales están compartidas con la serie de ácidos grasos n3 en los lípidos de la yema. (Cachaldora et al 2006)

El panel de la Comisión Científica Europea (EFSA) estableció un contenido mínimo de AG n3 en huevo de 300mg/100g, para permitir que huevos comerciales sean etiquetados como “fuente” de estos componentes.

Por lo tanto el tratamiento 1 (con 2.5% de AS) alcanza una concentración de 277 mg/100g lo que nos dice que no entra en la clasificación de la EFSA. En el caso de los tratamientos 2 y 3 la situación es diferente. Los huevos provenientes de dietas con 1 y 2 % de CLA mostraron una concentración de 415 mg/100g y 436 mg/100g respectivamente, por lo que estos huevos pueden estar etiquetados como fuente de AG n3 para su comercialización según la EFSA.

Sin embargo, es importante tomar en cuenta que si bien el huevo fresco normal es muy estable a la oxidación, cuando se enriquece con AGPI esta estabilidad disminuye y aumenta su sensibilidad a oxidarse. Por lo que será interesante evaluar en futuros estudios este último aspecto

### 7.6 Ácido linoléico conjugado (CLA) en el huevo

La deposición de CLA en huevo no varió significativamente de una semana a otra ( $P>0.05$ ), pero si se elevó significativamente cuando se adicionó CLA en la dieta, incluso con 2% fue aun mas notable el incremento (Cuadro 18).

Los isómeros del ácido linoléico conjugado (CLA, C18:2 n6) que con mayor frecuencia se reportan son el *cis-9, trans-11* C18:2 y el *trans-10, cis-12* C18:2. En el presente estudio el isómero con mayor concentración, en el huevo de los tratamientos con CLA, correspondió al *cis-9, trans-11*, dichas concentraciones fueron significativamente superiores a las del huevo del grupo testigo ( $P<0.05$ ).

## Resultados y Discusión

**Cuadro 18.** Concentración de ácido linoléico conjugado (CLA) en el huevo (mg/100g) de gallinas alimentadas con dietas que incluyen aceite de sardina y CLA

CLA g/kg	c9,t11 CLA		t10,c12 CLA		TOTAL	
	Semana		Semana		Semana	
	2	4	2	4	2	4
0	2.0 <sup>c</sup> (0.05)	2.2 <sup>c</sup> (0.02)	1.7 <sup>d</sup> (0.02)	2.1 <sup>d</sup> (0.03)	3.7	4.3
10	88.7 <sup>b</sup> (1.2)	85.8 <sup>b</sup> (2.06)	39.4 <sup>c</sup> (1.5)	34.7 <sup>c</sup> (0.9)	128.1	120.6
20	170.1 <sup>a</sup> (4.2)	179.9 <sup>a</sup> (4.1)	98.7 <sup>a</sup> (2.2)	81.3 <sup>b</sup> (1.9)	268.8	261.1

a, b, c Literales distintas en cada isómero de CLA indican diferencia significativa (P<0.05). Los valores entre paréntesis corresponden a la concentración del ácido graso en % del Total de AG.

Álvarez (2005 y 2004) también reporta una concentración mayor del isómero *cis-9, trans-11* que del isómero *trans-10, cis-12*. La eficiencia de retención de CLA varía con el tipo de isómero de CLA usado y con el tipo y contenido de lípidos en la dieta control. (Álvarez, 2004). No se encontraron diferencias en la deposición de CLA en huevo fresco y en huevos provenientes de dietas con aceite de pescado y CLA (1 y 2%). Sin embargo, Chow (2008) encontró diferencias en la deposición del CLA, tanto para el isómero *cis.9, trans-11* y el *trans-10, cis-12*, en huevo fresco cuando suplementó las dietas de ponedoras con aceite de pescado frente a un control no enriquecido en AGPI.

Evidencia basada en estudios indica que diferentes isómeros proporcionan diferentes efectos en la salud. En humanos un estudio encontró que el CLA puede reducir los niveles de colesterol en sangre ingerido por personas saludables (Chow, 2008, *Kris-Etherton, 2002*).

El isomero *trans-10, cis-12*, comparado con otros isómeros del CLA, se ha mostrado más eficiente bajando la concentración de colesterol total y triglicéridos e incrementando la concentración de lipoproteínas de alta densidad (HDL). En el caso de la diabetes, el isomero *trans-10, cis-12* estimula la actividad genética de la



## Resultados y Discusión

---

peroxisoma PPAR-gamma la cual juega un papel importante en la ya demostrada actividad antidiabética del CLA. (Chow, 2008)

Los cambios en la grasa corporal inducidos por el CLA han sido relacionados con dos aspectos: el primero es acelerar el metabolismo de la grasa en nuestro cuerpo al incrementar la lipólisis en adipositos y el segundo se debe al incremento en la oxidación de los ácidos grasos tanto en células del musculo y adipositos

Teniendo presente los resultados obtenidos en el presente estudio se puede decir que, adicionando 1% de CLA en la dieta se obtienen los mismos resultados que si duplicamos la adición de CLA a la dieta como fue el caso del tratamiento 3.

El consumo de CLA por día en la dieta normal de una persona adulta es menos de 600mg, esto tan solo representa un poco mas del 15% de los 3 g por día necesarios para generar sus efectos positivos para la salud. En el presente estudio se reporta una concentración de 260 mg/100g de CLA en los huevos provenientes a dietas adicionadas con CLA. El incremento en la concentración de CLA y ácidos grasos n3 en alimentos provenientes de aves de corral es una forma de incrementar el consumo de estos compuestos y obtener potenciales beneficios a la salud tanto del CLA como de los ácidos grasos n3. (G. Cherian, 2007)

## Conclusiones

---

### CONCLUSIONES

- De acuerdo con los resultados obtenidos, la inclusión en forma combinada de 2.5% de aceite de sardina y CLA (1 y 2%) en la dieta de gallinas ponedoras no afecta la producción, masa y peso de huevo.
- Incorporar en forma combinada 2.5% de aceite de sardina y CLA (1 y 2%) en la dieta de gallinas ponedoras reduce el consumo de alimento y la conversión alimenticia se ve favorecida.
- Al incorporar en forma combinada 2.5% de aceite de sardina y CLA (1 y 2%) en la dieta de gallinas ponedoras se aumenta el contenido total de ácidos grasos saturados (AGS)..
- Al incorporar 1% ó 2% de CLA en dietas suplementadas con 2.5% de aceite de sardina, se obtienen las mismas concentraciones de AGn3 y CLA en el huevo
- Al incorporar en forma combinada 2.5% de aceite de sardina y CLA (1 y 2%) en la dieta de gallinas ponedoras se aumenta el contenido de AGn3 y CLA en el huevo, lo que constituiría un producto con doble valor agregado.
- Es recomendable tomar muestras para análisis de ácidos grasos en el huevo, a partir de la cuarta semana del ensayo.

### 8. LITERATURA CITADA

- A.E.B. 2005. **Guía de referencia para los productos de huevo**. Folleto editado por: American Egg Board. (Consejo Americano del Huevo). Pp. 13.
- Ahn, D.U., Sell, J.L., Jo, C., Chamrusspollert M. and Jeffrey M. 1999. **Effect of dietary conjugated linoleic acid on the quality characteristics of chicken eggs during refrigerated storage**. *Poultry Sci.* 78: 922-928.
- Álvarez, C., Cachaldora, P., Méndez, J., García-Rebollar, P. y De Blas, J.C. **“Effects of dietary conjugated linoleic acid and fish oil supplementation on performance and egg quality in laying hens”**. *British Poultry Science Volume 45, Number 4* (August 2004). Pp. 524-529.
- Álvarez, C., Cachaldora, P., Méndez, J., García-Rebollar, P. y De Blas, J.C. **“Effects of dietary conjugated linoleic acid and high-oleic sunflower oil on performance and egg quality in laying hens”**. COREN, Sociedad Cooperativa Galega, Ourense y Departamento de Producción Animal, Universidad Politécnica de Madrid, ETS Ingenieros Agrónomos, Madrid España. *British Poultry Science Vol. 46, Numero 1*. Febrero 2005.
- Astararian I. y Martinez J., 2000 **Alimentos composición y propiedades**. Mc-Graw Hill Interamericana.. Madrid, España. Pp 35-40.
- Ayerza, R. H. y W. Coates **Dietary levels of chia: influence on hen weight, egg production and sensory quality, for two strains of hens** \* Southwest Center for Natural Products Research and Commercialization, The University of Arizona, Tucson, AZ 85706, USA.
- Baucells, M. D., Crespo, N., Barroeta, A. C., Lopez-Ferrer, Grashorn, M. A. 2000. **Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs**. *Poultry Sci.* 79: 51-59.

## Literatura Citada

---

- Belitz, H-D., Grosch, W., Schieberle, P., 2004. **Food Chemistry**. 3<sup>th</sup> Edition . Springer. Berlin, Alemania. Pp. 587-597.
- Bell, D. D. 2002. **Formation of the egg**. In: **Comercial Chicken Meat and Egg Production**. Bell, D. D., Weaver D. W. 5th Edition. Editorial Kluver Academia Publishers. United Status of America. Pp 59-69
- Bowers, J. 1992. **Food. Theory and Applications**. Second Edition, McMillan Pub. Co., New York, USA. Pp. 359-400.
- Brouwer I.A., Katan M.B., Zock P.L.2004. **Dietary alpha-linolenic acid is associated with reduced risk of fatal coronary heart disease, but increased prostate cancer risk: a meta-analysis**. *Journal of Nutrition* 134 (4): 919-22.
- Cachaldora, P., García-Rebollar, P., Álvarez, C., De Blas, J. C., y Méndez, J. 2006. **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**". COREN, Sociedad Cooperativa Galeana, Ourense y Departamento de Producción Animal, Universidad Politécnica de Madrid, ETS Ingenieros Agrónomos, Madrid, España. *British Poultry Science*.
- Cachaldora, P., García-Rebollar P., C. Álvarez, J. C. De Blas y J. Méndez. 2006. **Effect of type and level of fish oil supplementation on yolk fat composition and n-3 fatty acids retention efficiency in laying hens**. COREN, Sociedad Cooperativa Galeana, Ourense y Departamento de Producción Animal, Universidad Politécnica de Madrid, ETS Ingenieros Agrónomos, Madrid, España. *British Poultry Science*.
- Carranco, J. M., 2009. **Inclusión de harina de cabezas de camarón (*litopenaeus spp.*) y de langostilla (*Pleuroncodes planipes*) en raciones para gallinas ponedoras, y su efecto sobre la calidad física y química del huevo, a diferentes tiempos y temperaturas de almacenamiento**. Tesis de doctorado. División de ciencias biológicas y de la salud. Unidad Xochimilco, UAM. México, D.F.

## Literatura Citada

---

- Carrillo D.S., Carranco J.M.E., Solano I., 2010. *Capítulo 6. Huevos de aves. Composición de los alimentos, valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo*. Miriam Muñoz de Chávez. 2da Edición. Mc Graw Hill. Pp. 191-196
- Carrillo D.S., Carranco J.M.E., Castillo D.R.M., Castro G.M.I., Avila G.E., Pérez-Gil R.F. 2005. **Cholesterol, n-3 and n-6 fatty acids content in eggs from laying hens fed with Red Crab Meal (*Pleuroncodes planipes*)**. *Poultry Sci.* 84: 167-172.
- Castillo Badillo C., Vázquez V.J.L., González A.M., Morales B.E. Castillo D.R.M. Carrillo D.S. (2005) “**El Aceite de Atún como Fuente de Ácidos Grasos omega 3 en el Huevo de Gallina**”. *Grasas y Aceites.* 56:2:153-159.
- Castillo D.R.M., Carrillo D.S., Pérez-Gil R.F., Avila G.E, Cassis N.L.(2001) “**Aceite de Sardina como Fuente de Ácidos Grasos omega-3 y su Efecto Sobre la Calidad y Sabor del Huevo para Plato**”. *Memorias de la XXVI Reunión Anual de la Asociación Nacional de Especialistas en Ciencias Avícolas ANECA, Acapulco, Guerrero, México.* pp. 67-69.
- Cherian G., Traber M. G., Goeger M. P. and Leonard S. W. 2007. **Ácido Linoleico Conjugado y Aceite de Pescado en Dietas de Gallinas Ponedoras: Efectos Sobre los Ácidos Grasos del Huevo, Sustancias Reactivas al Ácido Tiobarbiturico y Tocoferoles Durante el Almacenaje.** \* Department of Animal Sciences, and Linus Pauling Institute, Oregon State University, Corvallis 97331. *Poultry Science Association* 86(5): 968-972.
- Chow, K. C., 2008. **Fatty acids in foods and their health implications.** 3ra Edición. CRC Press, Taylor and Francis Group. Pp. 148-152, 825-830.
- Connor, William E. 2000. **Importance of n-3 fatty acids in health and disease**". *American Journal of Clinical Nutrition* 71 (1 Suppl.): 171S-5S.
- Deckere E.A. 1999. **Possible beneficial effect of fish and fish n-3 polyunsaturated fatty acids in breast and colorectal cancer**", *Eur J Cancer Prev.* Jul;8(3):213-21.

## Literatura Citada

---

- Du, M., Ahn, D. U., y Sell, J. L. 2000. **Effect of dietary conjugated linoleic acid and linoleic: linolenic acid ratio on polyunsaturated fatty acid status in laying hens.** *Poultry Sci.*52: 934.
- ENSANUT, 2006. *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición.* Instituto Nacional de Salud Pública. Mexico., DF.
- Eyjolfson V., Spriet L.L. y Dyck D.J. 2004. **Conjugated linoleic acid improves insulin sensitivity in young, sedentary humans.** *Med. Sci. Sports Exerc.* 36:814-82.
- Eunyoung Cho, Shirley Hung, Walter C Willett, Donna Spiegelman, Eric B Rimm, Johanna M Seddon, Graham A Colditz and Susan E Hankinson 2001. **Prospective study of dietary fat and the risk of age-related macular degeneration.** *American Journal of Clinical Nutrition* **73** (2): 209-218.
- Fennema, R. Owen, 2000. **Química de los alimentos.** 6ta. Edición, Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España. Pp. 157-250.
- Fuentes, R. A., 2009. **Composición de ácidos grasos y ácido linoléico conjugado en quesos de leche de cabra manufacturados en México.** Tesis de Licenciatura, Facultad de Química. UNAM. México, D.F.
- Garcia-Garibay, M., Quintero, R. R., Lopez-Munguia, A. 2004. **Biotecnología alimentaria.** Limusa-Noriega Editores. México, D.F. Pp 180.
- García-Rebollar, P., Cachaldora, P., Álvarez, C., De Blas, C., y Méndez, J. 2008. **Effect of the combined supplementation of diets with increasing levels of fish and linseed oil on yolk fat composition and sensorial quality of eggs in laying hens.** *Animal Feed Science and Technology* 140. 337-348.
- Gaullier J.M., Halse J., Hoye K., Kristiansen K., Fagertun H., Vik H. y Gudmundsen, O. 2004. **Conjugated linoleic acid supplementation for 1 y reduces body fat mass in healthy overweight humans.** *Am. J. Clin. Nutr.* 7:1118-1125.

## Literatura Citada

---

- Gnädig, S., Xue, Y., Berdeaux, O. Chardigny, J. M. y Sebedio, J. L. 2003. En: **Functional dairy products**. Mattlia-Sandholm T., Saarla M., Woodhead Publishing, Cambridge England. Pp.263-289.
- González-Esquerra R. y Leeson S.2001. **Alternatives for enrichment of eggs and chicken meat with omega-3 fatty acids**. Department of Animal and Poultry Science, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada N1G 2W1 .Can. J. Anim. Sci. 81: 295–305.
- Grobas S., Mendez, J., Lazaro R., de Blas C., Mateos G. C., 2001. **Influenced of source and percentage of fat added to diet on performance and fatty acids composition of egg yolks of two strain of laying hens**. Poultry Sci. 80:1171-1179.
- Herber S. M., Van Elswyk M. E. 1996. **Dietary marine algae promote efficient deposition of n-3 fatty acids for the production of enriched shell eggs**. Poultry Sci. 75:1501-1507
- Huang Y-S., Liu J. W. 1999. **Fatty Acids Metabolism**. En: Encyclopedia of Human Nutrition. M.J. Sadler y B. Caballero (eds.). Academic Press London. Pp. 730-737.
- INEGI. 2005. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Dirección General de Estadística; Dirección de Estadísticas Vitales.
- Instituto del huevo. 2004. **La importancia de consumir huevos durante la infancia y la adolescencia**". Comunicados de prensa. <http://institutodelhuevo.org>
- Ip, C., Scimeca, J. A. y Thopson, H. 1995 **Effect of timing and duration at dietary conjugated linoleic acid on mammary cancer prevention**. Nutrition Cancer 24:241-247.
- Jones, P. H., Kubow, S. 2002. **Nutrición en salud y enfermedad**. Shils M. E. Vol. 1. Mc Graw Hill, 9ª Edición. Mexico D.F. Pp.100-105.

## Literatura Citada

---

- Kris-Etherton, Penny M., Harris, William S. y Lawrence J. 2002. *Appel, for the Nutrition Committee. "Fish Consumption, Fish Oil, Omega-3 Fatty Acids, and Cardiovascular Disease"*. *Circulation* 106 (21): 2747-2757
- *Las condiciones de salud en las Américas*. Organización Panamericana de la Salud. *Publicación Científica Nro 524*. 1990.
- Lawson, H., 1999. **Aceites y grasas alimentarios**. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza España. Pp. 18-19
- Lopez, R. E. 2006. **Concentración de colesterol y ácidos grasos omega 3 en el huevo de gallinas alimentadas con algas marinas y aceite de pescado**. Tesis de Licenciatura, Facultad de Química. UNAM. México, D.F.
- Mariane, L.1998. **La dieta como determinante del desarrollo sistema nervioso central: Rol de los acidos grasos esenciales**. *Archivos latinoamericanos de la nutrición*. 48:29-33.
- Mataix, J., Gil A. 2004. **Libro blanco de los omega-3**. Editorial médica panamericana., Zaragoza España. Pp. 9, 10,15-18.
- McNamara, D.J. y Nicolosi, R. (1999) **Colesterol**. *En: Enciclopedia of human nutrition*. Editor Sadler, M.J., Strain, J. y Caballero, B. (Academia Press), Vol 1, London, G. B., Pp. 371-382.
- Mountney G. J., Parkhurst C. R. 2001. **Tecnología de productos avícolas**. Edit. Acribia, S.A. Zaragoza España. Pp. 351-354, 383-387.
- Nettleton. 1991. **Omega -3 Fatty acids: Comparison of plant and seafood sources in human nutrition"** *JA. Journal of the American Dietetic Association [J. AM. DIET. ASSOC.]*. Vol. 91, no. 3, pp. 331-337.
- *Official Methods of Analysis of AOAC Internacional USA*. 2001 Method 41.1.28 AOAC Official Method 969.33 **Fatty acids in oil and fats**.



## Literatura Citada

---

- *Official Methods of Analysis of AOAC Internacional USA. 2001 Method 34.1.08 AOAC Oficial Method 923.07*
- Pariza, M. W., Choi, Y., Kim Y., Han Y., Park Y., y Ntambi, J. M. 2000. **The trans-10, cis-2 isomer of conjugated linoléico acid downregulates stearoyl-CoA desaturase 1 gene expression in 3T3-L1 adipocytes**". *J. Nutr.* 130:1920-1924.
- Pedrero, F. L. D., Pangborn, M. R., 1989. **Evaluación sensorial de los alimentos**. Editorial Alhambra Mexicana. Mexicana. México, D.F. Pp. 139-147.
- Puiggrós C., Chacón P., Armands L., Clapés y Planas M.J. (2002) **"Effects of oleic-rich and Omega-3 rich diets on serum lipid pattern and lipid oxidation in mildly hypercholesterolemic patients"** *Clinical Nutrition*, 21(1): 79-87.
- Ríos, B. V., 2006. **Vida de anaquel y características organolépticas de huevos obtenidos de gallinas alimentadas con dietas enriquecidas con aceite de pescado y algas marinas**. Tesis de Licenciatura, Facultad de Química. UNAM. México, D.F.
- Rodríguez, G.H., 2001. **Alimentos funcionales**. Tesis de Licenciatura, Facultad de Química. UNAM. México, D.F. Pp 140-141
- Ronayne, P. A., 2000. **Importancia de los ácidos grasos poliinsaturados en la alimentación lactante**. *Archivos Argentinos pediátricos*. 98(4):231-238.
- SAGARPA., 2008. *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca, 2008*. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca. [www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx)
- SAGARPA., 2005. *Anuario Estadístico de Productos Bovinos , 2005*. Comisión Nacional de Ganadería. [www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx)
- Sergio López. Investigador. *Salud Pública de México / vol.42, no.4, julio-agosto de 2000, 370-372 pp.*, Centro de Investigación en Sistemas de Salud Instituto Nacional de Salud Pública, México.

## Literatura Citada

---

- Simopoulos, A. P. "**The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids**", Dossier: Polyunsaturated fatty acids in biology and diseases. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, Volume 56, Issue 8, October 2002, Pages 365-379
- *The community based strategy to prevent coronary heart disease: conclusion from 10 years of North Karelia Project. Ann. Rev. Public Health* 6:147-193. 1985.
- Uauy-Dagach R. 2001. **Mecanismo de acción de los ácidos grasos Omega-3: Implicaciones para su rol en la enfermedad crónica relacionada con la dieta preventiva.** XIII Congreso Argentino de nutrición, Diciembre.
- UNA. 2010. **Producción de huevo, consumo per cápita de huevo.** Indicadores económicos <http://www.una.org.mx>
- Van Elswyk M. E. 1997. **Nutricional and physiological effects of flaxseed in diets for laying fowl** *World's Poultry Sci.* 53:253-264.
- Vega-Franco L. **La salud en el contexto de la nueva salud pública.** México, D.F.: *El Manual Moderno/ Universidad Nacional Autónoma de México*, 2000, 148 pp
- Vega-Franco L. **Hitos conceptuales en la historia de la desnutrición proteico-energética.** *Salud Pública de México* 1999; 41:328-333.
- Voet J. D., 1991. **Bioquímica.** Omega S.A., 2da. Edición, Barcelona, España, Pp. 294, 328-335, 674-685.
- Wahle, K. W., Heys, S. D., y Rotando D. 2004. **Conjugated linoleic acids: are they beneficial or detrimental to health?** *Progress in Lipid Research.* 43: 553-587.
- Wong, W. S., 1995. **Química de los alimentos, Mecanismos y teoría.** Editorial Acribia, S.A. España. Pp. 48.

## Literatura Citada

---

- Zeidler G. 2002. **Shell Egg Quality and Preservation In: Comercial Chicken Meat and Egg Production.** Bell, D. D., Weaver D. W. 5<sup>th</sup> Edition. Editorial Kluver Academia Publishers. United Status of America. Pp 1109-1128.
- Zlatanos, S., Laskaridis, K., Feist, C. y Sagrados, A. 2002. **CLA content and fatty acid composition of Greek feta y hard cheeses.** Food Chemistry 78:471-477.