



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE QUÍMICA

COMPARACIÓN DEL EFECTO DE DOS ACEITES  
EMPLEADOS EN DIETA PARA GALLINAS SOBRE EL  
CONTENIDO DE LÍPIDOS Y ÁCIDOS GRASOS DEL  
HUEVO DURANTE EL PRIMER CICLO DE POSTURA

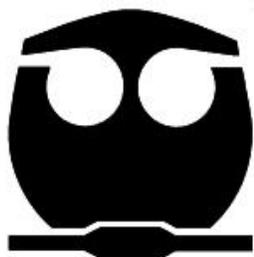
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICO DE ALIMENTOS

P R E S E N T A :

JOCELYN ALICIA GUEVARA PEDRAZA



MEXICO, D.F.

2011



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:**

<b>PRESIDENTE:</b>	Prof.: M. en C. Francisca Aida Iturbe Chiñas
<b>VOCAL:</b>	Prof.: M. en C. Lucia Cornejo Barrera
<b>SECRETARIO:</b>	Prof.: M. P. A. Silvia Carrillo Domínguez
<b>PRIMER SUPLENTE:</b>	Prof.: M. en C. Luz Sandra Sánchez del Angel
<b>SEGUNDO SUPLENTE:</b>	Prof.: M. en C. Argelia Sánchez Chinchillas

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ LA TESIS:**

Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán

**ASESOR**

---

Silvia Carrillo Domínguez

**SUPERVISOR TECNICO**

---

Ma. de la Concepción Calvo

**SUSTENTANTE**

---

Jocelyn Alicia Guevara Pedraza

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Fernando Pérez-Gil Romo, Jefe del Departamento de Nutrición Animal del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (INCMNSZ), por las facilidades brindadas durante mi estancia en el departamento.

Al Dr. Juan Manuel Cuca García, Investigador y Profesor de la Universidad de Chapingo, por su apoyo durante el ensayo experimental.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca proporcionada durante el desarrollo experimental.

A la Srita. Jennifer Bodín por suministrar la materia prima para el desarrollo del presente trabajo.

A mi asesora, la M. P. A. Silvia Carrillo Domínguez por compartirme sus conocimientos, así como su dedicación en la elaboración de la tesis. Agradezco la amistad brindada.

A la M. en C. María de la Concepción Calvo, a la Doc. María Elena Carranco J. y a la M. en C. Rosa María Castillo por sus enseñanzas, paciencia, disponibilidad y su ayuda incondicional para la conclusión de esta tesis.

A todo el departamento de Nutrición Animal por el cordial recibimiento y préstamo de sus recursos.

A la honorable Universidad Nacional Autónoma de México, principalmente a la Facultad de Química por ser proveedora de conocimientos y sentimientos únicos.

A mis padres, Javier y Ángeles, por su amor y sabiduría. Son las personas más importantes e influyentes en mi vida, les agradezco su esfuerzo y sacrificio. Todo lo que soy es por ustedes. Agradezco todo lo que me han dado, los admiro y espero llegar un día a ser las personas que son. Te amo mamá. Te amo papá.

A mis hermanos: Rodrigo, Jessica y Fernando, por ser las personas que iluminan y dan sentido a mi vida. Gracias por caminar a mi lado día a día y por todos los recuerdos que hemos construido. Los quiero y admiro.

A mis abuelos, Elpidio y Alicia, por ser un ejemplo a seguir. Agradezco que siempre me hayan cuidado, querido y apoyado.

A mis tíos y primos, por apoyarme y por el tiempo compartido. Gracias por los consejos y apoyo incondicional.

A mis amigas, Lulú y Leslie, por aceptarme como soy. Hemos disfrutado sinsabores y alegrías que me han fortalecido como persona. Gracias por estar presente en todas mis etapas. Son una parte importante en mi vida.

A una persona muy importante e inteligente, Oscar Ortiz, por estar siempre a mi lado, por quererme y ayudarme. Gracias por encaminar mi rumbo y por los consejos oportunos. Gracias por ayudarme a crecer y mejorar como ser humano.

A mis amigas QA's: Erika, Jaky y Romina, por formar el mejor equipo. Nuestra fórmula basada en disciplina y esfuerzo se conjuntaron para lograr los objetivos deseados. Gracias por su confianza y el cariño que aun preservamos.

A cada uno de mis profesores, que me proporcionaron el conocimiento para poder afrontar los problemas de la vida. Un especial reconocimiento al Profesor Federico Galdeano (Q.E.P.D.), por sus consejos y valiosa amistad.

A mis amigos de Nutrición Animal: Marysol, Daniel y Chava, por los momentos más divertidos dentro del laboratorio. Gracias por su amistad y colaboración.

Al jurado revisor por su tiempo y sugerencias.

“Empieza por hacer lo necesario, luego lo que es posible y de pronto te encontrarás haciendo lo imposible”.

San Francisco de Asís

## DEDICATORIAS

***A mis padres:***

Javier Guevara Quintín y Ma. de los Ángeles Pedraza Miranda

***A mis hermanos:***

Iván Rodrigo Guevara Pedraza, Jessica Guevara Pedraza y Fernando Guevara Pedraza.

***A mis abuelos:***

Elpidio Pedraza Ramírez, Alicia Miranda Ruiz, Vicente Guevara León (Q.E.P.D.) y Socorro Quintín Ballesteros (Q.E.P.D.).

# ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	
2.1 Huevo de gallina	2
2.1.1 Estructura	2
2.1.2 Composición nutricional del huevo	7
2.1.3 Situación avícola en México	9
2.2 Ácidos grasos	13
2.2.1 Clasificación de los ácidos grasos	13
2.2.2 Nomenclatura de los ácidos grasos	14
2.2.3 Importancia de los ácidos grasos en los consumidores	16
2.3 Ciclos de postura	17
2.4 Metabolismo de lípidos en las aves	18
2.4.1 Absorción y digestión de las grasas	18
2.5 Alimentación de gallinas ponedoras	21
2.6 Uso de aceites en la alimentación de las aves	23
2.6.1 Aceite de soya	24
2.6.2 Aceites acidulados o “soapstocks”	26
III. JUSTIFICACIÓN	29
IV. OBJETIVOS	30
V. HIPÓTESIS	30
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	
6.1 Obtención de los aceites	31
6.2 Análisis químico de los aceites y huevos de gallina	31
6.3 Ensayo biológico	31
6.4 Preparación de las dietas	32
6.5 Análisis químico del huevo de gallina	33
6.6 Análisis estadístico	34

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
7.1 Perfil de ácidos grasos de los aceites	35
7.2 Variables productivas	37
7.3 Contenido de lípidos totales en el huevo de gallinas alimentadas con dietas suplementadas con aceite crudo de soya y acidulado de soya	38
7.4 Perfil de ácidos grasos saturados en el huevo de gallinas alimentadas con dietas suplementadas con aceite crudo de soya y acidulado de soya	42
7.5 Perfil de ácidos grasos monoinsaturados en el huevo de gallinas alimentadas con dietas suplementadas con aceite crudo de soya y acidulado de soya	45
7.6 Perfil de ácidos grasos poliinsaturados en huevo para plato en el huevo de gallinas alimentadas con dietas suplementadas con aceite crudo de soya y acidulado de soya	48
VIII. CONCLUSIONES	52
IX. RECOMENDACIONES	53
IX. LITERATURA CITADA	54

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
<b>Cuadro 1.</b> Macronutrientes del huevo.	8
<b>Cuadro 2.</b> Ácidos grasos presentes en el huevo.	9
<b>Cuadro 3.</b> Kilogramos de alimento de origen animal respecto al salario mínimo.	12
<b>Cuadro 4.</b> Nomenclatura de algunos ácidos grasos comunes.	15
<b>Cuadro 5.</b> Valores de digestibilidad de ácidos grasos, triglicéridos y triglicéridos hidrolizados.	20
<b>Cuadro 6.</b> Patrones generales de formulación de alimentos para gallinas de postura.	23
<b>Cuadro 7.</b> Composición promedio del aceite de soya crudo y refinado.	25
<b>Cuadro 8.</b> Composición de ácidos grasos del aceite de soya.	26
<b>Cuadro 9.</b> Composición de las dietas experimentales.	33
<b>Cuadro 10.</b> Perfil de ácidos grasos en los aceites.	35
<b>Cuadro 11.</b> Variables productivas en 12 semanas de experimentación.	37
<b>Cuadro 12.</b> Clasificación del huevo de acuerdo al peso en México.	38
<b>Cuadro 13.</b> Efecto del tiempo, tipo de aceite y nivel de inclusión sobre la concentración de lípidos totales en el huevo.	39
<b>Cuadro 14.</b> Efecto del tiempo, tipo de aceite y nivel de inclusión sobre la concentración de ácidos grasos saturados.	43
<b>Cuadro 15.</b> Efecto del tiempo, tipo de aceite y nivel de inclusión sobre la concentración de ácidos grasos monoinsaturados en el huevo.	46
<b>Cuadro 16.</b> Efecto del tiempo, tipo de aceite y nivel de inclusión sobre la concentración de ácidos grasos poliinsaturados.	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Proceso de formación de un huevo.	2
<b>Figura 2.</b> Estructura del huevo.	3
<b>Figura 3.</b> Principales países consumidores de huevo (consumo <i>per cápita</i> ).	10
<b>Figura 4.</b> Principales países productores de huevo.	10
<b>Figura 5.</b> Consumo per cápita anual de huevo en México.	11
<b>Figura 6.</b> Principales estados productores de huevo en el 2010.	12
<b>Figura 7.</b> Ácido linoléico (18:2 n-6).	13
<b>Figura 8.</b> Configuración geométrica de los ácidos grasos.	14
<b>Figura 9.</b> Absorción intestinal de la grasa en las aves.	18
<b>Figura 10.</b> Estructura general de una lipoproteína-triglicérido.	19

## RESUMEN

Los aceites acidulados son un subproducto de la refinación alcalina de los aceites vegetales. Su contenido en ácidos grasos, bajo costo y el valor de energía metabolizable lo hace una alternativa de uso como ingrediente lipídico en la dieta de las gallinas. El objetivo de este estudio fue comparar el efecto que tiene el utilizar dos aceites (aceite crudo de soya y aceite acidulado de soya) en dietas para gallinas de primer ciclo de postura sobre el contenido lípidos totales y ácidos grasos en huevo. Los aceites empleados fueron procedentes de Yecapixtla Morelos. Se utilizaron 160 gallinas Bovans White de 30 semanas de edad, las cuales se distribuyeron al azar en grupos homogéneos repartidas en 4 tratamientos (con 5 repeticiones de 8 gallinas por cada repetición), los cuales consistieron en incorporar 2 y 4% de aceite de soya crudo (AS) y acidulado de soya (Acid.). El estudio duró 12 semanas realizando los análisis de cada tratamiento en las semanas 1, 4, 8 y 12; por lo que el estudio concluyó a las 55 semanas de edad de las gallinas. Durante este periodo se midieron las variables productivas: porcentaje de postura, peso de huevo, masa de huevo, consumo de alimento y conversión alimenticia, resumiendo los datos por semana. Al final de las 12 semanas de experimentación, se colectaron 4 huevos por repetición de cada tratamiento y se realizó un pool (yema + clara) de 4 huevos y se homogeneizaron manualmente (clara y yema) y se mantuvieron en congelación (4 °C) hasta su análisis. Para la determinación de lípidos totales se empleó el Método 34.1.08 y perfil de ácidos grasos por el Método 34.1.08 (AOAC, 2002). En cuanto al perfil de ácidos grasos se trabajó con aquellos que presentaban contenido mayor al 1%. Los resultados mostraron en el perfil de ácidos grasos de los aceites, que el acidulado presenta una mayor concentración de ácidos grasos saturados y monoinsaturados, además de que es rico en oléico. Las variables productivas evaluadas no presentaron diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) en ninguno de los 4 tratamientos. En cuanto a los lípidos totales, a partir de la octava semana la concentración de lípidos totales se estabilizó, y para el nivel de inclusión la mayor concentración se presentó con el 2%, sin diferencia estadística en el tipo de aceite. En los ácidos grasos se observó un comportamiento generalizado, en el tiempo a partir de la cuarta semana de alimentación la concentración se mantuvo constante hasta el final del estudio. En el nivel de inclusión de 2% se obtuvo mayor concentración excepto en el ácido esteárico y linoleico. Finalmente el aceite acidulado aumentó el contenido de ácido palmítico, palmitoleico y oleico. Se concluye que el tiempo de alimentación no influye en el contenido de lípidos totales y perfil de ácidos grasos a partir de la semana 4, el tipo de aceite empleado influye en el perfil de ácidos grasos y la concentración de la mayoría de ácidos grasos aumenta con 2% de inclusión exceptuando ácido esteárico y ácido linoleico.

---

## I. INTRODUCCIÓN

Los hidratos de carbono y las grasas proporcionan a las aves la energía necesaria para que desempeñen funciones vitales como el movimiento del cuerpo, conservación de la temperatura corporal, producción de grasa, huevo y carne.

Las fuentes de energía utilizadas en la alimentación de las aves son: los cereales (maíz, sorgo, cebada y trigo) y grasas. Las grasas animales, los aceites vegetales y las mezclas (grasa animal y vegetal) son comúnmente utilizados en la formulación de las dietas y son fuente concentrada de energía, proporcionan 2.25 veces más energía que las proteínas y los hidratos de carbono.

La utilización de grasas o aceites crudos, con altos niveles de triglicéridos, en dietas comerciales para aves se ve muy limitada por su alto precio. Por tal razón, el recurrir al uso de subproductos del procesamiento de los aceites crudos o mezclas puede ayudar a reducir costos.

Los aceites acidulados son un subproducto de la refinación alcalina de los aceites vegetales. Su contenido en ácidos grasos, bajo costo y valor de energía metabolizable lo hacen una alternativa de uso como ingrediente lipídico en la dieta de las gallinas. Este subproducto es considerado en muchos casos un contaminante ambiental, ya que la mayor parte se desecha. Recientemente las compañías aceiteras lo venden y es empleado como: fuente de alimento para microorganismos, materia prima en reacciones químicas, ingrediente de fertilizantes y piensos, etc.

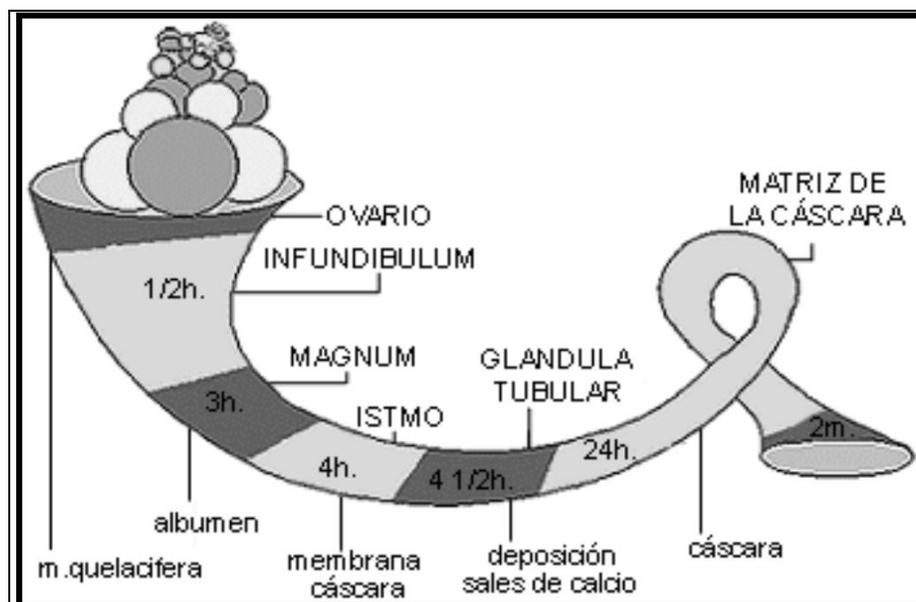
Sin embargo, tal como lo demuestran diversos estudios la composición química del huevo, principalmente la fracción lipídica, puede ser modificada de acuerdo a los ingredientes que conforman la dieta proporcionada a las aves. Por tanto, es el interés de estudio del presente trabajo comparar el efecto, que el aceite crudo y aceite acidulado de soya, tienen sobre el contenido de lípidos totales y perfil de ácidos grasos en el huevo, cuando la dieta para las gallinas es suplementada con estos aceites durante el primer ciclo de postura.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1 Huevo de gallina

De acuerdo al diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, se define al huevo como “cuerpo redondeado, de tamaño y dureza variables, que producen las hembras de las aves o de otras especies animales, y que contiene el germen del embrión y las sustancias destinadas a su nutrición durante la incubación. El huevo de gallina, especialmente es destinado a la alimentación humana”.

El proceso de formación del huevo de gallina ocurre en un periodo de aproximadamente 24 horas. El óvulo se rodea en el ovario de la sustancia que constituye la yema. Después a través del oviducto se cubre de varias capas de la misma pared, que corresponde al albumen, para que finalmente se forme el cascarón (Figura 1).

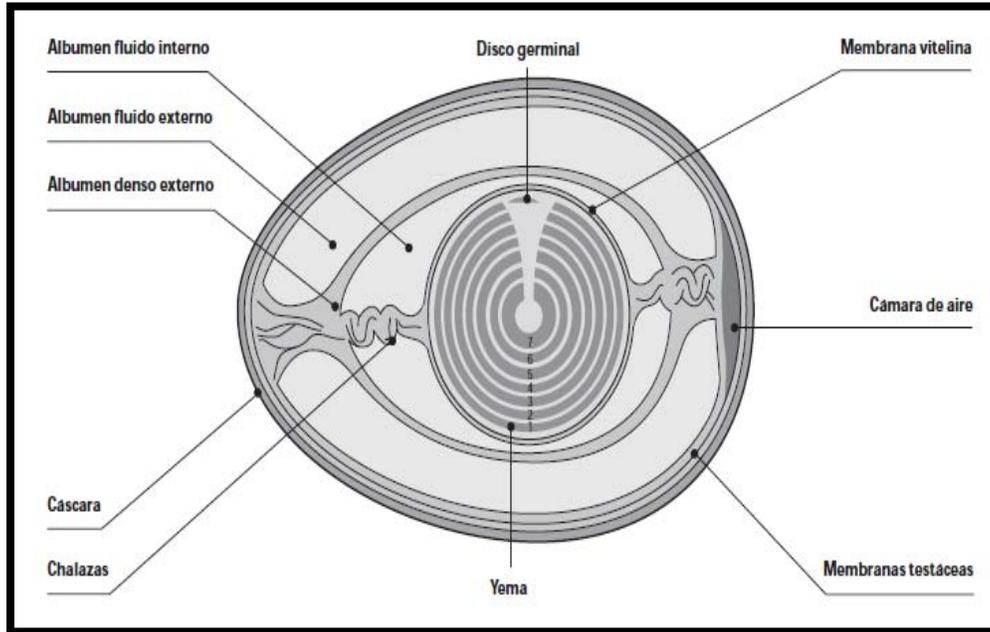


**Figura 1.** Proceso de formación de un huevo

Fuente: [www.institutonacionalavicola.org.mx](http://www.institutonacionalavicola.org.mx), 2010

### 2.1.1 Estructura del huevo

El huevo está formado por el cascarón, el albumen y la yema (Figura 2).



**Figura 2.** Estructura del huevo

Fuente:

[http://www.institutohuevo.com/images/archivos/lecciones\\_del\\_huevo\\_completo.pdf](http://www.institutohuevo.com/images/archivos/lecciones_del_huevo_completo.pdf)

El peso promedio de un huevo de gallina es de 60 g, de los cuales la clara representa el 60%, la yema el 30% y la cáscara, junto con las membranas, el 10% del total.

#### Cascarón

La principal característica del cascarón es su porosidad (7000 a 15000 poros totales), la cual permite el recambio del aire durante el periodo de incubación. A través de los poros del cascarón se realiza además, una lenta y constante evaporación de agua, para mantener la integridad física y actuar como barrera bacteriológica.

---

Está constituido principalmente por calcio (98.2%), magnesio (0.9%) y fósforo (0.9%), éste último presente en forma de fosfato (Stadelman, 1995). El cascarón se compone de (Figura 2):

- Membranas del huevo o membranas testáceas: son 2 y residen entre la albúmina y el cascarón, interna y externa, respectivamente. Representan el 3%, ambas de naturaleza proteica con un alto contenido de histidina, cisteína y prolina. La membrana externa tiene un espesor de 48  $\mu\text{m}$  y la interior de 22  $\mu\text{m}$ . Las membranas se encuentran entrelazadas íntimamente, separándose en el polo más ancho formando la cámara de aire, cuyo volumen aumenta en función del tiempo y condiciones de almacenamiento. Además de que las dos ejercen un papel protector contra la contaminación microbiana, la membrana externa tiene la función de soporte de la verdadera estructura cristalina que se constituye como cáscara.
- Matriz mamilar: se encuentra interconectada a la membrana externa del cascarón. Es la parte interna más calcificada.
- Matriz esponjosa: compuesta por columnas de carbonato cálcico que se van formando y entrelazando. Constituye del 60 a 95% de la cáscara.
- Cámara de aire: se forma en los extremos del huevo durante el enfriamiento después de que la gallina lo pone.
- Chalazas: constituida por un par de bandas espirales que mantienen la yema en el centro de la clara gruesa. Entre más fresco se encuentre el huevo, más chalaza presentará.
- Capa de cristales verticales, donde la cristalización cambia de dirección.
- Cutícula: cubre los poros y le da el aspecto brillante. Se mantiene húmeda unos minutos tras la puesta y está compuesta por proteínas.

El color del cascarón dependerá de la raza de la gallina y varía de marrón a blanco pero no influye en la calidad, contenido nutricional, sabor o propiedades funcionales del huevo.

---

## Albúmina o clara

Es un sistema proteínico de color amarillento, provocado por la presencia de riboflavina. Está formada por dos capas concéntricas que tienen distinta densidad (acuosa y densa).

La albúmina densa rodea a la yema y la acuosa es la más próxima al cascarón. Cuando el huevo es fresco se puede observar una diferencia entre ambas. A medida que el huevo pierde su frescura, la albúmina densa pierde consistencia; además el pH aumenta de 7.6 a 9.7 (Stadelman, 1995).

La albúmina se compone principalmente de agua y proteínas, el 90% de su materia seca está constituida por las siguientes proteínas:

- Ovoalbúmina: es la proteína predominante (54%), clasificada como fosfoglicoproteína e integrada por tres fracciones: A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> y A<sub>3</sub>, las cuales difieren en el contenido de fósforo, siendo la proporción relativa en la albúmina de 85:12:3. Está compuesta de cuatro grupos sulfhidrilo, contiene cisteína y metionina. Su principal característica es que se desnaturaliza con calor.
- Conalbúmina (13%): glicoproteína que no contiene fósforo ni grupos sulfhidrilo libres, sin embargo, es rica en enlaces disulfuro. Es sensible al calor al igual que la ovoalbúmina. Su característica es que presenta propiedad quelante con aluminio, cobre, zinc y principalmente con hierro, formando complejos resistentes a la temperatura y a ataques proteolíticos.
- Ovomucoide(11%): glicoproteína termoestable rica en puentes disulfuro. Compuesta de 1.0 a 1.5% de D-galactosa, 4.3 a 4.7% D-manosa, 12.5-15.4% 2-amino-2-deoxi-D-glucosa, 0.4-4% ácido siálico y 6-9% de hexosas. Una característica importante es que actúa como inhibidor de tripsina, menos de una molécula de ovomucoide es requerida para reducir la actividad de una molécula de tripsina en 50%.
- Lisozima (3.5%): es una enzima formada de 129 residuos de aminoácidos y 4 enlaces disulfuro, no presenta grupos sulfhidrilo libres.

---

Al tratarse de una enzima, su inactivación térmica depende del pH. La característica más sobresaliente es su actividad lítica en las paredes celulares bacterianas.

- Ovomucina (1.5%): glicoproteína que contribuye a la estructura de la capa densa de la albúmina. Está compuesta por 33% de hidratos de carbono, además de que tiene ácido siálico y ácido neuramínico. Es termoresistente.
- Avidina (0.05%): proteína de bajo contenido en la albúmina, se desnaturaliza fácilmente con el calor y su principal característica es su capacidad para unirse a la biotina.
- Ovoglobulinas: la fracción de globulina está compuesta por 3 proteínas: G<sub>1</sub> (3.5%), G<sub>2</sub> (4.0%) y G<sub>3</sub> (4.0%). Se ha observado que las ovoglobulinas son excelentes agentes espumantes.
- Ovoinhibidor (0.1%): proteína homogénea sin presencia de ácido siálico. Su actividad como inhibidor de tripsina es distinto al ovomucoide, ya que además es capaz de inhibir a la quimotripsina, así como a proteasas fúngicas y bacterianas.
- Ovoflavoproteína (0.8%): proteína capaz de fijar riboflavina en la albúmina.

## **Yema**

La parte central del huevo es la yema, la cual representa el 30-35 % del peso total del huevo. Su color amarillo-anaranjado se debe a la presencia de pigmentos carotenoides, especialmente las xantofilas, luteína y zeaxantina. Esta rodeada por una membrana transparente (vitelina), en la superficie se encuentra el disco germinal, que es lugar de división de las células embrionarias cuando el huevo está fecundado.

La yema es un sistema complejo que contiene una gran variedad de partículas suspendidas en una solución de proteína (vitelina). La mayor porción de la yema es el plasma (78% de la fase líquida total de la yema). En la fase sólida se presentan las siguientes partículas: (1) esferas de yema, (2) gránulos (contienen

---

grasa esterificada y colesterol), (3) lipoproteínas de baja densidad y (4) figuras de mielina (Stadelman, 1995).

Los principales componentes de la yema, después del agua son los lípidos, los cuales mayoritariamente se encuentran en forma de fosfolípidos.

El contenido total de lípidos en la yema es de 4 a 4.5 g por unidad, de las cuales 1.5 g son grasa saturada y el resto insaturada (predominando las monoinsaturadas, que son benéficas para el organismo) (Instituto Nacional Avícola, [www.institutonacionalavicola.org.mx](http://www.institutonacionalavicola.org.mx)).

Proteínas presentes en la yema:

- Fosfovítina: fosfoproteína que contiene 12 a 13% de nitrógeno y 10% de fósforo (se presenta en forma de fosfoserina). También presenta residuos de aminoácidos esenciales como: cistina, metionina, triptófano, tirosina y principalmente serina. Posee propiedad quelante con hierro y forma complejos solubles monodispersos con los iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ .
- Lipovitelinas: lipoproteínas de alta densidad, las cuales están compuestas de 20% de lípidos, de los cuales 60% son fosfolípidos y 40% lípidos neutros, éstos últimos incluyen 4.1% de colesterol; la fracción fosfolípida consiste de 75% fosfatidil colina, 18% fosfatidil etanolamina y 7% de esfingomielina y lisofosfolípidos.

Aunque los hidratos de carbono son minoritarios, más del 98 % se encuentran en forma de glucosa libre, lo cual representa el primer aporte energético para el embrión. Otros nutrimentos que se presentan en menor cantidad son los minerales y vitaminas liposolubles (A, D, E y K).

### **2.1.2 Composición nutricional del huevo**

El huevo es una fuente alimenticia rica y balanceada en nutrimentos (Cuadro 1). La riqueza del huevo en proteínas es alta, con la ventaja de que son fácilmente digeribles y de alto valor biológico. También es fuente rica de

---

minerales, excepto de calcio que se encuentra en baja proporción, presenta alto contenido de vitaminas A, E, K y del complejo B, careciendo de ácido ascórbico.

Las vitaminas liposolubles, vitaminas hidrosolubles (ácido fólico y B12) y colina, se encuentran exclusivamente en la yema, donde se concentra igualmente la mayor parte de la biotina, el ácido pantoténico y las B1 y B6. Por el contrario, la albúmina contiene 50% de la B2.

Un huevo cubre entre el 10-15% de las necesidades diarias del ser humano en vitaminas A, D, E, B2, B12, ácido pantoténico y biotina. Para las restantes vitaminas su contribución es mucho menor (3-5% del total necesario) ([www.institutodelhuevo.com](http://www.institutodelhuevo.com)).

**Cuadro 1. Macronutrientes del huevo entero**

<b>Nutrientes (por 100 g)</b>	<b>Huevo entero</b>	<b>Yema</b>	<b>Clara</b>
Proteína	11.95	15.5	9.8
Humedad	75.85	56.2	88.55
Grasa	10.2	25.6	0
Cenizas	0.95	1.55	0.6
Carbohidratos	1.05	1.15	1.05
Calorías (kcal)	148	303	47
Colesterol (mg)	432	1075	0

Fuente: Carranco (2010)

La riqueza en grasa del huevo entero se sitúa en la yema (Cuadro 1). Los lípidos de la yema están constituidos aproximadamente por un 66% de triacilgliceroles, un 28% de fosfolípidos y un 5% de colesterol. Además, es una importante fuente de ácidos grasos insaturados. Contiene ácidos grasos saturados (C16:0 y C18:0), monosaturados (C16:1 y C18:1) y poliinsaturados (C18:2). Es importante destacar el contenido en ácido oleico y ácido linoléico (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Ácidos grasos presentes en el huevo (g/100g)

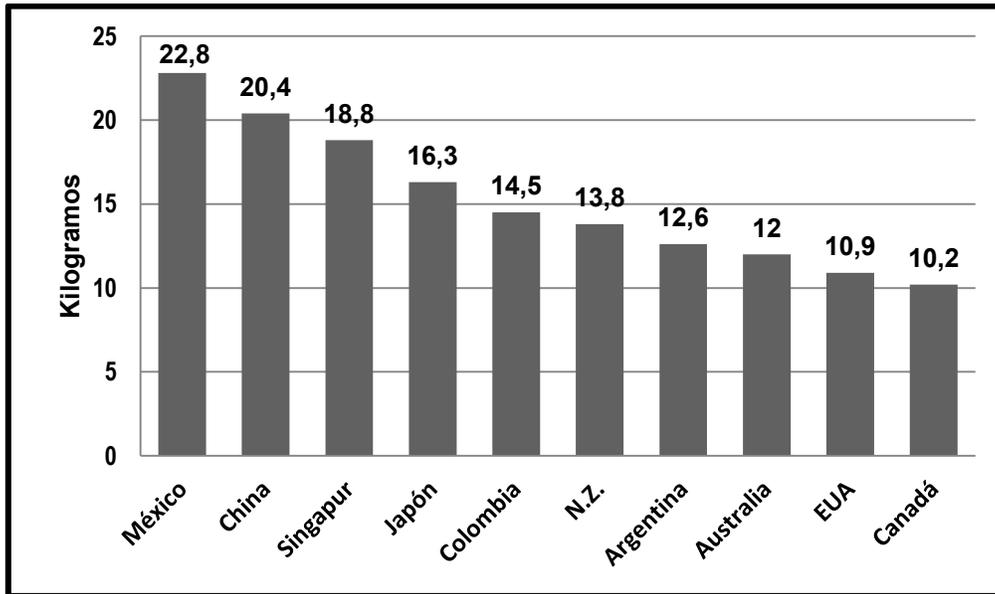
<b>Lípidos</b>	<b>Huevo entero</b>	<b>Lípidos</b>	<b>Huevo entero</b>
<i>Saturados</i>	3.10	<i>Poliinsaturados</i>	1.36
Mirístico (C14:0)	0.03	Linoléico (C18:2n6)	1.15
Palmítico (C16:0)	2.23	Alfa-linolénico (C18:3 n3)	0.03
Esteárico (C18:0)	0.78	Araquidónico (C20:4n6)	0.14
<i>Monoinsaturados</i>	3.81	Eicosapentaenóico (C20:5 n3)	0.09
Palmitoleico (C16:1)	0.30	Docosahexanóico (C22:6n3)	0.03
Oleico (C18:1 ω9)	3.47		
Eicosenoico (C20:1)	0.03		

Fuente: USDA, <http://www.ars.usda.gov/nutrientdata>

### 2.1.3 Situación avícola en México

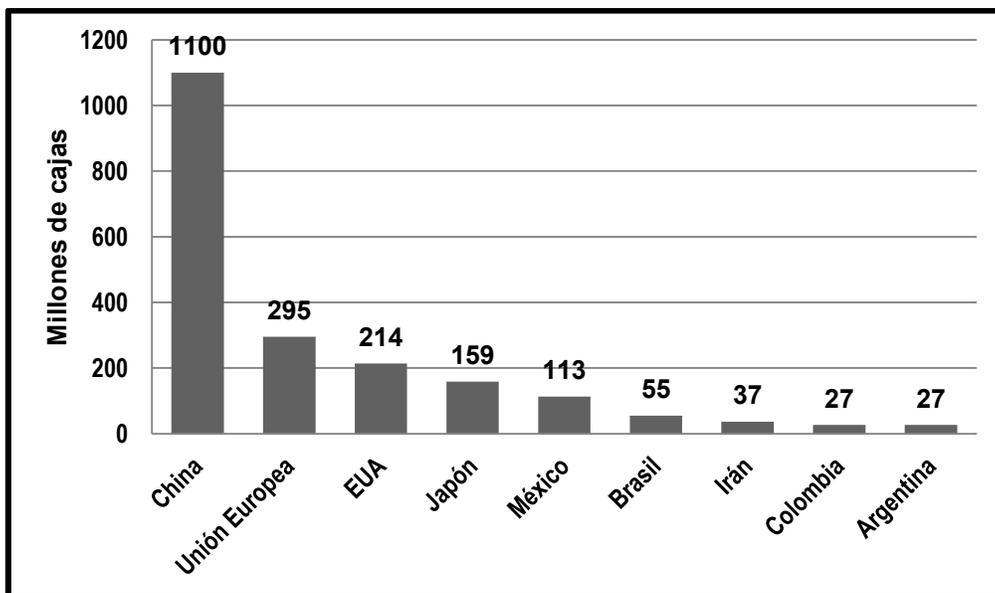
México ocupa el quinto lugar como productor y el primero como consumidor de huevo fresco a nivel mundial (22.8 Kg/per cápita), seguido de China y Singapur con 20.4 y 18.8 Kg, respectivamente (Figura 3 y 4).

En el año 2010 la avicultura generó 1,153,000 empleos, de los cuales 191,000 son directos y 961,000 indirectos (UNA, 2010).



**Figura 3.** Principales países consumidores de huevo (consumo *per cápita*)

Fuente: UNA (2010)

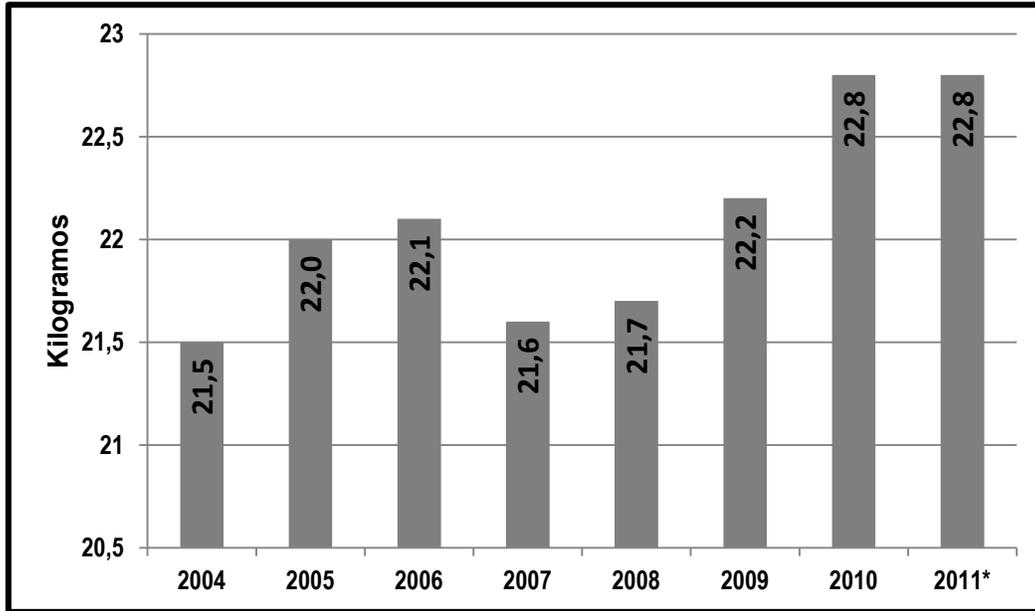


**Figura 4.** Principales países productores de huevo

Fuente: UNA (2010)

---

Durante los últimos años ha existido un aumento en el consumo. Se pronostica un crecimiento del 1% en el año 2011 (Figura 5).

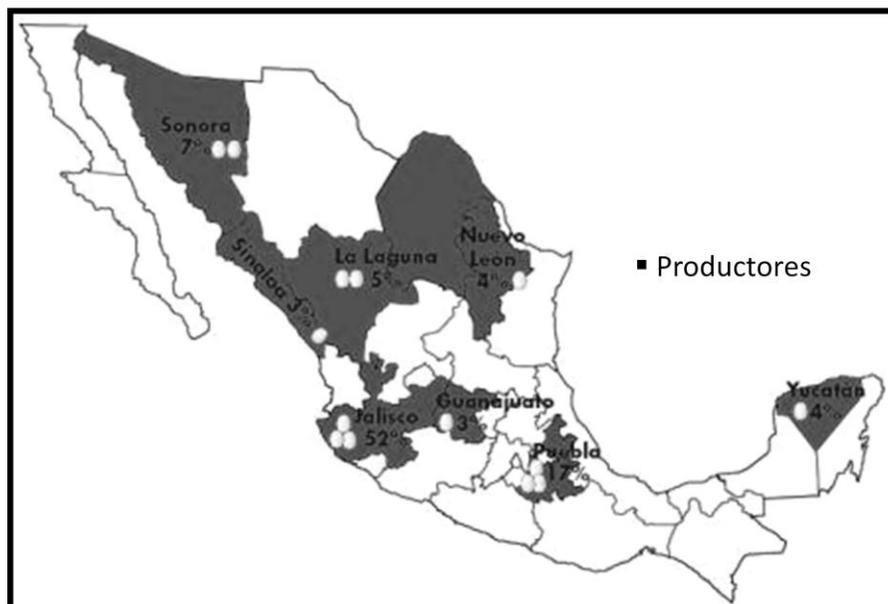


**Figura 5.** Consumo per cápita anual de huevo en México

\*El valor de 2011 es una estimación

Fuente: UNA (2010)

La producción de huevo durante la última década creció a un ritmo anual de 3.4 %. El 96% de la producción de huevo en México durante 2008, se produjo en 8 Estados, localizados cerca de los centros de consumo, el 76% lo producen Jalisco, Puebla y Sonora (UNA, 2010).



**Figura 6.** Principales estados productores de huevo en el 2010

Fuente: UNA (2010)

Actualmente el huevo y el pollo siguen siendo las alternativas más baratas y nutritivas. Seis de cada 10 mexicanos prefieren en su mesa los productos avícolas. En el 2010 con un salario mínimo se podían comprar 2.12 Kg de pollo entero, 1.91 Kg de perril, 1.16 Kg de pechuga, 3.29 Kg de huevo y tan solo 840 g de res y 910 g de carne de cerdo (UNA, 2010) (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Kilogramos de alimento de origen animal respecto al salario mínimo

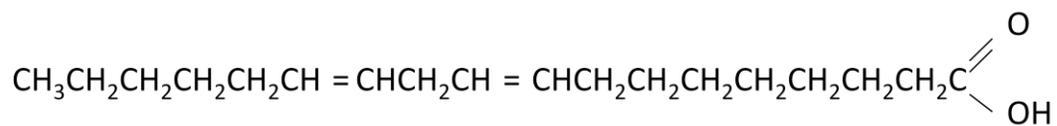
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Pollo entero	2.15	2.23	2.1	2.27	2.05	2.12
Pechuga	1.21	1.32	1.16	1.25	1.16	1.16
Perril	1.77	2.03	1.85	2.09	1.81	1.91
Res	0.79	0.84	0.84	0.81	0.75	0.84
Cerdo	0.77	0.83	0.85	0.75	0.63	0.91
Huevo	3.84	3.76	3.48	2.98	2.75	3.29

Fuente: UNA (2010)

---

## 2.2 Ácidos grasos

Los ácidos grasos (AG's) son ácidos monocarboxílicos alifáticos que puedan liberarse por hidrólisis de las grasas naturales (Fennema, 2000). Están formados por un grupo carboxilo en la parte terminal y un grupo metilo en el otro extremo (Figura 7). Son los principales componentes de los fosfolípidos, triglicéridos, diglicéridos, monoglicéridos y ésteres de esteroles.



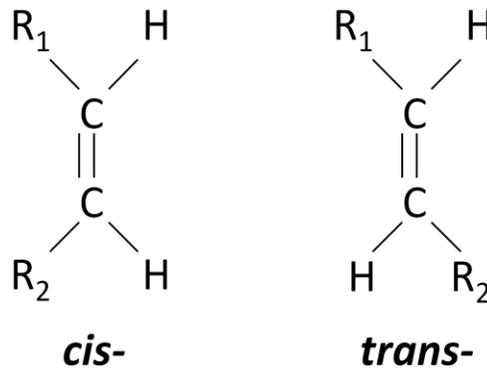
**Figura 7.** Ácido linoléico (18:2 n-6)

### 2.2.1 Clasificación de los ácidos grasos

De acuerdo al grado de insaturación se les clasifica en:

- *Saturados*: todos los enlaces de los átomos de carbono se encuentran enlazados con átomos de hidrógeno. En los alimentos regularmente van de 4 a 22 carbonos (butírico, palmítico, láurico, etc.).
- *Monoinsaturados*: son cadenas de átomos de carbono que tienen un solo doble enlace. Normalmente poseen de 16 a 22 carbonos. Los más comunes son: el ácido palmitoleico (16:1 n-7), ácido oleico (18:1 n-9) y ácido erucico (22:1 n-9).
- *Poliinsaturados*: están formados de 2 o más dobles enlaces. El más común es el ácido linoléico (18:2 n-6).

De igual forma se suelen designar de acuerdo a la configuración geométrica de los dobles enlaces, *cis* y *trans* (Figura 8).



**Figura 8.** Configuración geométrica de los ácidos grasos

Fuente: Fennema (2002)

En la naturaleza se encuentran con mayor frecuencia los ácidos grasos insaturados de la forma *cis*.

### 2.2.2 Nomenclatura de los ácidos grasos

La nomenclatura de los AG's utiliza el alfabeto griego para identificar la posición de los enlaces dobles. El carbono del grupo carboxilo es el número uno, el carbono alfa ( $\alpha$ ) es el carbono adyacente; por lo tanto, el carbono omega ( $\omega$ ) corresponde al último carbono en la cadena. De acuerdo a esta nomenclatura, se tienen 3 familias importantes:  $\omega$ -3 o n-3,  $\omega$ -6 o n-6 y  $\omega$ -9 o n-9.

Ejemplificando lo anterior, el ácido linoleico es 18:2 n-6, donde 18 indica el número de carbonos, 2 el número de insaturaciones y n-6 la posición de la primera doble ligadura respecto al carbono omega.

**Cuadro 4.** Nomenclatura de algunos ácidos grasos comunes

<b>Abreviatura</b>	<b>Nombre sistemático</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Símbolo</b>
4:0	Butanoico	Butírico	B
6:0	Hexanoico	Caproico	H
8:0	Octanoico	Caprílico	Oc
10:0	Decanoico	Cáprico	D
12:0	Dodecanoico	Laúrico	La
14:0	Tetradecanoico	Mirístico	M
16:0	Hexadecanoico	Palmítico	P
16:1 (n:7)	9-Hexadecanoico	Palmitoleico	Po
18:0	Octadecanoico	Estearico	St
18:1 (n-9)	9-Octadecenoico	Oleico	O
18:2 (n-6)	9,12- Octadecadienoico	Linoleico	L
18:3 (n-3)	9,12,15- Octadecatrienoico	Linolénico	Ln
20:0	Araquídico	Eicosanoico	Ad
20:4 (n-6)	5,8,11,14-Eicosatetraenoico	Araquidónico	An
20:5 (n-3)	5,8,11,14,17-Eicosapentaenoico	EPA	
22:1 (n-9)	13-Docosenoico	Erúcico	E
22:5 (n-3)	7,10,13,16,19- Docosapentaenoico		
22-6 (n-6)	4,7,10,13,16,19- Docosahexaenoico	DHAE	

Fuente: Fennema (2002)

---

### 2.2.3 Importancia de los ácidos grasos en los consumidores

Los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados son principalmente los grupos que influyen positivamente en la salud.

Los ácidos grasos monoinsaturados, principalmente el ácido oleico del cual se derivan los eicosanoides, los cuales tienen una actividad vasodilatadora. Además disminuye la cantidad de triglicéridos, colesterol total y LDL, así como la oxidación del mismo y eleva la fracción HDL (Massaro, 1999).

Recientemente ha habido un gran interés por los ácidos grasos denominados n-6 y los n-3, precursores del ácido linoléico (18:2 n-6) y el ácido alfa-linolénico (18:3 n-3), respectivamente. Estos ácidos grasos sufren sucesivas desaturaciones y elongaciones, dando origen a diversos metabolitos con importantes funciones biológicas como el ácido docosahexanoico (DHA 22:6 n-3) y el ácido eicosapentanoico (EPA, 20:5 n-6) (Fennema, 2002), además de que deben ser aportados por la dieta.

Varios estudios han reportado que los ácidos grasos poliinsaturados causan una serie de impactos benéficos a la salud (Kassis *et al.*, 2010; Carrillo *et al.*, 2008; Rodríguez-Cruz, 2005; Sindelar *et al.*, 2004; Surai y Sparks, 2001; Simopoulos, 2000), especialmente los n3:

- El crecimiento y desarrollo del feto dependen del aporte materno del ácido linoléico y del alfa-linolénico. Así mismo, el consumo materno de ácido docosahexanoico beneficia el desarrollo mental de los niños.
- En los recién nacidos, los AGPIs n-3 y n-6 son básicos para su desarrollo cerebral y cognoscitivo, ya que los fosfolípidos que integran las membranas celulares del sistema nervioso contienen grandes cantidades de éstos ácidos grasos.
- Tienen un efecto benéfico en el desarrollo o control de la diabetes mellitus y cáncer.
- Pueden retrasar o controlar el desarrollo de la obesidad siendo reguladores negativos de la lipogénesis hepática.

- 
- Previenen hipertensión y arteroesclerosis.
  - Disminuyen la incidencia de derrame cerebral e infarto.
  - Reducen el riesgo de padecer desórdenes inflamatorios o autoinmunes como la diabetes, artritis, colitis ulcerosa y enfermedad de Crohn (enfermedad crónica autoinmune en el cual el sistema inmunitario del individuo ataca su propio intestino produciendo inflamación).
  - Contribuyen al desarrollo cerebral.
  - Disminuyen los niveles de lípidos séricos y triglicéridos.
  - Previenen arritmias cardiacas.

### **2.3. Ciclos de postura**

También llamado año biológico, es el periodo en el que las aves alcanzan la madurez sexual y comienzan a poner huevos (aproximadamente 20 semanas de edad) hasta el final del periodo de postura cuando las aves son pelechadas (muda de plumas) o bien cuando se comercializan para introducir una nueva parvada (North *et al*, 1993).

Los periodos de postura se clasifican en tres etapas:

- Etapa I: Desde el día de postura del primer huevo (20 semanas) hasta la semana 50 de producción de huevo. Durante esta etapa las gallinas aumentarán la producción de huevo (< 90%) y la masa de huevo alcanzará su valor máximo.
- Etapa II: Empezando la semana 51 hasta la semana 75 de producción.
- Etapa III: Después de la semana 75 de producción.

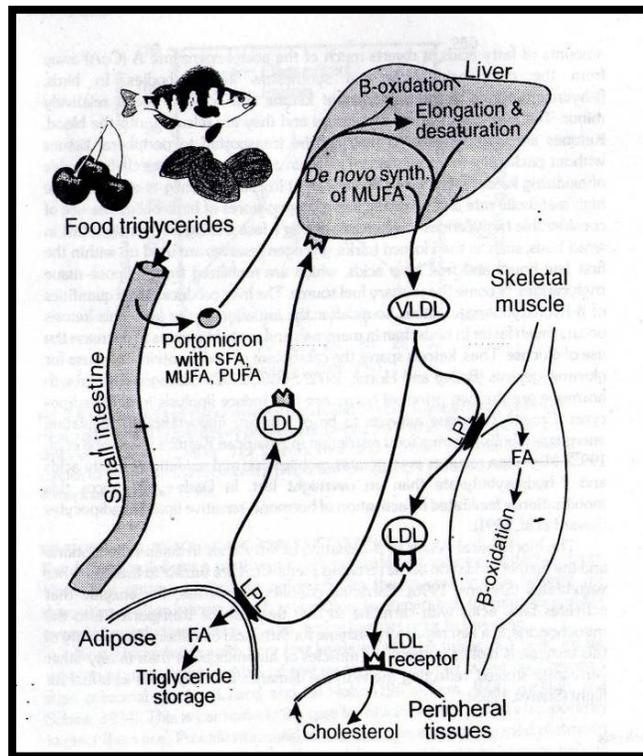
A nivel comercial se utilizan las gallinas en las etapas 1 y 2, ya que después consumen demasiado alimento y su producción disminuye lo que resulta poco rentable para el productor.

## 2.4 Metabolismo de lípidos en las aves

El metabolismo de las grasas es un proceso en el que los ácidos grasos se convierten y usan para energía, producción de huevo o se almacenan como grasa corporal (North *et al*, 1993).

### 2.4.1 Absorción y digestión de las grasas

No existe evidencia de que la hidrólisis de las grasas se lleve a cabo en el tracto digestivo superior; sin embargo, en el proventrículo y molleja se lleva a cabo una limitada hidrólisis ácida. La digestión y absorción de las grasas ocurre principalmente en el intestino delgado (Figura 9).



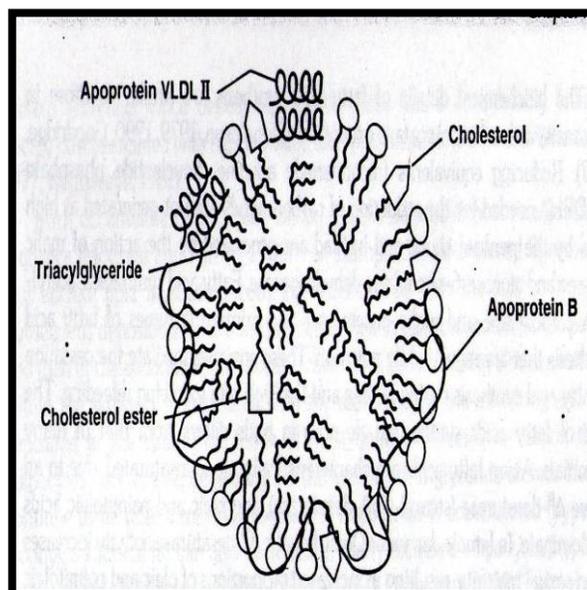
**Figura 9.** Absorción intestinal de la grasa en las aves

Fuente: Leeson y Summers (2001)

---

Después de ingerir la grasa, ésta llega al intestino delgado. La lipasa pancreática descompone los lípidos emulsificados en ácidos grasos, monoglicéridos y glicerol mientras que la colesterol estearasa (también secretada por el páncreas), hidroliza los esteres del complejo colesterol-ácido graso en colesterol y ácidos grasos libres. Los ácidos grasos libres, monoglicéridos y moléculas de colesterol son emulsificados por sales biliares formando micelas, las cuales son esenciales para la absorción normal (Figura 10).

Los componentes insolubles en agua así como los ácidos grasos polares insaturados y monoglicéridos, forman micelas mixtas con sales biliares conjugadas. En el caso de los ácidos grasos saturados (esteárico y palmítico, por ejemplo), los cuales son no polares y tienen altos puntos de fusión, son solubilizados en presencia de micelas mixtas. De esta forma, son solubilizados en la fase acuosa del lumen y transportados a la membrana de células mucosas.



**Figura 10.** Estructura general de una lipoproteína- triglicérido

Fuente: Leeson y Summers (2001)

La digestión es optimizada cuando el contenido de ácidos grasos insaturados es al menos de 80%.

La digestión de las grasas está influenciada por los siguientes factores: (1) la longitud de la cadena de los ácidos grasos, (2) el número de dobles enlaces presentes, (3) la presencia o ausencia de enlaces éster o si la grasa se encuentra en forma de triglicérido o de ácido graso libre, (4) el arreglo específico de los ácidos grasos saturados e insaturados en la molécula de triglicérido, (5) la edad de la gallina, (6) la porción de ácidos grasos saturados e insaturados en la mezcla de ácidos grasos libres, (7) la microflora intestinal, (8) la composición de la dieta y (9) la cantidad y tipo de triglicéridos en la dieta (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Valores de digestibilidad de ácidos grasos, triglicéridos y triglicéridos hidrolizados

Ácido graso	Digestibilidad (%)		Ácido graso	Digestibilidad (%)	
	3-4 semanas	>8 semanas		3-4 semanas	>8 semanas
Laurico (C12:0)	65	-	<i>Triglicéridos hidrolizados:</i>		
Mirístico (C14:0)	25	29	AG´s del aceite de soya	88	93
Palmítico (C16:0)	2	12	AG´s del aceite de maíz	90	92
Esteárico (C18:0)	0	4	AG´s de la manteca de cerdo	82	83
Oleico (C18:1)	88	94	AG´s del sebo de res	82	83
Linoleico (C18:2)	91	95			
<i>Triglicéridos:</i>					
Aceite de soya	96	96			
Aceite de maíz	84	95			
Manteca de cerdo	92	93			
Sebo de res	70	76			
Aceite de arenque	88	97			
Aceite de segunda	87	96			

Fuente: Leeson y Summers (2001)

En el Cuadro 5 se observa que los ácidos grasos más digeribles son los insaturados como el ácido oleico y linoleico. Dichos ácidos grasos están presentes

---

en los aceites vegetales (aceite de soya y maíz) aumentando la digestibilidad de éstos.

## **2.5 Alimentación de gallinas ponedoras**

Una dieta balanceada y altamente digestible (85-90%) debe contener todos los nutrimentos en la cantidad, calidad y proporciones adecuadas. Los ingredientes deben estar disponibles y las dietas deben ser económicas para permitir una ganancia satisfactoria (Cuca, *et al.*, 2009).

Hay componentes básicos fijos empleados en la formulación de un alimento avícola, los cuales son (North *et al.*, 1993):

- Carbohidratos: incluyen granos de cereal y otros ingredientes altos en este macronutriente. Componen la mayor parte de la ración.
- Grasas: generalmente se agregan grasas complementarias para elaborar dietas altas en energía. Además su importancia radica en que aportan ácidos grasos esenciales.
- Subproductos de la molienda: se incluyen los subproductos de trigo, arroz y maíz.
- Material de hojas verdes: los productos de alfalfa desecada, pastos verdes y otras plantas.
- Proteínas de pescado: tales como harinas de pescado.
- Proteína animal: incluye harinas de carne y hueso, harina de subproductos avícolas, subproductos lácteos, etc.
- Proteína vegetal: las pastas que se producen de soja, semilla de algodón, de cacahuate, entre otros. Son la segunda porción más voluminosa de la fórmula.
- Complemento de aminoácidos: se hace un complemento para evitar deficiencia de aminoácidos.

- 
- Macrominerales: éstos son fuentes de calcio, fósforo, sal (NaCl), potasio, magnesio y azufre.
  - Oligoelementos: manganeso, hierro, zinc, cobre, etc.
  - Antibióticos: se emplean como promotores de crecimiento, diferentes a los que tienen fines médicos.
  - Vitaminas: son concentrados vitamínicos complementarios.
  - Antioxidantes: para evitar la rancidez y oxidación.
  - Medicamentos y fármacos: por ejemplo, los coccidiostatos.
  - Otros: incluyen fuentes complementarias de xantofilas, hormonas, enzimas, pelets, sabores y algunos más. Se emplean bajo ciertas condiciones.

En la Cuadro 6 se muestra en forma generalizada algunos patrones de formulación.

**Cuadro 6.** Patrones generales de formulación de alimentos para gallinas de postura

Ingredientes	Semanas de edad	
	0-8 %	8-21 %
Proteicos		
– Vegetales: soya, ajonjolí, cacahuate, cartarina, girasolina, harinolina.	30	16
– Animales: pescado, carne	5	5
Cereales y subproductos		
– Alta energía: maíz, sorgo, trigo, arroz.	46	51
– Baja energía: salvado de trigo y arroz, cebada.	10	18
Minerales		
– Roca fosfórica, harina de hueso, piedra caliza, sal, fosfatos, minerales traza.	3	4
Vitaminas y aditivos		
– Vitaminas sintéticas, levadura, melaza.	6	6

Fuente: Shimada (2003)

El requerimiento del alimento diario para la producción de huevo está basado en la necesidad de energía y proteína del ave (North *et al.*, 1993).

## 2.6 Uso de aceites en la alimentación de las aves

Las grasas y aceites proporcionan una fuente concentrada de energía (Leeson *et al.*, 2005).

Los términos grasas y aceites suelen usarse indistintamente; sin embargo, su distinción se basa en el estado físico que presentan a temperatura ambiente.

---

Las grasas presentan una serie de ventajas que hacen conveniente su inclusión en el alimento: controlan la formación de polvo, mejoran las características organolépticas del alimento e incrementan la concentración energética del alimento. Por el contrario, disminuyen la vida de anaquel del alimento, ya que durante su almacenamiento el oxígeno reacciona con los dobles enlaces de los ácidos grasos formando peróxidos y compuestos secundarios de oxidación, teniendo como consecuencia la rancidez del aceite y reducción de su calidad.

Las grasas tienen un valor energético más alto. Además su importancia radica en que aportan ácidos grasos esenciales como el linoleico, el cual no puede ser sintetizado por las aves. La deficiencia de este ácido graso produce en las aves, pobre crecimiento, hígados grasos; en gallinas de postura disminuye el peso del huevo y en reproductoras la postura es baja. Las necesidades de ácido linoleico son del orden de 1% tanto para pollos como para gallinas en postura, sin embargo, para obtener huevos con pesos óptimos las necesidades son mayores y pueden ser de 1.2 a 2.0% (Cuca *et al.*, 2009).

En la alimentación de las aves se utilizan principalmente aceites de origen vegetal por su alto contenido de ácidos grasos insaturados.

### **2.6.1 Aceite de soya**

El aceite de soya es un producto importante de la industria procesadora de soya, empleado en el sector alimenticio por su alta digestibilidad.

El aceite crudo se obtiene por medio de la extracción con hexano del haba de soya previamente triturada. Posteriormente es refinado, deodorizado y blanqueado para uso comestible (Johnson *et al.*, 1989).

Se caracteriza por su alto contenido de ácido linoleico y su bajo contenido de ácidos grasos saturados, lo que lo hace deseable nutricionalmente. Este aceite posee ventajas importantes:

1. Presenta alto nivel de insaturación
2. Permanece en estado líquido en un amplio rango de temperaturas
3. Posee antioxidantes naturales (tocoferoles) (Erickson *et al.*, 1983).
4. Su precio es menor comparado con los aceites de maíz y girasol

El aceite de soya es la fuente lipídica de mayor uso en animales jóvenes, como pollitos de primera edad debido a su estructura química, insaturación y contenido de triglicéridos (Monari, 1994).

El aceite crudo de soya, que se destina para uso no comestible o industrial contiene más ácidos grasos libres, fosfátidos, sustancias gomosas o mucílagos, pigmentos, fracciones de proteínas, tocoferoles, esteroides y colina.

El proceso de refinado no afecta la composición de ácidos grasos, pero remueve la mayoría de los pigmentos y disminuye el contenido de tocoferoles y esteroides (Erickson *et al.*, 1983) (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Composición promedio del aceite de soya crudo y refinado

	<b>Aceite crudo</b>	<b>Aceite refinado</b>
Triglicéridos, %	95-97	>99
Fosfátidos, %	1.5-2.5	0.045
Material no saponificable, %	1.6	0.3
Esteroides, %	0.33	0.13
Tocoferoles, %	0.15-0.21	0.11-0.18
Hidrocarburos, %	0.01	0.01
Ácidos grasos libres, %	0.03-0.7	<0.05
Hierro (ppm)	1.3	0.1-0.3
Cobre (ppm)	0.03-0.05	0.02-0.06

Fuente: Erickson *et al.* (1983)

Los triglicéridos del aceite de soya contienen ácidos grasos tanto saturados como insaturados. La composición promedio de ácidos grasos se presenta en el Cuadro 8.

**Cuadro 8.** Composición de ácidos grasos del aceite de soya

Ácido graso	Porcentaje promedio	Ácido graso	Porcentaje promedio
Saturados		Insaturados	
Laúrico	0.1	Palmitoleico	0.3
Mirístico	0.2	Oleico	22.8
Pamítico	10.7	Linoléico	50.8
Esteárico	3.9	Linolénico	6.8
Araquídico	0.2	<b>Total</b>	<b>80.7</b>
<b>Total</b>	<b>15.0</b>		

Fuente: Erickson *et al.* (1983)

### 2.6.2 Aceites acidulados o “soapstocks”

El aceite acidulado es un subproducto que se obtiene de la refinación alcalina de los aceites vegetales comestibles (Woerfel, 1983). Son obtenidos a través de la refinación alcalina del aceite crudo para producir jabón de sodio, aceite neutro, agua, esteroides, fosfatos orgánicos, polialcoholes, pigmentos, hidratos de carbono y material proteínico. La refinación alcalina se emplea ampliamente en el sector alimenticio pero tiene varias desventajas: el proceso es caro y lento, además de que los residuos generados contaminan el ambiente. (Pardio *et al.*, 2005). Durante el proceso se separan los ácidos grasos libres, responsables de la acidez de los aceites, mediante la adición de hidróxido de sodio, posteriormente se separan las dos fases por centrifugación y decantación, teniendo como producto pastas sódicas las cuales se neutralizan con ácido

---

sulfúrico para finalmente obtener los aceites acidulados (Espuny, 1986). El acidulado se lava con agua para eliminar el exceso de ácido sulfúrico, se seca y limpia por decantación para obtener el aceite acidulado comercial. Se vende como suplemento alimenticio animal. Su contenido de lípidos debe ser de 97% y con una humedad inferior al 3% (Zumbado *et al.*, 1994).

La mayor diferencia entre el aceite y el subproducto es que éste último presenta mayor contenido de ácidos grasos libres (>50%).

Por otro lado, debido al proceso de obtención, se requieren controles de calidad rigurosos para evitar contaminación, exceso de humedad, presencia de impurezas y acidez (Espuny, 1986).

### **Propiedades de los aceites acidulados**

Su aspecto es más oscuro que el aceite del cual procede debido a la retención y concentración de los colorantes durante la refinación. A temperatura ambiente la consistencia varía de acuoso a viscoso.

La energía metabolizable verdadera de los aceites acidificados de soya son cercanos a los del aceite crudo,  $8.11 \pm 0.05$  y  $8.99 \pm 0.24$  Kcal g<sup>-1</sup>, respectivamente (Narciso *et al.*, 2002).

El aceite acidulado de soya es rico en ácidos grasos (58.6 %), material no saponificable (2%), fosfolípidos (12.6 %) y pigmentos (principalmente carotenoides y xantofilas, (910 mg/Kg) (Pardío *et al.*, 2005).

### **Usos de los aceites acidulados**

Sus aplicaciones son diversas, ya que son empleados como fuente nutritiva para microorganismos, como materia prima para reacciones químicas, como fertilizante y, recientemente, como ingrediente en la formulación de alimentos balanceados, por ejemplo se puede agregar a la carne para aumentar su contenido energético y reducir el polvo. (Pardío *et al.*, 2005). Aunado a esas aplicaciones, este subproducto puede ser considerado como sustituto de los

---

aceites de maíz y soya empleados en la formulación de dietas para aves por su alto contenido en ácidos grasos y bajo precio.

Existen variaciones en el contenido de nutrimentos de los aceites acidulados, ya que éste depende del contenido, proporción, grado de saturación y longitud de la cadena de los ácidos grasos, proporción de los ácidos grasos libres, entre otras (Cuca *et al.*, 2009). En la última década se han hecho investigaciones empleando varios tipos de aceites, desde los marinos hasta los vegetales. Sin embargo, los estudios realizados con aceites acidulados en gallinas ponedoras son pocos. Fraga *et al.*, (1987) recomiendan la inclusión de 2 – 10% de jaboncillo de aceite de girasol sin acidular en los piensos de ponedoras basados en trigo, lo que reduce los costos de alimentación y del huevo para consumo humano. Por otro lado, Blanch y Barroeta (1996), evaluaron nueve aceites y grasas: sebo, aceite de palma, aceite acidulado de soya, manteca de cerdo, aceite de soya y aceite de linaza, concluyendo que no es recomendable utilizar el aceite acidulado de soya como única fuente energética debido al alto contenido de ácidos grasos libres. Además concluyeron que es posible mejorar la utilización de los aceites acidulados cuando son mezclados con grasas saturadas con bajo contenido en ácidos grasos libres.

Además del efecto de los aceites acidulados en el perfil de ácidos grasos, Pardío y Landín (2001) reportan que el aceite acidulado de soya es rico en pigmentos amarillos y que pueden ser utilizados como sustitutos del aceite vegetal.

---

### III. JUSTIFICACIÓN

A través de los años, el huevo se ha convertido en un alimento indispensable en la dieta de los mexicanos, por lo que se ha considerado un vehículo para hacer llegar los beneficios de los ácidos grasos insaturados a la población. El huevo de gallina es considerado un alimento multifuncional porque contiene nutrimentos esenciales (proteína de excelente calidad, ácidos grasos esenciales, ácido fólico, vitaminas), posee componentes que brindan efectos benéficos adicionales al consumidor (colina, luteína y zeaxantina) y cuenta con propiedades funcionales (propiedad coagulante, espumante y emulsionante). Se caracteriza por su alta densidad nutritiva, bajo costo y versatilidad a nivel culinario.

El crecimiento mundial de la industria avícola requiere grandes cantidades de grasa como fuente de energía en dietas para gallinas y con precio justificable. Uno de los ingredientes empleados para proporcionar energía son los aceites, particularmente el aceite de soya. Sin embargo, este aceite es de alto costo por lo que se propone el uso de aceite acidulado de soya, como alternativa a su uso.

El aceite acidulado es similar al aceite crudo de soya, su contenido de ácidos grasos es considerable, la energía metabolizable cumple con los parámetros necesarios para el desarrollo de la gallina y producción de huevo y su costo es inferior al del aceite de soya.

Debido a que los aceites son la principal fuente de energía en la dieta de las gallinas ponedoras, es importante saber cómo se afectará el contenido de lípidos totales y la composición en ácidos grasos del huevo, al sustituir el aceite crudo de soya por el acidulado de soya.

Por otra parte es necesario establecer si el contenido de ácidos grasos permanece estable a lo largo de todo el primer ciclo de postura de las aves. Lo anterior es importante porque permite reducir el número de análisis químicos y así, disminuir notablemente los costos de las investigaciones, así como la eficiencia en el uso de los recursos.

---

## **IV. OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Comparar el efecto que tiene el utilizar aceite crudo y aceite acidulado de soya en dietas para gallinas sobre el contenido de lípidos totales y ácidos grasos en huevo durante el primer ciclo de postura con el fin de saber si el aceite acidulado, el cual es más económico, podrá sustituir al aceite crudo de soya.

### **Objetivos particulares**

- Elaborar dietas para gallinas de postura incluyendo 2 y 4% de aceite crudo de soya y 2 y 4% de aceite acidulado de soya.
- Evaluar el efecto sobre las variables productivas en gallinas alimentadas con dietas incluyendo los dos aceites.
- Cuantificar lípidos totales y perfil de ácidos grasos en huevo de gallinas alimentadas con aceite crudo de soya y aceite acidulado de soya.
- Determinar el efecto que el tiempo de alimentación y nivel de inclusión de los dos aceites tienen sobre el contenido lipídico y perfil de ácidos grasos en el huevo.

## **V. HIPÓTESIS**

Emplear el aceite crudo de soya y el aceite acidulado de soya en la dieta de gallinas ponedoras no afecta las variables productivas de las aves, ni modifica el contenido de lípidos totales y perfil de ácidos grasos en el huevo durante todo el primer ciclo de postura. Por lo tanto puede usarse uno u otro en la formulación de las dietas para gallinas ponedoras.

---

## **VI. MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente estudio forma parte del proyecto “Efecto de tres acidulados de soya y aceite crudo de soya en la producción de gallinas *Bovans white*”, el cual es realizado en forma conjunta por la Universidad Autónoma de Chapingo y el Departamento de Nutrición Animal del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán (INNCMSZ).

### **6.1 Obtención de los aceites**

Se emplearon dos tipos de aceite: aceite crudo de soya y aceite acidificado de la localidad de Yecapixtla, Morelos. Ambos aceites se mantuvieron en refrigeración a una temperatura de 4 °C y contenían como antioxidante BHT en una concentración de 200 ppm. Posteriormente se trasladaron en botes cerrados al INNCMSZ para su análisis.

### **6.2 Análisis químicos de los aceites y huevos de gallina**

Determinación de lípidos totales y perfil de ácidos grasos por los métodos estandarizados descritos por la AOAC (2002) (métodos 34.1.08 y 41.1.28).

Para el perfil de ácidos grasos, se utilizó un cromatógrafo de gases *Varian 3400CX* equipado con una columna DB23 (30m x 0.25 mm di), un automuestreador y un detector de ionización de flama (FID). El gas acarreador fue nitrógeno, aplicando un flujo de 30 mL/min. Los tiempos de retención fueron comparados con un estándar interno que fue el ácido miristoleico.

### **6.3 Ensayo biológico**

Se utilizaron 160 gallinas *Bovans White* de 30 semanas de edad, las cuales se distribuyeron al azar en grupos homogéneos repartidas en 4 tratamientos con 5 repeticiones de 8 gallinas cada una. Constituyendo cada repetición una unidad

---

experimental. El agua y el alimento se proporcionaron a libre acceso durante las 12 semanas de experimentación.

Durante el ensayo se midieron diariamente las variables productivas: porcentaje de postura, peso de huevo, masa de huevo, consumo de alimento y conversión alimenticia, resumiendo los datos por semana.

#### **6.4 Preparación de las dietas**

Se elaboraron 4 dietas de las cuales dos contenían aceite crudo de soya y dos aceite acidulado de soya, ambos en dos niveles de inclusión: 2% y 4%. Los tratamientos quedaron de la siguiente manera:

AS 2% = 2% aceite crudo de soya

AS 4% = 4% aceite crudo de soya

Acid 2% = 2 % aceite acidulado de soya

Acid 4% = 4% aceite acidulado de soya

Los aceites se suministraron mezclados con sorgo, como vehículo, en la siguiente proporción: sorgo-aceite 95:5, 90:10 y 85:15.

Las dietas se formularon de acuerdo a las necesidades para gallinas ponedoras señaladas por el NRC (1994) y con el programa NUTRION Windows TM ver. 5.0 Pro (Comercializadora de Software S.A. de C.V) (Cuadro 9).

La duración del ensayo fue de 12 semanas, realizando los análisis de cada tratamiento en las semanas 1, 4, 8 y 12 del experimento; por lo que el estudio concluyó a las 55 semanas de edad de las gallinas.

**Cuadro 9.** Composición de las dietas experimentales

<b>Ingredientes (%)</b>	<b>AS 2%</b>	<b>AS 4%</b>	<b>Acid 2%</b>	<b>Acid 4%</b>
	100 Kg			
Sorgo (8.3% PC)	63,49	57,45	64,08	58,63
Pasta soya (45.8 PC)	22,32	22,97	22,26	22,85
Arena	0,52	3,89	0	2,84
Acidulado de soya	0	0	2	4
Aceite crudo de soya	2	4	0	0
DL-Metionina	0,32	0,33	0,32	0,33
CaCO <sub>3</sub> (38%)	10,05	10,04	10,06	10,04
Fosfato dicalcico (18/21)	0,49	0,53	0,49	0,52
Prem. Vitaminas	0,13	0,13	0,13	0,13
Prem. Minerales	0,12	0,12	0,12	0,12
Pigmento	0,15	0,15	0,15	0,15
Sal	0,35	0,35	0,35	0,35

### **6.5 Análisis químico del huevo de gallina**

Al final de las 12 semanas de experimentación, se colectaron 4 huevos por repetición de cada tratamiento y se formó un *pool* (yema + clara) de 4 huevos, se homogeneizaron manualmente (clara y yema) y se mantuvieron en congelación (4 °C) hasta su análisis.

Los resultados de lípidos totales se reportan en g/100 de huevo fresco, mientras que los ácidos grasos se reportan como % del total de esteres metílicos de los ácidos grasos (%TAG).

---

## **6.6 Análisis estadístico**

El análisis estadístico empleado para las variables lípidos totales y ácidos grasos fue un análisis de varianza conforme a un diseño factorial  $4 \times 2 \times 2$ , donde los factores fueron: tiempo, tipo de aceite y nivel de inclusión de los mismos. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey con una significancia de 0.05%. El manejo de los datos fue por medio del paquete estadístico SAS versión 6.12 (SAS Institute Inc).

---

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 Perfil de ácidos grasos de los aceites

En el Cuadro 10 se muestra la composición en ácidos grasos de los dos aceites utilizados en el estudio.

**Cuadro 10.** Perfil de ácidos grasos en los aceites

	<b>Aceite crudo de soya</b>	<b>Aceite acidulado</b>
<b>Ácido graso (%)</b>		
Mirístico (C14:0)	0.11 ± 0.01	2.78 ± 0.15
Palmitico (C16:0)	11.74 ± 0.14	18.22 ± 0.15
Palmitelaidico (C16:1)	N.D.	0.19 ± 0.01
Palmitoleico (C16:1)	0.18 ± 0.10	1.53 ± 0.02
Heptadecanoico (C17:0)	0.11 ± 0.01	1.10 ± 0.03
Cis 10-heptadecenoico (C17:0)	N.D.	0.54 ± 0.01
Estearico (C18:0)	4.17 ± 0.24	19.88 ± 0.31
Elaidico (C18:1)	N.D.	7.04 ± 0.13
Oleico (C18:1)	22.36 ± 2.22	38.88 ± 0.28
Cis-vaccenico (C18:1)	0.87 ± 0.20	0.59 ± 0.01
Linoléico (C18:2 ω 6)	51.09 ± 0.42	3.95 ± 0.15
Alfa- linolénico (C18:3 ω3)	7.52 ± 0.10	0.23 ± 0.01
Araquídico (C20:0)	0.32 ± 0.02	0.51 ± 0.06
Eicosenoico (C20:1)	0.23 ± 0.03	0.56 ± 0.06
Eicosapentaenoico (C20:5 ω3)	0.36 ± 0.01	N.D.
Otros ácidos grasos	0.86	3.09
Total saturados (%)	16.50	42.49
Total monoinsaturados (%)	23.67	49.54
Total poliinsaturados (%)	58.97	4.88

---

---

El porcentaje total de los ácidos grasos saturados y monoinsaturados son mayores en el aceite acidulado, lo contrario sucede con los ácidos grasos poliinsaturados, particularmente con el ácido linoleico. Sin embargo, presenta un alto contenido en ácido oleico. El porcentaje de ácido linoleico reportado por Waliszewski (1987) es de 35.2% en el aceite acidulado de soya, lo cual es 9 veces más lo encontrado en el presente estudio.

El aceite crudo de soya es una excelente fuente del ácido graso esencial, ácido linoleico y presenta un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados totales (Erickson *et al.*, 1983).

El porcentaje total de ácidos grasos monoinsaturados en el aceite acidulado concuerda con lo publicado por Pardío y Landín (2005), quienes obtuvieron 50.77%, pero difiere en lo que respecta a los ácidos grasos saturados e insaturados, ya que dichos autores obtuvieron concentraciones de 25.94% y 23.29%, respectivamente.

Las diferencias en el perfil de ácidos grasos pueden deberse al método de procesamiento, ya que los aceites acidulados se obtienen mediante un proceso agresivo en el que se emplean álcalis y ácidos modificando las moléculas de triglicéridos.

En un estudio realizado por Dowd (1998) explica que la concentración de ácidos grasos saturados es superior en el aceite acidulado debido a que en varios aceites vegetales (maíz, algodón, girasol y soya) los AG's saturados se ubican en las posiciones 1 y 3 de los triglicéridos, siendo liberados por hidrólisis de las sustancias químicas y enzimáticas, la cual se lleva a cabo generalmente en estas posiciones.

## 7.2 Variables productivas

Utilizar los aceites de soya y acidulado en la dieta de las gallinas ponedoras en niveles de 2 y 4% de la ración, no afectó de manera alguna las variables productivas de las aves ( $P < 0.05$ ), durante el primer ciclo de postura (Cuadro 11).

Lo que concuerda con lo señalado por otros autores (Cuca *et al.*, 2009), quienes han sugerido que el aceite acidulado de soya es un ingrediente energético que se puede emplear en dietas para pollos de engorda sin afectar la respuesta productiva de las aves siempre que se use un valor apropiado de energía metabolizable.

**Cuadro 11.** Variables productivas en 12 semanas de experimentación

	<b>AS 2%</b>	<b>AS 4%</b>	<b>Acid. 2%</b>	<b>Acid. 4%</b>
<b>Porcentaje de postura (%)</b>	96.1	93.5	94.0	93.8
<b>Peso de huevo(g)</b>	58.9	60.3	59.1	59.1
<b>Masa de huevo(g) Ave/día</b>	56.6	56.3	55.4	55.3
<b>Consumo de alimento (g) Ave/día</b>	103.2	102.3	102.7	101.9
<b>Conversión alimenticia</b>	1.84	1.83	1.81	1.86

En lo que respecta al peso del huevo, el promedio de el tratamiento con aceite de soya 2% fue de 58.9 g, el de aceite de soya 4% fue 60.3 g y los tratamientos con aceite acidulado 2 y 4% fueron de 59.1 g. De acuerdo a la Norma Mexicana (NMX-FF-079-SCFI-2004) (NMX, 2004), el huevo de todos los tratamientos, sería considerado de tamaño mediano (Cuadro 12).

**Cuadro 12.** Clasificación del huevo de acuerdo al peso en México

<b>Categoría</b>	<b>Peso (g)</b>
Extra grande	> 64
Grande	> 60 hasta 64
Mediano	> 55 hasta 60
Chico	> De 50 hasta 55
Canica	< ó = a 50

Fuente: NMX, 2004

### **7.3 Contenido de lípidos totales en el huevo de gallinas alimentadas con dietas suplementadas con aceite crudo de soya y acidulado de soya**

En el Cuadro 13, se presenta el efecto de los factores: tiempo, tipo de aceite y nivel de inclusión, sobre el contenido de lípidos totales en el huevo. Así mismo se muestran 4 tipos de interacciones:

1. Tiempo/tipo de aceite
2. Tiempo/nivel de inclusión
3. Tipo de aceite/nivel de inclusión
4. Tiempo/tipo de aceite/nivel de inclusión

Es necesario puntualizar que solamente se utilizaron para la discusión de los resultados obtenidos aquellas interacciones que mostraron significancia menor a 0.05 ( $P < 0.05$ ).

Las interacciones se refieren a la conjunción de dos o tres factores, lo cual indica que si se desea modificar el contenido de la fracción (lípidos totales o ácidos grasos) se deben cambiar los factores implicados en la interacción. En el Cuadro 14 se observa una triple interacción ( $P < 0.05$ ) lo que indica que al conjuntarse estos tres factores (tiempo/tipo de aceite/nivel de inclusión) el contenido de lípidos totales en el huevo se ve afectado significativamente.

**Cuadro 13.** Efecto del tiempo, tipo de aceite y nivel de inclusión sobre la concentración de lípidos totales en el huevo

	<b>Lípidos totales (g/100g)</b>
<i>A) Tiempo (semanas)</i>	
1	10.03 <sup>b</sup>
4	9.98 <sup>b</sup>
8	10.26 <sup>a</sup>
12	10.15 <sup>ab</sup>
SEM	0.097
<i>B) Tipo de aceite</i>	
-Aceite crudo de soya	10.11 <sup>a</sup>
-Aceite acidulado de soya	10.10 <sup>a</sup>
SEM	0.097
<i>C) Nivel de inclusión</i>	
2%	10.16 <sup>a</sup>
4%	10.04 <sup>b</sup>
SEM	0.097
Interacciones	
Tiempo * Tipo de aceite	0.0001
Tiempo * Nivel de inclusión	0.0296
Tipo de aceite * Nivel de inclusión	0.0001
Tiempo*Tipo de aceite*Nivel de inclusión	0.0001

a,b,c Literales distintas en cada factor indican diferencia estadística (P<0.05).

SEM = Error Estándar de la Media

De acuerdo a las condiciones experimentales a partir de la octava semana el contenido de lípidos totales se estabilizó (Cuadro 13). El tipo de aceite no influyó en la cantidad de lípidos totales.

---

Respecto al nivel de inclusión, se obtuvo una mayor cantidad de lípidos totales en el huevo, cuando se suministró 2%, de estos aceites en la dieta. En cuanto al nivel de inclusión existen dos vertientes, algunos autores recomiendan que los aceites acidulados sean incorporados a la dieta en pequeñas cantidades (aproximadamente 3.5%) debido a que se pueden presentar dificultades en su digestión (Bock *et al.*, 1991). Sin embargo, Viera *et al.* (2002) reportan que puede incluirse hasta un 8% de aceite acidulado de soya. En el presente trabajo los resultados indican que el nivel de inclusión más adecuado es de 2% concordando con la primera publicación.

En los resultados se observa que el contenido de lípidos totales se ubica en un intervalo de 9.98 a 10.26, por lo que la diferencia es baja. En un estudio realizado por Rocha (2006), en el que se suministraron en la dieta aceite de sardina junto con diferentes algas marinas (*M. pyrifera*, *S. sinicola* y *Enteromorpha spp.*) se obtuvo un intervalo mayor de 10.29 a 11.52 g/100g.

Es importante señalar que en esta fracción, se consideran los lípidos en general (fosfolípidos, triglicéridos, colesterol y pigmentos), y no se distingue el componente lipídico específico cuantificado. Casi la totalidad de los lípidos en el huevo se localizan en la yema en forma de lipoproteínas asociados con vitelina y vitelenina. La yema contiene un 63% de lípidos en base seca, de los cuales casi un 30% son fosfolípidos, 63% son triglicéridos, 4.9% está en forma de colesterol libre, 1.3% es colesterol esterificado y 1% conformado por vitaminas y pigmentos (Grobas y Mateos, 1996).

En cuanto al perfil de ácidos grasos se reportan aquellos que presentaron un contenido mayor al 1%, por lo que los siguientes ácidos grasos no se tomaron en cuenta para el análisis estadístico:

- Mirístico (C14:0)
- Alfa linolenico (C18:3n3)
- Eicosapentaenoico (C20:5n3)

- 
- Docosapentaenoico (C22:5n3)
  - Pentadecanoico (C15:1)
  - Gama linoleico (C18:3)
  - CLA c9,t11 y c11,t9 (C18:2)
  - Eicosenoico (C20:1)
  - Cis10-pentadecenoico (C15:1)
  - Palmitelaidico (C16:1)
  - Heptadecanoico (C17:0)
  - Cis10-hepadecenoico (C17:1)
  - Elaidico (C18:1 Trans)
  - Cis-11,14 eicosadienoico (C20:2)
  - Cis-11,14,17 eicosadienoico (C20:3)
  - Cis-8,11,14 eicosadienoico (C20:3)

Por lo tanto, los AG's con los que se hizo el análisis estadístico se presentan a continuación:

- Saturados:
  - Ácido palmítico (C16:0)
  - Ácido esteárico (C18:0)
- Monoinsaturados:
  - Ácido palmitoleico (C16:1)
  - Ácido oleico (C18:1)
- Poliinsaturados:
  - Ácido linoleico (C18:2n-6)
  - Ácido araquidónico (C20:4n-6)
  - Ácido docosahexanoico (C22:6n-3)

---

#### **7.4 Perfil de ácidos grasos saturados en el huevo de gallinas alimentadas con dietas suplementadas con aceite crudo de soya y acidulado de soya**

De esta fracción los AG's que se reportan son los ácidos palmítico y esteárico los cuales no presentaron diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) a partir de la semana 4. (Cuadro 14).

El ácido palmítico aumenta a partir de la semana cuatro y no presenta diferencia hasta el final del estudio, por lo que en este caso el factor tiempo no influyó significativamente ( $P > 0.05$ ). Para la variable de tipo de aceite, se encontró diferencia estadística ( $P < 0.05$ ) presentando la mayor concentración para el aceite acidulado, siendo congruente este resultado ya que el aceite acidulado lo contiene en mayor cantidad (18.22%). Finalmente para el nivel de inclusión, también presentó diferencia estadística ( $P < 0.05$ ), sin embargo, la mayor concentración se encontró en las muestras de huevo provenientes de las gallinas alimentadas con 2% de inclusión.

El metabolismo de los lípidos en la gallina se lleva a cabo mediante interconversiones entre ácidos grasos, producida por elongaciones y desaturaciones. El ácido palmítico se genera por la elongación de la cadena carbonada al combinarse sucesivas veces el malonil-CoA con el acetil-CoA, mediante el complejo enzimático ácido graso sintasa (Nelson y Cox, 2004). Cuando el ácido palmítico es liberado del complejo multienzimático, puede ser elongado dando lugar al ácido esteárico o desaturando al ácido palmitoleico (De Blas *et al.*, 1991; Ayerza y Coates, 2000).

**Cuadro 14.** Efecto del tiempo, tipo de aceite y nivel de inclusión sobre la concentración de ácidos grasos saturados

	<b>Ácido palmítico (C16:0)</b>	<b>Ácido esteárico (C18:0)</b>
<i>A) Tiempo</i>		
1	24.93 <sup>b</sup>	8.74 <sup>a</sup>
4	25.50 <sup>ab</sup>	8.34 <sup>b</sup>
8	25.87 <sup>a</sup>	8.23 <sup>b</sup>
12	25.77 <sup>ab</sup>	8.41 <sup>b</sup>
SEM	2.32	0.242
<i>B) Tipo de aceite</i>		
-Aceite crudo de soya	25.20 <sup>b</sup>	8.70 <sup>a</sup>
-Aceite acidulado de soya	25.84 <sup>a</sup>	8.16 <sup>b</sup>
SEM	2.32	0.242
<i>C) Nivel de inclusión</i>		
2%	25.82 <sup>a</sup>	8.30 <sup>b</sup>
4%	25.21 <sup>b</sup>	8.57 <sup>a</sup>
SEM	2.32	0.242
Interacciones		
Tiempo * Tipo de aceite	0.0080	0.1524
Tiempo * Nivel de inclusión	0.0347	0.3483
Tipo de aceite * Nivel de inclusión	0.8937	0.0011
Tiempo*Tipo de aceite*Nivel de inclusión	0.1581	0.0090

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

SEM = Error Estándar de la Media

---

El porcentaje de ácido palmítico se acrecienta con la dieta que contiene aceite acidulado de soya, sin embargo, los estudios realizados con dietas ricas en ácidos grasos poliinsaturados omega 3 como linaza (Caston y Leeson, 1990) y aceite de arenque (Van Elswyk *et al.*, 1992), no causan un cambio en el contenido de dicho ácido graso.

Las interacciones que afectaron la concentración de ácido palmítico fueron principalmente tiempo/tipo de aceite, seguido de tiempo/nivel de inclusión.

El ácido esteárico, mostró el mismo comportamiento en el tiempo de alimentación que el ácido palmítico; mientras que tipo de aceite y nivel de inclusión tuvieron un comportamiento inverso al palmítico.

El ácido esteárico comenzó a disminuir a partir de la cuarta semana de alimentación. Esta reducción puede ser una ventaja, ya que este ácido graso es considerado hipercolesterolemico, aunque en menor grado comparado con el ácido palmítico (Nelson, 2004; Katan *et al.*, 1995).

También se observa en el Cuadro 14 que el ácido esteárico presenta un mayor porcentaje con aceite crudo de soya y 4% de inclusión. En este caso, se presenta una interacción entre las 3 variables: tiempo/tipo de aceite/nivel de inclusión. El tiempo de alimentación es un factor que influye en la deposición de ácidos grasos en los primeros días, ya que a medida que la gallina consume la dieta, el perfil de ácidos grasos del huevo va cambiando paulatinamente hasta estabilizarse a los 12-15 días (Ohtake y Hoshino, 1976).

Es importante puntualizar que el contenido de ácidos grasos saturados del aceite acidulado de soya es mayor al aceite crudo de soya (Cuadro 14), lo cual se refleja en los porcentajes de palmítico y esteárico. Sin embargo, estas concentraciones no son asunto que deban preocupar ya que están muy por debajo de las concentraciones presentes en los alimentos considerados con altos niveles de grasas saturadas, como en cebo, manteca o aceite de palma.

---

La presencia de grasas saturadas en la dieta es vital para la transferencia de pigmentos del alimento a la yema y para mantener el balance con los ácidos grasos insaturados (Leeson y Summers, 2005).

Estudios han demostrado que los cambios en la composición del huevo puede hacerse evidente a partir de la tercera semana de alimentación (Kuang-Chow, 2000). Lo anterior se puede confirmar en los resultados de los cuadros 14, 15 y 16 ya que a partir de la cuarta semana de alimentación, la cantidad de ácidos grasos en el huevo se modifica, considerando que los porcentajes de la primera semana indican un periodo de adaptación a la dieta.

#### **7.5 Perfil de ácidos grasos monoinsaturados en el huevo de gallinas alimentadas con dietas suplementadas con aceite crudo de soya y acidulado de soya**

En el caso de los ácidos grasos monoinsaturados se reporta la concentración del palmitoleico y oleico (Cuadro 15).

En cuanto al factor tiempo, el palmitoleico presenta un aumento en la semana 8 de alimentación. Además el tipo de aceite provoca una diferencia significativa, siendo mayor en el aceite acidulado de soya ya que este presenta en su composición de AG's la mayor concentración de éste ácido. Por otro lado, la mayor concentración de éste ácido fue al 2% de inclusión.

de buena calidad (Wiseman y Salvador, 1989). En este estudio el menor nivel de inclusión muestra mayores concentraciones de ácidos monoinsaturados.

**Cuadro 15.** Efecto del tiempo, tipo de aceite y nivel de inclusión sobre la concentración de ácidos grasos monoinsaturados en el huevo

	<b>Ácido palmitoleico (C16:1)</b>	<b>Ácido oleico (C18:1)</b>
<i>A) Tiempo</i>		
1	2.86 <sup>c</sup>	41.78 <sup>a</sup>
4	3.04 <sup>bc</sup>	42.27 <sup>a</sup>
8	3.33 <sup>a</sup>	41.45 <sup>a</sup>
12	3.09 <sup>b</sup>	41.86 <sup>a</sup>
SEM	0.126	2.761
<i>B) Tipo de aceite</i>		
-Aceite crudo de soya	2.65 <sup>b</sup>	38.94 <sup>b</sup>
-Aceite acidulado de soya	3.50 <sup>a</sup>	44.74 <sup>a</sup>
SEM	0.126	2.761
<i>C) Nivel de inclusión</i>		
2%	3.34 <sup>a</sup>	41.97 <sup>a</sup>
4%	2.82 <sup>b</sup>	41.71 <sup>a</sup>
SEM	0.126	2.761
<b>Interacciones</b>		
Tiempo * Tipo de aceite	0.0001	0.0001
Tiempo * Nivel de inclusión	0.0001	0.4513
Tipo de aceite * Nivel de inclusión	0.0087	0.0001
Tiempo*Tipo de aceite*Nivel de inclusión	0.0472	0.0084

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

SEM= Error Estándar de la Media

---

En cuanto al ácido oleico, tanto la variable tiempo con nivel de inclusión se mantuvieron estables, no así para el tipo de aceite que fue mejor para el acidulado.

En ambos ácidos grasos monoinsaturados, palmitoleico y oleico, existió interacción entre las tres variables estudiadas. La conjunción de las tres variables afecta el contenido de ambos monoinsaturados; el nivel de inclusión afecta la digestibilidad de la grasa, ya que cuanto mayor es el nivel de inclusión menor es digestibilidad (Wiseman y Cole, 1987). Este hecho puede ser discutible con grasas

Los resultados obtenidos por Pardío *et al* (2005) son distintos a los obtenidos en el presente estudio, ya que estos autores no encontraron efecto en la concentración de ácidos grasos monoinsaturados en yemas de gallinas alimentadas con aceite acidulado de soya administrado en diferentes concentraciones (25%, 50%, 75% Y 100%). En contraste, cuando se han empleado otros ingredientes como aceites o harinas de pescado y aceite de linaza (Simopoulus, 2000; Grobas et al, 2001) la concentración de ácido oleico disminuyó en un 25%. Las variaciones citadas pudieran deberse entonces al tipo de grasa adicionada en la dieta.

El aceite acidulado de soya tiene altos contenidos en ácido esteárico, por lo cual puede explicarse el alto porcentaje en ácido oleico ya que el esteárico puede sufrir desaturaciones en el hígado convirtiéndose en C18:1. Dicho ácido tiene un papel importante en la absorción del ácido palmítico al formar micelas con las sales biliares, facilitando de esta manera su digestión (Leeson y Summers, 2001).

---

## **7.6 Perfil de ácidos grasos poliinsaturados en el huevo de gallinas alimentadas con dietas suplementadas con aceite crudo de soya y acidulado de soya**

Los AG's poliinsaturados que se reportan son tres: ácido linoleico, ácido araquidónico y ácido docosahexanoico (Cuadro 16).

En cuanto al tiempo, el linoleico aumento a partir de la cuarta semana de alimentación y no presenta diferencia significativa hasta el final del estudio. Respecto al tipo de aceite, se encontró diferencia estadística ( $P<0.05$ ) presentando mayor concentración para el aceite crudo de soya, siendo coherente este resultado debido a que el aceite crudo lo contiene en mayor cantidad (51.09%).

En la variable de nivel de inclusión también se encontró diferencia estadística ( $P<0.05$ ), presentando la mayor concentración en huevo de gallinas alimentadas con el mayor nivel de inclusión (4%).

En este poliinsaturado se indica que hay interacción triple ( $P<0.05$ ), por lo tanto si se desea modificar este ácido graso, es necesario tomar en cuenta el tiempo de alimentación, tipo de aceite y el nivel de inclusión.

Las aves pueden sintetizar ácidos grasos de hasta 18 átomos de carbono e introducir dobles enlaces en las posiciones 7 o 9 de la cadena carbonada (contando a partir del grupo metilo), mediante la acción de una enzima denominada  $\Delta 9$  desaturasa, dando lugar a las familias del ácido palmitoleico (n-7) y del ácido oleico (n-9). Sin embargo, los animales no poseen enzimas capaces de insertar dobles enlaces entre el carbono 9 y el grupo metilo terminal por lo que los ácidos grasos con dobles enlaces en ese reglón son necesarios en la dieta y se denominan ácidos grasos esenciales (Enser, 1984). El ácido graso esencial más característico es el linoleico (C18:2 n-6), precursor de la familia n-6 de ácidos grasos poliinsaturados. Del ácido linoleico derivan el ácido eicosapentanoico (EPA) y el ácido docosahexanoico (DHA).

**Cuadro 16.** Efecto del tiempo, tipo de aceite y nivel de inclusión sobre la concentración de ácidos grasos poliinsaturados

	<b>Ácido linoleico (C18:2n-6)</b>	<b>Ácido araquidónico (C20:4n-6)</b>	<b>Ácido docosahexanoico (C22:6n-3)</b>
<i>A) Tiempo</i>			
1	12.58 <sup>b</sup>	2.10 <sup>a</sup>	1.11 <sup>a</sup>
4	13.35 <sup>a</sup>	1.75 <sup>b</sup>	1.14 <sup>a</sup>
8	12.88 <sup>ab</sup>	1.77 <sup>b</sup>	1.14 <sup>a</sup>
12	13.20 <sup>a</sup>	1.77 <sup>b</sup>	1.13 <sup>a</sup>
SEM	1.059	0.233	0.044
<i>B) Tipo de aceite</i>			
-Aceite crudo de soya	16.23 <sup>a</sup>	1.97 <sup>a</sup>	1.11 <sup>a</sup>
-Aceite acidulado de soya	9.78 <sup>b</sup>	1.72 <sup>b</sup>	1.15 <sup>a</sup>
SEM	1.059	0.233	0.044
<i>C) Nivel de inclusión</i>			
2%	12.44 <sup>b</sup>	1.93 <sup>a</sup>	1.13 <sup>a</sup>
4%	13.57 <sup>a</sup>	1.76 <sup>b</sup>	1.12 <sup>a</sup>
SEM	1.059	0.233	0.044
<b>Interacciones</b>			
Tiempo * Tipo de aceite	0.0001	0.8315	0.6042
Tiempo * Nivel de inclusión	0.0001	0.0358	0.7216
Tipo de aceite * Nivel de inclusión	0.0001	0.7873	0.0001
Tiempo*Tipo de aceite*Nivel de inclusión	0.0001	0.3010	0.1746

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

SEM= Error Estándar de la Media

---

El ácido araquidónico disminuyó a partir de la primera semana, manteniéndose constante hasta la semana 12. El porcentaje fue menor cuando se empleó aceite acidulado de soya en la dieta y de acuerdo al nivel de inclusión, fue menor con un 4%. Además se mostró que no hay interacción entre las tres variables ( $P < 0.05$ ).

El aceite crudo de soya contiene un alto porcentaje de ácido linoleico, por lo que puede explicarse el alto porcentaje en ácido araquidónico ya que el ácido linoleico puede sufrir elongaciones y desaturaciones convirtiéndose en ácido araquidónico.

Finalmente, en el ácido docosahexanoico no existe diferencia estadística ( $P < 0.05$ ) en ninguna de las tres variables. Varios estudios como el elaborado por Rodríguez-Cruz *et al* (2005) propone que cuando se suplementa una dieta con alto contenido de ácido linoléico, se reduce el porcentaje de DHA, lo cual no se refleja en los resultados ya que en este caso el DHA no es afectado por ninguna variable, incluso se observa un valor constante.

Existen varios factores que afectan la deposición de ácidos grasos n-3 como la edad y raza de las gallinas. Investigadores reportan que gallinas menores a 35 semanas de edad, depositan en el huevo de 25 a 50% menos ácidos grasos n-3 que las de más edad (González-Esquerra *et al.*, 2001). Sin embargo, en el presente estudio no se observa con el DHA.

Tanto en el araquidónico como en el docosahexanoico no hay interacción tiempo/tipo de aceite/nivel de inclusión ( $P < 0.05$ ), por lo tanto, para cambiar el porcentaje de ambos ácidos grasos se podría emplear otro tipo de aceite, por ejemplo el de pescado.

Existen algunos otros factores que pueden afectar la digestión de los ácidos grasos presentes en los aceites acidulados disminuyendo su valor nutricional ((Leeson y Summers, 2001):

1. El *pH* porque condiciones ácidas reducen la solubilización de las micelas.

- 
2. El contenido de materia insaponificable. La mayor parte de estos compuestos poseen un bajo valor nutricional.
  3. El contenido de ácidos grasos libres (>50%), estos ácidos grasos pueden reaccionar con otros nutrimentos durante la digestión. Una posible asociación es con minerales para formar jabones que pueden o no ser solubles, si son insolubles existe la posibilidad de que tanto el ácido graso como el mineral no sean utilizados por el ave.

---

## VIII. CONCLUSIONES

Se concluye con base a los resultados obtenidos y bajo las condiciones en las que se llevo a cabo este estudio que:

- Adicionar aceite crudo o aceite acidulado en la dieta de gallinas ponedoras no afecta las variables productivas, pero si la composición en ácidos grasos del huevo.
- Al realizar un cambio en la alimentación de las gallinas, los efectos en la composición de los ácidos grasos del huevo son evidentes a partir de la primera semana de haber realizado el cambio, pero es a partir de la cuarta semana de alimentación que el contenido de lípidos totales y perfil de ácidos grasos se mantiene constante a lo largo del primer ciclo de postura. por lo que al realizar análisis químicos del huevo para monitorear la composición en ácidos grasos del huevo, es recomendable hacerlo en la semana cuarta y doceava de alimentación, lo que se traduce en disminución de costos y tiempo de estudio.
- El nivel de inclusión del aceite crudo de soya y del acidulado utilizados en la dieta influye en el contenido de lípidos y perfil de ácidos grasos. La mayoría de los ácidos grasos, excepto ácido esteárico y ácido linoléico, disminuyen cuando el nivel de inclusión es de 4%.

---

## **IX. RECOMENDACIONES**

La sustitución del aceite crudo de soya por aceite acidulado de soya se recomienda si el fin es proporcionar energía y reducir costos, teniendo como beneficio extra el alto contenido en ácido oleico; pero si el motivo es enriquecer el huevo con ácidos grasos poliinsaturados, el aceite crudo de soya es mejor opción.

La calidad de cada aceite acidulado es diferente, ya que no existen especificaciones de calidad oficiales. Por lo tanto, es recomendable realizar estudios para cuantificar humedad, pH y materia insaponificable en los aceites y acidulados que se vayan a utilizar en la dieta de gallinas ponedoras, de tal forma que se pueda establecer o descartar una relación con el contenido de lípidos totales y perfil de ácidos grasos.

---

## X. LITERATURA CITADA

Ayerza R., Coates W. (2000). *Dietary levels of chia: Influence on yolk cholesterol, lipid content and fatty acid composition for two strains of hens*. Poultry Science 79:724-739.

Baião, N. C., Lara, L. J. C. (2005). *Oil and fat in broiler nutrition*, Brazilian Journal of Poultry Science, 7(3):129-141.

Bell D. D., Weaver W. D. (2002). *Commercial chicken meat and egg production*. Springer, New York, 2002.

Blanch A., Barroeta A.C., Baucells M. D., Serrano X. y Puchal F. (1996). *Utilization of different fats and oils by adult chickens as a source of energy, lipid and fatty acids*. Animal Feed Science Technology. 61: 335-342.

Bock, B. J., Brandt, R. T., Harmon, D. L., Anderson, S. J., Elliott, J. K. y Avery, T. B. (1991). *Mixtures of wheat and high-moisture corn in finishing diets-feedlot performance and in situ rate of starch digestion in steers*, Journal of Animal Science, 69:2703-2710.

Bragagnolo N. (2003). *Comparison of the cholesterol content of Brazilian chicken and quail eggs*. Journal of Food Composition and Analysis 16:147–153.

Carrillo S., López E., Casas M. M., Ávila E., Castillo R. M., Carranco M. E., Calvo C., Pérez-Gil F. (2008). *Potential use of seaweeds in the laying hen ration to improve the quality of n-3 fatty acid enriched eggs*. Journal of Applied Phycology, 20:721-728.

---

Carranco J.M.E. (2010). Huevo. En: Mendoza E. y Calvo C. (eds.), *Bromatología: composición química de los alimentos*, México D.F. McGraw-Hill.

Caston L., Leeson S. (1990). *Research note: Dietary flax and egg composition*. Poultry Science 69:1617-1620.

Cuca G. M., Ávila G. E., Pro M. A. (2009). *Alimentación de las aves*, Universidad Autónoma Chapingo. Dirección de Patronato Universitario. Departamento de Zootecnia, Edo. México.

De Blas C., Mateos G. G. (1991). *Nutrición y alimentación de gallinas ponedoras*. Editorial AEDOS, Madrid, España.

Dowd, M. K. (1998). *Gas chromatographic characterization of cottonseed soapstocks*. Journal of Chromatography, 816:185-193.

Dumont M.-J., Suresh S. N. (2007). *Soapstock and deodorizer distillates from North American vegetable oils: Review on their characterization, extraction and utilization*. Food Research International 40:957-974.

Edwin E., Rojas G., Coimbra J. S., Minim L. A., Freitas J. F. (2007). *Cholesterol removal in liquid egg yolk using high methoxyl pectins*. Carbohydrate Polymers, 69:72–78.

Enser M. (1984). *The chemistry, biochemistry and nutritional importance of animal fats*. In: *Fats in animal nutrition*. J. Wiseman, ed. Butterworths, London.

---

Erickson R. D., Pryde H. E., Brekke L. O., Mounts L. T., Falb R. A. (1983). *Manual de procesamiento y utilización del aceite de soya*. Editorial American Soybean Association, México D.F.

Espuny, B. (1986). *Grasoleínas*. Anaporc. 51:79-84.

Fennema R. O. (2000). *Química de los alimentos*. Segunda edición, Editorial ACRIBIA, S.A., Zaragoza, España.

Fraga L. M., Valdivié M., Arostegui A., De la Osa M. V. (1978). *Empleo de jaboncillo de aceite de girasol sin acidular en dietas de ponedoras Leghorns blancas*. Revista Producción Animal, 3:107-109.

Gaiotto J. B., Menten J. F. M., Racanicci A. M. C., lafigliola M. C. (2000). *Soybean oil, acidulated soapstock, beef tallow, and mixtures of fat sources in broiler diets*. Revista Brasileña de Ciencias Avícolas, 2(3):219-227.

González – Esquerri R., Leeson S. (2001). *Alternatives for enrichment of eggs and chicken meat with omega-3 fatty acids*. Canadian Journal Animal Science, 81:295-305.

Grobas S., Mateos G. G. (1996). *Influencia de la nutrición sobre la composición nutricional del huevo*. Dpto. Producción Animal. XII Curso de especialización FEDNA. Universidad Politécnica de Madrid, España.

Grobas S., Méndez J., Lázaro R., de Blas C., Mateos G. C. (2001). *Influence of source and percentage of fat added to diet on performance and fatty acid composition of egg yolks of two strains of laying hens*. Poultry Science, 80:1171-1179.

---

Instituto de estudios del huevo. 31 de enero de 2011. El huevo y sus componentes como alimento funcional. <http://www.institutohuevo.com>.

Instituto Nacional Avícola. 20 de enero de 2011. Proceso de formación del huevo. [www.institutonacionalavicola.org.mx](http://www.institutonacionalavicola.org.mx).

Johnson R.W., Fritz E. (1989). *Fatty acids in industry*. Marcel Dekker, INC., USA.

Katan M. P. Zock y Mensink R. (1995). *Dietary oils, serum lipoproteins, and coronary heart disease*. American Journal of Clinical Nutrition, 61(Suppl.):1368-1373.

King W. J., Taylor S., Snyder J. M., Holliday R. (1998). *Total fatty acid analysis of vegetable oil soapstocks by supercritical fluid extraction/ reaction*. Journal of the American Oil Chemists' Society, 75(10):1291-1295.

Kassis N., Drake R. S., Beamer K. S., Matak E. K., Jaozynski J. (2010). *Development of nutraceutical egg products with omega-3 rich oils*. Food Science and Technology, 43:777-783.

Kovacs-Nolan J., Marshall P. y Mine Y. (2005). *Advances in the value of eggs and egg components for human health*. Journal of Agricultural Food Chemistry, 53:8421-8431.

Kuang-Chow Ch. (2000). *Fatty acids in foods and their health implications*. Second edition. Marcel Dekker. USA.

Leeson, S., Summers J. D. (2005). *Commercial poultry nutrition*. Editorial University Books, Guelph, Ontario, Canadá.

---

Leeson, S., Summers J. D. (2001). *Nutrition of the chicken*, University Books, 4<sup>th</sup> Edition. Guelph, Ontario, Canadá.

Marshall A. C., Sams A. R., Van Elswyk M. E. (1994). *Oxidative stability and sensory quality of stored eggs from hens fed 1.5% menhaden oil*. *Journal of Food Science*, 59(3):561-563.

Massaro M., Carluccio M. A., De Caterina R. (1999). *Direct vascular antiatherogenic effects of oleic acid: a clue to the cardioprotective effects of the Mediterranean diet*. *Cardiologia*, 44(6): 507-13.

Migasaka A. S. (2003). *Nutrición Animal*. Editorial Trillas, México.

Monari S. (1994). *Full fot soya handbook*, Editorial ASA, Bruselas.

Narciso G. C. (2002). *Estimación de energía metabolizable y valor biológico de aceite de soya con alto contenido de ácidos libres, para la alimentación de aves*. Tesis. Maestro en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco. Edo. De México, pp.36.

Nelson D. L., Cox M. M. (2004). *In: Principles of Biochemistry*. Cuarta edición, W. H. Freeman and Company, New York.

North M. O., Bell D. D. (1993). *Manual de Producción Avícola*. El Manual Moderno, México, D.F.

*Nutrient Requirements of Poultry* (1994), Novena edición, National Research Council, Washington D.C.

---

NMX (2004). *Norma Mexicana NMX-FF-079-SCFI-2004*. Para productos avícolas. Huevo fresco de gallina. Especificaciones y métodos de prueba. 23p.

Ohtake, Y., Hoshino, Y. (1976). *Influences of dietary fat and oil on the fatty acid distribution in egg yolk lipids of laying hens*. Jpn. J. Zootech. Sci., 47:430-440.

Pardio V.T., Landin L. A., Waliszewski K. N., Badillo C. y Pérez-Gil R.F. (2001). *The effect of acidified soapstocks on feed conversion and broiler skin pigmentation*. Poultry Science 80: 1236-1239.

Pardío V.T., Landin L. A., Waliszewski K.N., Badillo C., Perez-Gil F. (2005). *The effect of soybean soapstock on the quality parameters and fatty acid composition of the hen egg yolk*. Poultry Science 84:148-157.

Quintana J. A. (1999). *Avitecnia: Manejo de aves domésticas más comunes*. Editorial Trillas, México.

Ratliff J., Mutungi G., Puqlisi M. J., Volek J. S., Fernández M. (2009). *Carbohydrate restriction (with or without additional dietary cholesterol provided by eggs) reduces insulin resistance and plasma leptin without modifying appetite hormones in adult men*. Nutrition Research, 29(4): 262-268.

Ribas C. S. (1990). *Las gallinas ponedoras y la producción de huevos*. Editorial SINTES, S.A., Barcelona.

Robinson J. G. (2006). *Antiatherosclerotic and Antithrombotic Effects of Omega-3 Fatty Acids*. The American Journal of Cardiology, 98(4):39-49.

---

Rocha L. 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.

Rodríguez-Cruz M., Tovar A., Prado M., Torres, N. (2005). *Mecanismos moleculares de acción de los ácidos grasos poliinsaturados y sus beneficios en la salud*. *Revista de Investigación Clínica*, 57:457-472.

Rodríguez M., Monereo S. y Molina B. (2003). *Alimentos funcionales y nutrición óptima. ¿Cerca o lejos?*. *Revista Española de Salud Pública*, 77(3):317-331.

Simopolous A.P. (2000). *Human requirements for n-3 polyunsaturated fatty acids*. *Poultry Science*, 79:961-970.

Sindelar A.C., Scheerger B. S., Plugge L. S., Eskridge M. K., Wander C. R., Lewis M. N. (2004). *Serum lipids of physically active adults consuming omega-3 fatty acid-enriched eggs or conventional egg*. *Nutrition Research*, 24:731-739.

SAS (Statistical Analysis System) (2004). *SAS/STAT User's guide (Release 9.1)*. Cary, NC, USA, SAS Institute Inc.

Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS), julio 2009.  
<http://sinais.salud.gob.mx/mortalidad/>

Stadelman W. J., Olson V. M., Shemuell G. A., Pasch S. (1988). *Egg and poultry-meat processing*. Ellis Horwood, Ltd, Winchester, England.

Stadelman W. J., Cotterill O. J. (1995). *Egg science and technology*. AVI publishing company, INC, Westport Connecticut.

---

Strouch M. J., Ding Y. Salabat M. R., Melstrom L. G., Adrian K., Quinn C., Pelham C., Rao S., Adrian T. E., Bentrem D. J., Grippo P. J.( 2009). *A High Omega-3 Fatty Acid Diet Mitigates Murine Pancreatic Precancer Development*. Journal of Surgical Research, 165(1): 75-81.

Surai P.F., Sparks N. H. C. (2001). *Designer eggs: from improvement of egg composition to functional food*. Food Science and Technology, 12:7-16.

UNA, (2011). *Compendio de Indicadores económicos del sector avícola 2011*. Unión Nacional de Avicultores México, D. F.

USDA. 17 de mayo de 2011. Nutrient Database for Standard Reference. <http://www.ars.usda.gov>.

Van Elswyk M. E., Sams A. R., Hargis P. S. (1992). *Composition, Functionality, and sensory evaluation of eggs from hens fed dietary menhaden oil*, Journal of Food Science, 57(2):342-349.

Viera S. L., Viola E. S., Berres, J., Olmos, A. R., Conde, O. R. A., Almeida, J. G. (2006). *Performance of broilers fed increased levels energy in the pre-starter diet and on subsequent feeding programs having with acidulated soybean soapstock supplementation*, Brazilian Journal of Poultry Science, 8(1):55-61.

Vieira S. L., Ribeiro A. M. L., Kessler A. M., Fernandes L. M., Ebert A. R., Eichner G. (2002). *Energy utilization of broiler feeds formulated with acidulated soybean soapstock*. Revista Brasileira de Ciências Avícolas, 4(2):1-13.

Waliszewski, K. (1987). *Fatty acids composition of different oils and their soapstocks*. Nutrition Reports International, 35:87-91.

---

Wiseman, J., Cole, D. J. A. (1987). *The digestible and metabolizable energy of two fat blends for growing pigs as influenced by level of inclusion*. *Animal Production*, 45:117-122.

Wiseman, J., Salvador, F. (1989). *The influence of age, chemical composition and rate of inclusion on the apparent metabolizable energy of fats to broiler chicks*. *British Poultry Science*, 30:653-662.

Woerfel J.B. (1983). *Alternatives for processing of soapstock*. *American Oil Chemists' Society*, 60(2):310-313.

Zumbado M. E., Scheele W. C., Kwakernaak C. (1999). *Chemical composition, digestibility and metabolizable energy content of different fat and oil by-products*. *Journal of Applied Poultry Research*, 8:263-271.

Zumbado M. E., Gutiérrez C., Pérez R. (1994). *Utilización de grasas y sus subproductos en alimentación avícola*. Editorial San José, Universidad de Costa Rica, 1994.