

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCION ANIMAL

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y DE CALIDAD DE

HUEVO DE GALLINAS ALIMENTADAS CON

ACEITE DE ATÚN EN SUSTITUCIÓN DE ACEITE CRUDO DE SOYA.

**T E S I S QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCION ANIMAL

PRESENTA:

VÁZQUEZ VALLADOLID JOSÉ LUIS



DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Marzo de 2003

Chapingo, Estado de México

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH

Bib. 98470

**COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y DE CALIDAD DE HUEVO DE
GALLINAS ALIMENTADAS CON ACEITE DE ATÚN EN SUSTITUCIÓN DE
ACEITE CRUDO DE SOYA**

Tesis realizada por José Luis Vázquez Valladolid, bajo la dirección del Comité
Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para
obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

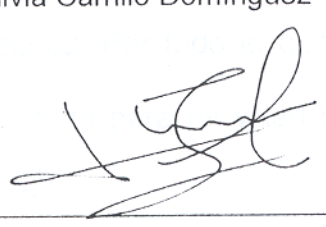
DIRECTOR: _____


Ph. D. Mariano Jesús González Alcorta

ASESOR: _____


M.C. Silvia Carrillo Domínguez

ASESOR: _____


Ph. D. Maximino Huerta Bravo

A. 410541

DEDICATORIA

Antes que nada y como siempre a Dios, el cual para bien o para mal me ha puesto en este lugar.

Después a mis Padres José Luis Vázquez Hernández y Belén Valladolid Salazar, debido a que siempre me han apoyado, y siempre han creído en mi, y a quienes espero nunca en la vida defraudar.

A mis hermanos Cesar R. y Anayeli, ya que con su gran ayuda y cariño hemos sacado adelante esta maestría. GRACIAS A LOS DOS POR HECHARME LA MANO A PESAR DE TODO.

A Mallinaly Domínguez Velázquez. Por todo lo que has hecho por mi, por todo lo que significas, por ser todo para mi y ten por seguro que siempre estaré contigo GRACIAS AMOR. .

A la Familia Ramos Velázquez, por dejarme ser parte de ella, por abrirme las puertas de su confianza esperando nunca defraudarla.

A la Familia González Aguilar por ser grandes amigos, y estar en muchos momentos de todo tipo y espero que siempre sea así. GRACIAS COMPADRES.

A la familia Solís Trueba, por su amistad incondicional y de corazón les dijo que en todo lo que les pueda ayuda cuenten conmigo.

A la familia Martínez Monsalvo, por su gran amistad, por su gran apoyo, y espero que como ustedes me han ayudado yo les ayude en lo que sea sinceramente muchas gracias.

Por ultimo a todas las personas que en estos momentos no me cruzan por la mente y que sin embargo apoyaron a este trabajo y a mi persona, aun en los momentos difíciles que pase con este trabajo, y a los que pensaron que no iba a lograr esta prueba solo les deseo que DIOS siempre los socorra, por que para mi con que se acuerde que existo con eso me basta.

DE TODO CORAZÓN.

JOSÉ LUIS VÁZQUEZ VALLADOLID.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de Zootecnia y el Posgrado en Producción Animal, por permitirme acceder a otro nivel mas de la ciencia, aunque esta se va realizando conforme uno va evolucionando, y por esta razón le agradezco más y no tengo con que pagarle a mi *Alma Mater*

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por todo el apoyo que me otorgo para la realizar mi Maestría en Ciencias.

Al Instituto de Ciencias Medicas y Nutrición Salvador Zubirán, por su valiosa colaboración para con este trabajo.

Al Ph. D. Mariano Jesús González Alcorta, por su valiosa participación como director en el planteamiento y desarrollo de esta investigación, además de sus valiosos consejos, confianza y amistad que desde la Licenciatura y hasta la fecha a tenido conmigo.

A la M. C. Silvia Carrillo Domínguez, por sus acertadas sugerencias y apoyo brindado para la realización del experimento y para la mejor culminación de esta tesis.

Al Ph. D. Maximino Huerta Bravo por su importante aporte en todo este trabajo, y por mi formación como alumno de esta Maestría y como investigador.

DEDICATORIA
AGRADECIMIENTOS

Al Ph. D. Eduardo Morales Barrera por su valioso y desinteresado apoyo a este trabajo, y téngalo por seguro que le estoy muy agradecido.

Al Ing. Silvestre Martínez López, por su gran apoyo y valiosa amistad, de la cual sin ella tenga por seguro que este trabajo hubiera fracasado. A si que por eso y por ser un gran amigo le estaré siempre mil agradecido y si en algo le puedo ayudar no dude en pedírmelo y más después de darme su apoyo cuando parecía que fracasaba.

A Cecilio González Mancilla, simple y sencillamente por ser una gran cuate y apoyarme en este trabajo en las buena y en las malas.

Al M.C. José Solís Ramírez, por apoyarme durante gran parte de mi estadía en Zootecnia. Y solamente una cosa le digo maestro "No claudique en nada de lo que usted este convencido, por que aquí tiene el ejemplo de cuando uno no se da por vencido."

A todos los profesores que tuvieron que ver con mi formación, en especial al M.C. Sánchez del Real.

A Edgardo y a Oscar, por apoyarme en los momentos difíciles.

Por ultimo al personal del Departamento de Zootecnia, en especial a Beatriz Iglesias y al Ing. Enrique Palafox Reyes, por darme su apoyo, y por alentarme a que no me dejara vencer por nadie.

GRACIAS, MIL.

Contenido	Pagina
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	v
DATOS BIOGRÁFICOS	vii
CONTENIDO	viii
CAPITULO I	1
INTRODUCCION GENERAL	2
CAPITULO II	4
REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. Situación de la producción de huevo en México	5
2.2. Aceite de pescado	6
2.2.1. Importancia del aceite de pescado	7
2.2.2. Utilización del aceite de pescado	8
2.2.3 Composición del aceite de pescado	8
2.3. Alimentación de ponedoras	10
2.3.1. Cambios en los patrones de consumo de alimento	10
2.3.2. Factores que afectan el consumo de alimento	11
2.3.2.1. Temperatura ambiente y consumo de alimento	12
2.3.3. Requerimientos nutricionales básicos de gallinas ponedoras	12
2.3.4. Requerimientos de energía para producción de huevo	13
2.3.5. Requerimientos de proteínas para producción de huevo	14
2.3.6. Requerimientos Aminoácidos	14
2.3.6.1. Aminoácidos azufrados totales (AAT)	15
2.3.7. Necesidad de proteína diaria de la ponedora Leghorn	15
2.3.8. Requerimientos minerales durante la producción de huevo	18
2.3.8.1. Requerimientos de calcio	18
2.3.8.2. Requerimientos de fósforo en las ponedoras	18
2.3.9. Requerimientos de vitaminas para producción de huevo	19
2.3.10. Disponibilidad de alimento para las ponedoras y peso corporal	19
2.3.11. Aumento de peso corporal	20
2.4. Composición del huevo	21
2.4.1. Calidad del cascarón	21
2.4.2. Gravedad específica del huevo	23
2.4.3. Cámara de aire	25
2.4.4. Calidad Yema	25
2.4.5. Calidad Albúmina	29
2.4.6. Factores que afectan la producción de huevo	30
2.4.7. Colesterol en huevo	31
2.5. Importancia del consumo de grasas	32
2.5.1. Enfermedades cardiovasculares en humanos	34
2.5.2. La vía del colesterol en la arterioesclerosis	34
2.6. Ácidos grasos omega 3 y omega 6	35
2.6.1. Ácidos grasos omega 3	38
2.6.2. Ácidos grasos omega 6	40

2.6.3. Fuentes alimenticias de ácidos grasos omega 3 y 6	40
2.6.3.1. Fuentes vegetales	41
2.6.3.2. Fuentes marinas	41
2.6.4. Proporción correcta de ácidos grasos esenciales	43
2.6.5. Modificación de ácidos grasos en huevo	43
2.7. Metabolismo, degradación y síntesis de las grasa en las aves	46
2.7.1. Incorporación de las grasas en la yema de huevo	47
PROBLEMÁTICA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	48
3.1. Problemática	48
3.2. Hipótesis	48
3.3. Objetivos	49
CAPITULO III. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y DE CALIDAD DE HUEVO DE GALLINAS ALIMENTADAS CON ACEITE DE ATÚN EN SUSTITUCION DE ACEITE CRUDO DE SOYA	50
RESUMEN	51
ABSTRACT	52
INTRODUCCIÓN	53
MATERIALES Y METODOS	54
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	57
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
Cantidad de lípidos totales en las dietas experimentales	61
Perfil de ácidos grasos en el aceite crudo de soya y aceite de atún	62
Resultados de lípidos en la yema del huevo.	63
Recomendaciones	67
CONCLUSIONES	68
LITERATURA CITADA	68
CAPITULO IV	73
LITERATURA GENERAL	73

CONTENIDO DE CUADROS CAPITULO II	Pagina
Cuadro 1. Principales zonas productoras de huevo a nivel nacional	6
Cuadro 2. Cambio porcentual en el consumo de alimento por cada 0.5°C de cambio en la temperatura ambiente	12
Cuadro 3. Influencia de la temperatura ambiente sobre los requerimientos energéticos de mantenimiento para gallinas de postura	13
Cuadro 4. Requerimiento de aminoácidos de ponedoras	15
Cuadro 5. Requerimiento diario de proteína de acuerdo a peso corporal, peso del huevo y la producción de huevo	17
Cuadro 6. Requerimientos de vitaminas para gallinas de postura	19
Cuadro 7. Contenido de ácidos grasos omega 3 en algunos alimentos de origen animal	42
Cuadro 8. Fuentes de ácidos grasos poliinsaturados	44
Cuadro 9. Efecto sobre los ácidos grasos (mg/g lípidos) en huevo al incluir diferentes ingredientes en la dieta de las aves	45

CUADROS EN CAPITULO III

Cuadro 1. Composición y análisis de las dietas experimentales	55
Cuadro 2. Consumo de alimento, Masa de huevo, porcentaje de postura y conversión alimenticia en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de atún durante tres meses.	58
Cuadro 3. Grosor de cascarón, peso unitario de huevo, altura de albúmina y unidades Haugh de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de atún durante tres meses.	60
Cuadro 4. Lípidos totales en las dietas experimentales (g de lípidos por 100g de alimento).	62
Cuadro 5. Perfil de ácidos grasos omega 3 (w-3) y omega 6 (w-6) del aceite crudo de soya y aceite de atún, utilizados en las dietas experimentales (mg por g de lípido)	63
Cuadro 6. Lípidos totales y perfil de ácidos grasos en la yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de atún durante tres meses (mg por 100g de muestra).	64
Cuadro 7. Aporte total de omega 6, omega 3 y su relación en la yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de atún durante tres meses (mg por 100g de muestra).	66

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN GENERAL

Hace un decenio “colesterol” era un término poco conocido fuera de la profesión médica, hoy la mayoría de las personas interesadas en una buena salud saben que un nivel alto de colesterol en la sangre no es sano, pero la función del colesterol es un tema complejo y muchos tienen preguntas, que aun no cuentan con alguna explicación satisfactoria. El colesterol se encuentra principalmente en productos de origen animal como la carne, hígado, productos lácteos de leche entera, así como en la yema de huevo. El colesterol es un producto químico céreo lipídico, que forma parte de ciertas hormonas y de estructuras corporales (Ramos, 1999).

Por mucho tiempo el huevo ha adquirido la acepción de alimento restringido debido a su elevado contenido de colesterol (213 mg por huevo), lo que ha producido un descenso en el consumo de este alimento, principalmente en los países con una elevada incidencia de enfermedades cardiovasculares (Pérez *et al.*, 1998). La yema de un huevo grado A contiene 71 por ciento de la ingesta diaria de colesterol recomendada para una persona, que es 300 mg al día. Sin embargo, el huevo es un alimento completo ya que contiene proteína de calidad ideal a bajo precio, y puede ser producido bajo diferentes condiciones de manejo, presentando un gran número de posibilidades culinarias fáciles y variadas (De Blas y Mateos, 1991).

La composición del huevo puede variar alterando la dieta de las aves y mejorando así la nutrición y salud del consumidor. Una de las formas en las que se puede modificar la composición lipídica de la yema del huevo es la inclusión de ingredientes ricos en ácidos grasos no dañinos a la salud humana. Algunos de esos ingredientes son aceite de pescado, linaza, semilla de oleaginosas, pasas, algunas algas, etc. El aceite de pescado era considerado fundamentalmente como una fuente de vitaminas A y D; poco se sabía de su importante valor biológico, y en particular de los efectos positivos de sus ácidos grasos poliinsaturados. La

presente investigación se llevo a cabo para evaluar el efecto de la sustitución de aceite de cártamo con aceite de atún en dietas para gallinas ponedoras sobre los parámetros productivos, calidad del huevo, y composición lipídica de la yema de huevo.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Situación de la producción de huevo en México

El sector productivo de huevo mexicano está en condiciones de competir con cualquier región productora del mundo, gracias a los cambios en infraestructura, como la aplicación de alta tecnología en granjas (Villegas, 1999). Para Alonso (2000), el primer eslabón de la cadena agro industrial-comercial-financiera de producción-huevo está constituido por las razas puras de aves, las cuales incorporan tecnología especializada de punta. Estas aves no se producen en México. Villegas (1999) indica que la aplicación comercial de las jaulas para la producción de huevo que actualmente representa el 70-80% o más de la producción mundial, ha venido a mejorar la producción en México.

El huevo es un producto altamente nutritivo y su consumo per cápita se contrae de 1984 a 1988 pasando de 14.5 a 10.6 kg (Alonso, 2000). Datos de la UNA (2002), indican que en épocas de crisis económicas aumenta el consumo de huevo, pues como fuente de proteína de origen animal, este alimento tiene un precio relativamente más bajo. El consumo de huevo actualmente es de aproximadamente 20 kilogramos por persona por año y se espera llegue cerca de los 23 kg en los próximos 4 años.

Alonso (2000) indica que la caída en la demanda y el alza en los costos de la producción en México, inhibieron las inversiones en avicultura desde 1984. Más aún, en 1986 la utilización de la capacidad instalada de producción de huevo fue de 75%; porcentaje que para inicios de 1989 fue de 78%. Lo que explica que pequeños y medianos productores cerraran o vendieran sus granjas. Según *Livestock and Poultry World Markets and Trade* (1999), citado por UNA (1999), México mantiene el cuarto sitio entre los principales países productores de huevo al proyectar para finales de 1999 una producción de 83 millones de cajas

de huevo, siendo superado por China, Estados Unidos y Japón.

La avicultura en su conjunto aporta el 57% de la producción pecuaria en México, donde el huevo contribuye con el 28% total nacional (CANACINTRA, 1998). Las principales zonas productoras de huevo se muestran en el Cuadro 1.

Entre las compañías con mayor participación en el mercado nacional están El Calvario, Bachoco, Proam, Grupo San Juan, Socorro Romero, Avícola Fernández, Empresa Guadalupe, Gigante Tepa, Nochistongo y Simón Bolívar (Villegas, 1999).

Cuadro1. Principales zonas productoras de huevo a nivel nacional.

Lugar	Zonas	Porcentaje
1	Jalisco	33
2	Puebla	24
3	Sonora	10
4	Nuevo León	7
5	La Laguna	7
6	Guanajuato	5
7	Yucatán	5
8	Otras	9
Total		100

Fuente: UNA, 1999.

De 1990 al 2000, se ha observado un crecimiento sostenido en la producción nacional de huevo. Se espera que el crecimiento promedio anual de 1999 al 2003 sea de 2.2 por ciento (Villegas, 1999).

2.2. Aceite de pescado

El pescado es un recurso abundante y por una razón u otra, solamente se usa una parte para consumo humano del total capturado, mientras que otra parte, como el aceite de atún podría ser utilizado para la alimentación animal.. Un subproducto de la industria pesquera es el aceite de pescado, el cual gracias a su alto contenido de Ácidos Grasos Poliinsaturados(AGPI) ha revolucionado a la avicultura, ya que uno de los problemas con el consumo de huevo es el

alto contenido de colesterol en la yema. En los seres humanos, gracias a los AGPI, el huevo se ve enriquecido con los ácidos grasos omega 3 (AGw3), los cuales favorecen la unión del colesterol con lipoproteínas de alta densidad, reduciéndose el riesgo de enfermedades cardiovasculares. (Fuller, 1992).

2.2.1. Importancia del aceite de pescado

Cuando numerosos estudios clínicos, publicados en revistas científicas de prestigio, demostraron los beneficios potenciales del calcio, fibra y aceites de pescado, entre otras sustancias, surgió en la década de los 80, lo que se denomina como la revolución nutraceútica, que está en estos momentos en pleno apogeo, y posiblemente cambiará la industria alimentaria en el próximo siglo. Un nutraceútico es un alimento o parte de él, que posee propiedades benéficas para la salud, pudiendo incluso prevenir o tratar algunas enfermedades. La grasa saturada tiende a aumentar el colesterol en la sangre. Los alimentos altos en grasa saturada incluyen las carnes grasosas y los productos lácteos de leche entera. Los efectos de los AGw3 en la salud humana, y más específicamente con las enfermedades cardiovasculares de reducir la concentración de colesterol asociado a lipoproteínas de baja densidad del plasma sanguíneo el cual es influido por diversos factores, entre los que cabe citar la composición de la dieta y más específicamente la cantidad y composición de la grasa. Cabe recalcar que el colesterol mantiene la estructura de las membranas celulares, favoreciendo a las células del tejido blando así como la permeabilidad y contractibilidad de los vasos sanguíneos, disminuyendo la agregación de plaquetas, procesos inflamatorios, activa del sistema inmunológico, así como otros indicadores del metabolismo (FAO, 1994).

2.2.2. Utilización del aceite de pescado

El utilizar el aceite de pescado como subproducto de la industria alimenticia, se inicio en el Norte de Europa y en América del Norte en el siglo XIX y se basaba principalmente en el acopio de sobrante de las pesquerías costeras estacionales. Ésta era esencialmente una actividad para la producción de aceite; el aceite generado se utilizó en la industria del curtido, en la producción de jabón y glicerol entre otros. El residuo de este proceso se usó originalmente como fertilizante, pero a principios de siglo su principal uso era el de suplemento alimenticio para animales, en las dietas de producción avícola, y de cerdos que necesitan proteína de calidad alta a diferencia del ganado bovino y ovino (*Shiau, 1981*).

Una de las principales dificultades a las que se enfrenta la industria pesquera es evitar la descomposición parcial del pescado o sus subproductos ya que este tiene que ser recolectado de áreas remotas. La búsqueda para los medios económicos de conservar la captura durante el período de transporte y/o almacenamiento, excediendo aproximadamente 30 horas, ha sido un desafío continuo (*Olivecrona et al., 1973*).

2.2.3. Composición del aceite de pescado

Dentro de las cinco familias de ácidos grasos conocidas, vamos a referirnos a los ácidos grasos poliinsaturados AGw3 y en concreto a dos ácidos grasos de cadena larga: el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA), que están presentes en los productos marinos, y que han sido el origen de numerosos estudios científicos (*Menge y Richardson, 1968*).

El pescado y productos marinos se clasifican de acuerdo con su contenido en grasa en:

Magros o blancos, cuyo contenido lipídico no supera el 2%, tal como merluza, bacalao, róbalo.

Bajo contenido graso, cuyo contenido oscila entre el 2 y el 4%, como el halibut.

Semigrasos, cuyo porcentaje lipídico se sitúa entre el 4 y el 8%, como salmón.

Azules o grasos, cuyo contenido lipídico supera el 8 %, destacando la sardina, caballa, arenque, atún.

Los aceites contienen ácidos grasos, principalmente con cantidades inconstantes de fosfolípidos y esterres del glicerol. Es característico de los aceites de pescado que contengan una gama amplia de ácidos grasos de cadena larga con un número de átomos del carbono que van principalmente de 14 a 22 y un alto grado de inestabilidad, e insaturación, principalmente por el alto número de ligaduras dobles. Los ácidos grasos de los aceites varían ampliamente con la especie del pescado, su alimentación y época del año (Uauy, *et al.*, 1990). Los aceites contienen cantidades pequeñas inconstantes de componentes de hidrocarburos insaponificables, ceras, alcoholes y otros tipos de lípidos, que alteran sus propiedades en magnitudes desconocidas. Dos de las principales reacciones de degradación en los aceites de pescado son: hidrólisis que llevan a la formación de ácidos grasos libres y oxidación de grasas insaturadas. La hidrólisis, durante el almacenamiento de aceites marinos es generalmente lento por la presencia de álcali, los rastros de metales pesados y agua que permiten crecimiento bacteriano aumentaron la hidrólisis (Navarro *et al.* 1972; Menge *et al.*, 1963).

La proporción de dobles ligaduras (de 4 a 6) existentes en el aceite de pescado lo predispone a la oxidación y desarrollo de rancidez durante el procesado y almacenamiento del mismo. La oxidación es acelerada por el calor, luz y la presencia de catalizadores y metales pesados. La oxidación, en aceites de pescado, podría ser retardada por antioxidantes, por ejemplo tocoferoles, tolueno de hidroxibutirato, entre otros (Buenrostro, 1982).

2.3. Alimentación de ponedoras

La alimentación del ave de postura es sólo una continuación de la alimentación de la polla en crecimiento, además de proveer los ingredientes necesarios en las proporciones correctas de modo que el ave pueda producir un abundante número de huevos. En las líneas modernas la demanda nutritiva para la producción de huevos es muy elevada. Los huevos producidos por una polla durante un año de postura son aproximadamente 8 veces el peso de la polla, además el ave aumentará su tamaño corporal en un 25%. Para lograr esto deberá consumir una ración equivalente a 20 veces su peso corporal (Engster, *et al.*, 1975).

Actualmente, la mayoría de las ponedoras comerciales son alojadas en jaulas en lugar del piso, como se acostumbraba algunos años atrás. Este método de manejo ha necesitado de algunos cambios en las fórmulas del alimento de postura y en los métodos de alimentación, como lo es el de balancear mejor las cantidades de aminoácidos sintéticos, especialmente con la metionina, y lisina y con este cambio se ve mejorada la cantidad de proteína cruda (Patton, *et al.*, 1978). Otro factor que se ha cambiado, es la relación entre el calcio y el fósforo, la cual ha aumentado, debido al ritmo de producción mas intenso. Otra tendencia actual es el enriquecimiento del huevo con ácidos grasos omega 3 y 6 para prevenir enfermedades cardiovasculares, en donde los productos marinos, incluyendo el aceite de pescado, son una fuente muy importante de omega 3 (Sánchez-Muñiz, 1998).

2.3.1. Cambios en los patrones de consumo de alimento

Poco antes del momento en que la parvada de postura empiece la producción de huevos, se debe iniciar el primero de varios cambios de manejo, los cuales son: 1) Se debe prolongar el total de luz diurna, 2) Debe reemplazar la ración de crecimiento por una ración de

postura, 3) Debe incrementar el consumo de alimento, 4) Debe incrementar el consumo de calcio.

La cantidad de alimento consumido individualmente por una polla poco antes y después de la producción de sus primeros huevos tiende a disminuir. Durante el mes anterior a su primer huevo, la polla Leghorn consume individualmente una cantidad casi constante de alimento diario (75 g/día) hasta cuatro días antes de poner su primer huevo que es cuando decrece el consumo de alimento y permanece bajo en este nivel hasta que se produce el primer huevo (Scout *et al.*, 1982). Esto es seguido por un incremento rápido diario en el consumo de alimento durante los primeros cuatro días de producción de huevo y un incremento moderado continuado hasta cuatro semanas más tarde, a partir de la cual el incremento es muy lento.(Carrillo *et al.*, 1999a)

Con base en lo anterior, la parvada debe de ser alimentada a libre acceso desde el tiempo en que los primeros huevos son producidos y hasta después que el máximo de producción de huevo sea alcanzada ya que luego sólo tienden a comer lo necesario, y las aves en producción de huevo tendrán una justificación para incrementar su necesidad (Hy-Line, 2001).

2.3.2. Factores que afectan el consumo de alimento

Los factores que afectan el consumo de alimento en las aves son: 1) Contenido calórico de la dieta; 2) Temperatura ambiente; 3) Consumo inicial de ración por ave; 4) Raza de las aves; 5) Peso corporal; 6) Nivel de producción de huevos; 7) Tamaño del huevo; 8) Grado de stress; 9) Actividad del ave; 10) Tasa de mortalidad.

2.3.2.1 Temperatura ambiente y consumo de alimento

Hay diferencias en la cantidad de alimento consumido por gallina, ya que el requerimiento de energía es mayor en clima frío que en clima caluroso. Estas variaciones de consumo de alimento son menores, por cada 0.5°C de variación en la temperatura (Cuadro 2), cuando el clima es frío que cuando es caluroso (Horani y Sell, 1977; Karunajem, *et al.*, 1984).

Cuadro 2. Cambio porcentual en el consumo de alimento por cada 0.5°C de cambio en la temperatura ambiente (Karunajem, *et al.*, 1984)

Cambio promedio de temperatura durante el día	Cambio en el consumo de alimentos por cada cambio de 0.5°C en la temperatura
°C	%
32.2-37.8	3.14
26.7-32.2	2.05
21.1-26.7	1.31
15.6-21.1	0.82
10.0-15.6	0.50
4.4-10.0	0.30

2.3.3. Requerimientos nutricionales básicos de las gallinas ponedoras

La alimentación es necesaria por cuatro razones: 1) Mantenimiento corporal: La cantidad de alimento necesario para el mantenimiento corporal varía con el peso del ave y del tipo de ambiente, 2) Crecimiento corporal: Una polla Leghorn debe ganar 454-567 g durante su primer año de postura. Una ponedora de tamaño mediano (productora de huevos de cascarón café) debe ganar de 570-680, 3) Producción de pluma: Esto incluye el desarrollo de nuevas plumas que reemplazan a las que son arrancadas o se caen y 4) Producción de huevo: El requerimiento de alimento para la producción de huevo se determina por el número y el tamaño de los huevos puestos (Ávila *et al.*, 1990).

2.3.4. Requerimientos de energía para producción de huevo

El requerimiento de energía metabolizable (EM) de una gallina ponedora de 1.8 kg, alojada en un lugar con temperatura templada y con un porcentaje de postura del 75%, es alrededor de 300-310 kcal por ave y por día. Esta cifra se incrementa en un clima frío y descende en un caluroso (Cuadro 3).

Cuadro 3. Influencia de la temperatura ambiente sobre los requerimientos energéticos de mantenimiento para gallinas de postura (Cuca *et al.*, 1996).

Temperatura °C	Requerimiento de mantenimiento en kcal EM por ponedora por día	
	Leghorn	Tamaño mediano
10.0	230	243
15.6	204	217
21.1	184	197
26.7	172	185
32.2	162	175
37.8	154	167

Las ponedoras Leghorn blancas y las productoras de huevo de tamaño mediano de cascarón café requieren de una dieta con alrededor de 2,860 kcal/día de EM por kg. Sin embargo, frecuentemente las calorías son reducidas durante la última parte del lapso de producción de huevo para promover la "fase de pelecha". Las ponedoras en piso deben recibir una mayor concentración de EM que las que se encuentran en jaulas (Dale, 1980). El requerimiento de energía diaria para ave ponedora es muy variable, algunas razones son: 1) Variación en el peso corporal de las pollas; 2) Temperatura ambiente, 3) Cantidad de actividad del ave, 4) Variaciones en la producción de huevo, 5) Diferencias en el tamaño del huevo, 6) Frecuencia de la tensión, 7) Edad del ave y 8) Cantidad de pluma que cubre al animal. El único hecho compensatorio para sobreponerse a las variaciones anteriores es que cada ave controla su consumo de alimento de acuerdo a sus necesidades de energía. La eficiencia de

ese mecanismo de control es cuestionable. Una buena alimentación requiere de cambios en la fórmula alimenticia o método para ayudar al ave a regular su consumo de energía. El número de calorías en una ración de postura es altamente variable. Además de que el consumo diario de alimento esta lejos de ser consistente a través del período de producción de huevo. Pruebas detalladas han demostrado que prácticamente todas las aves en forma individual tienen períodos de ganancia de peso seguidos por intervalos en donde no ganan peso. Sin embargo, desde el punto de vista de la parvada, deben ser semejantes en el tamaño del cuerpo (Wilson, *et al.*, 1976).

2.3.5. Requerimientos de proteína para producción de huevo

El requerimiento de proteína para aves de postura está íntimamente asociado al grado de producción de huevo. La proteína de la dieta en producción de huevo es más baja que la necesaria (18 a 20%) para crecimiento temprano. Justo antes de la producción de huevo, sólo el 13% de la dieta de la polla debe ser proteína; pero cuando la producción de huevo alcanza su máximo, la necesidad puede ser de 17-19%. Al final del ciclo de producción, puede bajar a 14% (NRC, 1994).

2.3.6. Requerimientos de Aminoácidos

Hablar de los requerimientos de proteína para producción de huevos es hablar de los requerimientos de aminoácidos. Las proteínas deben estar bien equilibradas y ser de alta calidad para que una gallina esté en condiciones de poner el máximo número de huevos, además de producirlos en forma rentable. De los aminoácidos, con frecuencia escasos en la ración de postura, el que más comúnmente está implicado es la metionina (Cuca *et al.*, 1982).

2.3.6.1. Aminoácidos Azufrados Totales (AAT)

Los AAT están representados por la metionina y la cistina. Los requerimientos nutricionales de metionina y metionina más cistina se indican en el Cuadro 4. Los valores indicados de requerimiento de aminoácidos azufrados resultan críticos para una producción máxima de huevos. Los requerimientos diarios de AAT durante las primeras 10 semanas de producción de huevos de la parvada es de 680 mg por polla y por día. Durante las 20 semanas siguientes el requerimiento es de 650 mg por polla y por día, y posteriormente se reduce a 630 mg (Cuadro 4).

Cuadro 4. Requerimiento de aminoácidos en ponedoras

Aminoácido	% en la dieta
Arginina	0.8
Glicina + serina	0.5
Lisina	1.2
Metionina	0.27
Metionina + Cistina	0.50
Triptofano	0.11

Fuente: N.R.C. (1994).

2.3.7. Necesidad de proteína diaria de la ponedora Leghorn

Uno de los puntos más controvertidos acerca de la nutrición de la ponedora Leghorn es la mínima necesidad diaria de proteína. Aunque hay innumerables experimentos, todavía existe confusión. Como la proteína es costosa, cada formulador de alimento quiere asegurarse de que sus raciones contienen la suficiente proteína, pero sin que se desperdicie. El comportamiento productivo de la parvada es muy importante para conocer el requerimiento mínimo de proteína, ya que se deben evaluar todas las variables involucradas. En primer lugar, nada es constante durante el período de postura: las aves aumentan en peso corporal, la producción de huevo aumenta rápidamente para después bajar gradualmente e incrementarse en tamaño. Estas son variaciones importantes de la parvada (Friedman y Nylund, 1980). El

clima afecta la relación EM con proteína. Cuando se usa una dieta durante el año de postura debe contener, aproximadamente, una relación de 2,860 kcal de EM por kg de alimento con 16% de proteína, de tal manera que si aumenta la energía también se incremente la proteína en la misma proporción. Esto proveerá de una relación de energía metabolizable / proteína de 8:1 (Kcal: g). La temperatura ambiental dará paso a las variaciones necesarias en el contenido de energía y proteína de la ración. Cuando aumenta el peso corporal se necesita más proteína para su mantenimiento. Durante el año disminuye el crecimiento de las plumas, necesitando menos proteína. La producción de huevo es altamente variable y la proteína de la dieta necesaria para producir la proteína del huevo es, por lo tanto, sumamente variable (Norwich, 1970). Al incrementarse el tamaño del huevo, se necesita más proteína para depositar la proteína adicional en los huevos más grandes. Después de un breve repaso puede observarse que hay una gran variación en la necesidad diaria de proteína de acuerdo con el comportamiento de la parvada, teniendo que el requerimiento de proteína puede ir desde 10.9 g. hasta 20.2 g por día. Aunque todas las variaciones no podrían aplicarse durante el año de postura. No se podría esperar que se produjeran huevos grandes en el máximo de la postura (Ockner, *et al.*, 1972). La mayoría de las parvadas Leghorn promedian alrededor de 1.4 kg en peso corporal al alcanzar la madurez sexual y poner un número reducido de huevos chicos; después de lo cual se incrementarán estas diferencias. El ejemplo típico en las granjas, muestra que el máximo requerimiento de proteína se encuentra durante el máximo de la producción de huevo, con un requerimiento diario de 16.6 g. Pero durante la cúspide de la postura, muchas gallinas en la parvada están produciendo a un 100% -un huevo por día- siendo esta proteína la más adecuada para la producción de huevo a un grado de 100%. Entonces, esta cantidad de proteína en la dieta mantendrá este alto grado en los animales de la parvada (Touchburn y Naber, 1966). La solución es comprensible si se visualiza que el promedio de producción de la parvada es de

92% y que algunas gallinas están poniendo a 100%, algunas tiene que estar poniendo a un grado de 84% o menos, por lo que comerá menos alimento y en consecuencia menos proteína en la dieta diaria (Cuadro 5).

Cuadro 5. Requerimiento diario de proteína de acuerdo a peso corporal, peso del huevo y la producción de huevo (North, 1989)

Peso corporal Kg.	Tamaño del huevo g/unidad	Producción diaria de huevo por gallina (%)					
		50	60	70	80	90	100
		Gramos diarios de proteína necesaria por gallina					
1.36	52.0	11.5	12.7	13.8	14.9	16.1	17.2
1.36	56.7	12.0	13.2	14.5	15.7	17.0	18.2
1.36	61.4	12.4	13.7	15.0	16.3	17.6	18.9
1.36	66.1	13.0	14.4	15.9	17.3	18.8	20.2
1.48	52.0	11.4	12.6	13.7	14.8	16.0	17.1
1.48	56.7	11.9	13.1	14.4	15.6	16.9	18.1
1.48	61.4	12.3	13.6	14.9	16.2	17.5	18.8
1.48	66.1	12.9	14.3	15.8	17.2	18.7	20.1
1.59	52.0	11.2	12.4	13.5	14.6	15.8	16.9
1.59	56.7	11.7	12.9	14.2	15.4	16.7	17.9
1.59	61.4	12.1	13.4	14.7	16.0	17.3	18.6
1.59	66.1	12.7	14.1	15.6	17.0	18.5	19.9
1.71	52.0	11.1	12.3	13.4	14.5	15.7	16.8
1.71	56.7	11.6	12.8	14.1	15.3	16.6	17.8
1.71	61.4	12.0	13.3	14.6	15.9	17.2	18.5
1.71	66.1	12.6	14.0	15.6	16.9	18.4	19.8
1.82	52.0	10.9	12.1	13.2	14.3	15.5	16.6
1.82	56.7	11.4	12.6	13.9	15.1	16.4	17.6
1.82	61.4	11.8	13.1	14.4	15.7	17.0	18.3
1.82	66.1	12.4	13.8	15.3	16.7	18.2	19.6

Esto es más obvio cuando uno considera que cuando la parvada llega alrededor del máximo de la postura que es a las ocho semanas, de que las primeras gallinas empezaron a poner, algunas aves apenas, están empezando a producir (Sell, *et al.*, 1976).

Las relaciones anteriores tienen un punto en común en el Cuadro 11 por medio de cálculos con una fórmula matemática. Las variaciones que se observan son de peso corporal, producción de huevo y tamaño del huevo.

2.3.8. Requerimientos minerales durante la producción de huevos

2.3.8.1. Requerimientos de calcio

Durante el período de crecimiento, la dieta debe de contener aproximadamente 0.9% de calcio y 0.6% de fósforo total (NRC, 1994). Pero una vez que empieza la producción de huevo, la necesidad de calcio es mucho mayor por la formación del cascarón, llegando a un nivel de 3.30% y de 0.35% de fósforo. Es importante destacar que un exceso de calcio durante la producción de huevos es perjudicial debido a que provoca una depresión del apetito. Además, la práctica es antieconómica; los excesos son excretados en la materia fecal. La retención es alrededor de 60% para las gallinas de postura jóvenes y de 40% para las más viejas. De igual importancia es el hecho que la necesidad de calcio se incrementa de la etapa del crecimiento a la de postura debiendo darse a solo dos semanas antes del tiempo en que se va a poner el primer huevo (NRC, 1994). El valor crítico de calcio necesario en la ración para postura esta determinado por varios factores principales, todos alteran la formulación de la ración. Alguno de esos factores son: 1) Grado de postura. (Entre mayor sea el grado, más calcio se necesitara); 2) Tamaño del ave. (Entre más grande sea el ave, consume más alimento); 3) Edad de las aves. (Más de 40 semanas de edad requieren más calcio dietético); 4) Contenido de EM en la ración; 5) Temperatura de la caseta. (Las aves consumen menos cuando las temperaturas son altas; la ración debe contener más calcio).

2.3.8.2. Requerimiento de fósforo en las ponedoras

Mucho fósforo de los ingredientes vegetales está en forma de fósforo fitico, compuesto orgánico no muy bien utilizado por el ave; solo está disponible en casi 50%. Además de la forma orgánica existe una forma inorgánica de fósforo. La necesidad de fósforo de la gallina en postura es baja debido a que hay poco fósforo en el cascarón del huevo. Tanto el exceso

como una importante deficiencia de fósforo (orgánico e inorgánico), evitaran una adecuada calcificación del cascarón. Una de las principales causas de la mala calidad y resistencia baja del cascarón es el exceso de fósforo en la dieta, mientras que las raciones escasas en fósforo total aumentan la mortalidad. La cantidad recomendada de fósforo total en la ración de postura es de 0.5%, del cual 0.2% debe ser inorgánico (NRC, 1994).

2.3.9. Requerimientos de vitaminas para producción de huevo

En el Cuadro 6 (Maurusich, *et al.*, 1981) se muestran los contenidos vitamínicos que debe poseer una ración para ponedoras. Las vitaminas más frecuentemente adicionadas a la ración de postura son: Vitamina A, Vitamina D3, Vitamina B12, Riboflavina, Ácido pantoténico, Colina, Niacina, Vitamina K.

Cuadro 6. Requerimientos de vitaminas para gallinas de postura

Vitamina	Unidades Internacionales por Kg. de alimento
Actividad Vitamina A (UI)	4,000
Vitamina D (UI)	500
Vitamina E (UI)	5.0
Vitamina K (mg)	0.5
Tiamina (mg)	0.8
Riboflavina (mg)	2.2
Ácido pantoténico (mg)	2.2
Niacina (mg)	10.0
Piridoxina (mg)	3.0
Biotina (mg)	0.1
Colina (mg)	500
Vitamina B12 (mg)	0.003

2.3.10. Disponibilidad de alimento para las ponedoras y peso corporal

Con el fin de obtener una mejor producción durante el ciclo de postura, es esencial que las aves mantengan un peso corporal congruente con la estirpe a la que pertenece. Estos pesos varían de estirpe a estirpe por lo que es conveniente pedir a los criadores de las mismas, sus

recomendaciones sobre el peso óptimo durante el período de producción. Existen diversos factores aparte de la producción que influyen sobre el peso del animal por lo que deben establecerse las estrategias pertinentes investigadas por North (1989). Algunos de esos diversos factores son: 1) Los aumentos de peso son menores con alimentación restringida; 2) Evitar competencia; 3) Vigilar bajas en el consumo; y 4) Evitar desperdicio en el alimento.

2.3.11. Producción de huevo y consumo de alimento

Un huevo contiene entre 65 y 100 kcal de energía, dependiendo de su tamaño. Cada huevo de tamaño promedio requiere cerca de 121 kcal de energía de la dieta, ya que la eficacia durante la digestión y el metabolismo es alrededor de 70%. En caso que el nivel de postura de la parvada fuera de 70% de producción de huevos por gallina/día, con una temperatura ambiente de 21.1°C, de las 306 kcal de consumo diario total por ave, 121 kcal se destinarían a la producción de huevos. Como los huevos grandes contienen más calorías que los chicos, la energía en la dieta requerida para producirlos son mayor. El tamaño del cuerpo altera el consumo de alimento. Entre más grande sea la gallina, mayor será la necesidad de alimento para el mantenimiento, por lo tanto, el consumo de alimento aumenta durante el primer año de la producción de huevo (Boyd y Edwards, 1967; Reid, 1980).

Dado que el consumo de energía es determinante en la producción de huevo, y el aceite de pescado es una fuente de energía, debe de calcularse el aporte de nergía de este aceite, el cual es de 7.064 Mcal/kg de Energía Metabolizable Aparente y para la Energía Metabolizable Verdadera se tiene un valor de 8.535 Mcal/kg (Itza *et al.*, 2002).

2.4. Composición del huevo

El huevo está formado por alrededor de 75% de agua. El contenido de agua en la albúmina es alto; la parte sólida es casi completamente proteína, con una pequeña cantidad de carbohidratos. La yema está compuesta de una alta cantidad de grasa, proteína, vitaminas y minerales (Sauveur, 1993).

El huevo es una excelente fuente de nutrimentos esenciales. Un huevo de aproximadamente 60 g (sin cascarón) contiene: 39.5-41.5 g de agua, 6.4-7.0 g de proteína, 6.1-6.9 g de grasa, 0.45-0.55 g de cenizas, 0.15-0.20 g de glúcidos y 88-95 kcal. Del total de grasas, 2.3-2.5 son saturadas, 3.5-4.0 g insaturadas y 0.24-0.27 g de colesterol. Los minerales que contienen son: calcio 29 mg, fósforo 120 mg, hierro 1.1 mg, magnesio 6 mg, sodio 72 mg, potasio 73 mg. De las vitaminas las que más destacan por su contenido son: A con 150-400 UI, D 20-80 UI, E .6-2 mg. (Sauveur, 1993; Turnbull, 1999; Carrillo, *et al.*, 1999a).

2.4.1. Calidad del cascarón

Cascarones granulados: Tales imperfecciones varían según la línea de ponedoras y la estación del año. Ciertas gallinas ponen huevos con el mismo grado de granulado a diario. La incidencia no está asociada con ningún organismo causante de enfermedad, sino que depende de las partículas de carbonato de calcio que se adhieren al cascarón. Tales huevos son castigados en el precio debido al granulado, o al orificio que se produce en el cascarón. El calcio de la ración no muestra ninguna relación con este problema (Jensen, *et al.*, 1970).

Huevos con "ventanas": En ocasiones aparecen franjas translúcidas llamadas "ventanas" en los huevos. Estos cascarones poseen una menor resistencia a la rotura y una menor densidad relativa. Algunas de estas ventanas son causadas por coartaduras ciegas

(muy pequeñas). A través de estas zonas el agua se mueve con mayor rapidez, reduciendo de ese modo la resistencia del cascarón en esos lugares. No existe método conocido para controlarlas (North, 1989).

Huevos deformes: Por lo general los huevos acanalados y deformados constituyen una pérdida económica. El alto número de ellos esta en relación directa con el número de aves en cada jaula; a mayor número de aves, mayor producción. Casi todos estos huevos son puestos en la mañana los que tienen cascarón blando son más numerosos cuando las aves permanecen en jaulas que cuando permanecen en piso de cama.

Huevos acanalados: Aquellas aves que son hacinadas en jaulas durante el proceso de endurecimiento del cascarón en el oviducto, son más propensas a poner huevos con estrías. El endurecimiento requiere de alrededor de 12 horas, y el hacinamiento genera una mayor presión sobre los flancos del ave y sobre el huevo en si. El más afectado es el extremo ancho del huevo (base), pudiendo, quebrarse o combarse, para más tarde sellarse o recubrirse con una nueva capa de cascarón.

Es necesario evitar que las aves desarrollen mucha actividad durante el período en que el cascarón esta en formación y endurecimiento. La baja calidad del cascarón se eleva como consecuencia directa de la mayor edad de la gallina, ocurre en todas las razas y líneas de aves debido a lo siguiente: La cantidad de calcio que el ave absorbe y retiene para la formación del huevo, decrece a medida que transcurre el tiempo, La cantidad de calcio en el hueso medular decrece con la edad del ave, La cantidad de material del cascarón (en peso) producido, permanece relativamente constante semana tras semana, durante el ciclo de postura (Fletcher, 1985).

Como los huevos incrementan su tamaño en forma gradual y continua durante este período, los cascarones necesariamente deben hacerse más delgados de manera de cubrir el

mayor contenido de los huevos. Existe alguna diferencia en el espesor de cascarones de huevos blancos y huevos cafés; los primeros son en muchos casos un poco más gruesos.

Aun los huevos frescos varían en muchas formas. Difieren en dureza del cascarón, condición de albúmina, color de la yema e incidencia de manchas de tejido y sangre. Estas, junto con otros factores de calidad, se deterioran con la edad de los huevos (Pedrero y Panabom, 1989).

2.4.2. Gravedad específica del huevo

Gravedad específica de los huevos: La gravedad específica de los huevos y grosor del cascarón, están relacionados; las gravedades específicas altas indican mayor grosor del cascarón. Un huevo es colocado en soluciones de diferentes gravedades específicas hasta que encuentre la solución en la que floten. Toda calificación de gravedad específica por encima de 5 indica una buena calidad de cascarón, aunque los valores anuales promedio de todos los huevos puestos por la parvada pueden variar entre 3 y 5. La calificación de gravedad específica disminuye a medida que las aves evolucionan en el ciclo de postura. Un ejemplo típico mostraría un valor de 6 el primer mes, reduciéndose en forma uniforme hasta un valor de 2.5 al cabo de 12 meses. Las aves con los mayores valores al inicio del período de postura muestran también los mayores valores al finalizar (De Groote, 1969).

Cálculo de la gravedad específica: Debe procurarse un hidrómetro que indica la gravedad específica de las soluciones entre 1.060 y 1.100. Luego deben obtenerse 9 recipientes plásticos de 37.8 l, a los que se agregan 26.5 l, de agua y 32 kg de sal (NaCl) a cada recipiente. La dilución de 454 g de sal en 3.8 l de agua, dará una gravedad específica de alrededor de 1.079. Por medio del hidrómetro, se procede a agregar sal o agua a cada recipiente hasta que la solución de cada uno alcance las gravedades específicas ya indicadas.

Se colocan 50 huevos dentro de una canasta revestida de plástico, colocándola dentro de la solución de menor gravedad específica. Se quitan los huevos que flotan, se identifica la cantidad y se repite la operación con el recipiente que posee la siguiente gravedad específica, y así sucesivamente, pasando por los nueve recipientes. Para obtener resultados más exactos, la temperatura de la solución y de los huevos debe ser la misma. Luego se calcula el porcentaje de huevos que flotaron en cada solución y la gravedad específica promedio para los 50 huevos. Repitiendo este procedimiento con otros 50 huevos, se obtendrán los datos de 100 huevos con lo que los porcentajes valores se convierten directamente en porcentajes. (AOAC, 1965).

Utilización del principio de Arquímedes para medir la gravedad específica de los huevos: Un método alternativo de medir la gravedad específica (SG) de los huevos consiste en pesar cada huevo en el aire, sumergir el huevo en el agua y pesarlo, luego estimar la gravedad específica empleando el principio de Arquímedes en donde:

$$SG = (\text{peso del aire}) / (\text{diferencia entre peso del aire y del agua})$$

Si bien el método de Arquímedes es más preciso, en determinadas circunstancias el método de la flotación debería ser satisfactorio en la mayoría de los casos (AOAC, 1980).

Porcentaje de huevos quebrados: David Roland de la Universidad de Auburn, estableció que por cada 100 huevos de cascarón duro recogidos de ponedoras Leghorn estándar, existe un adicional de 7.8 huevos que no son recolectables como consecuencia de que se pierden a través del piso de la jaula. Estos huevos son clasificados como huevos sin cascarón, de cascarón ultradelgado y delgado. Los porcentajes varían según la estación del año.

2.4.3. Cámara de aire

Cámara de aire y calidad del huevo: Normalmente las dos membranas del cascarón están separadas en el extremo más ancho del huevo para formar la cámara de aire. En el huevo recientemente puesto esta cámara es entre 2 cm. de diámetro y 0.32 cm. de profundidad. Cuando el huevo envejece, el diámetro y profundidad de la cámara de aire aumenta y la velocidad dependerá de la temperatura y composición de los gases que lo rodean. En E.U.A. los huevos están disponibles para consumo humano siempre que la cámara de aire no sea mayor de 0.96 cm. en su profundidad. (North, 1989).

2.4.4. Calidad de la yema

La yema constituye aproximadamente un 30% del peso del huevo. El contenido en materia seca es del 50%, del cual 65% es grasa y el resto proteína. Un huevo medio contiene unos 6 g de grasa, mayoritariamente en la yema. Desde el punto de vista químico, los principales lípidos de la yema son triglicérido (63%), seguidos de fosfolípidos (30%), con pequeñas cantidades de colesterol (5%) y ácidos grasos libres (1%). Los principales ácidos grasos de la yema son el oleico (44%) y el palmítico (26%). El porcentaje de insaturados es del orden del 20%, principalmente linoléico (15%), (De Blas, y Mateos, 1991; North, 1989)

Biológicamente el huevo es un buen caldo de cultivo para los microorganismos. Está protegido por el albumen, el cual contiene inhibidores enzimáticos, tales como lisozima. Los lípidos de la yema no son sintetizados en el ovario sino en el hígado. Para que la lipoproteína de la yema se sintetice en el hígado es precisa la acción de los estrógenos sexuales. Una vez formada pasa a la circulación donde por filtración pasa a la pared de los folículos en desarrollo y de aquí al interior mediante receptores específicos (Stadelman y Cotterill, 1986).

Desde el punto de vista bioquímico, la yema es una mezcla de lípidos y proteína. Los

lípidos son ápolares y requieren formar un complejo soluble en plasma para poder ser transportables. Esto se consigue mediante los complejos lipoproteicos (Wells y Belyavin, 1987). La transferencia de lípidos del plasma a la yema es directa.

Debido al proceso de formación, la composición de los lípidos de la yema depende en gran parte de la composición de la ración. Por tanto, se puede modificar la composición y color de la yema manipulando la alimentación de las ponedoras. Estudios demuestran que la presencia de específicos ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) (omega-3) en la dieta de ponedoras, son incorporados en la yema de huevo, mejoran la nutrición y la salud del consumidor (Hargis y Van Elswyk, 1990, De Blas y Mateos, 1991; Lesson y Caston, 1996).

El concepto de calidad, en el caso de la yema, abarca varios aspectos los cuales son:

Propiedades físicas de la yema. En el momento de la puesta hay un gradiente de presión osmótica entre el albumen (250 mosm) y la yema (310 mosm), que se atenúa después de forma progresiva a medida que el agua pasa del albumen hacia la yema. En principio este tránsito es lento (10 mg/día) y depende de cual sea la temperatura (a 10°C, la mencionada transferencia concluye transcurridos 120 días a 30°C). Esta transferencia es debida a una alteración de la capa externa de la membrana vitelina y al hecho de que inicialmente, las proteínas de la yema están poco hidratadas y, en consecuencia, ejercen una fuerte atracción sobre el agua del albumen. Todo esto da lugar a:

- a) Un aplastamiento de la yema: su índice de forma disminuye.
- b) Una mayor fragilidad de la membrana vitelina, que dificulta la separación de la yema y del albumen.
- La aparición, bajo la membrana vitelina, de una capa más rica en agua.
- Una disminución muy importante de la viscosidad de la yema, tal y como se

pone de manifiesto a través de los siguientes datos (Metuzzi *et al.*, 1996).

Porcentaje de agua en la yema (%):	47.2	50.0	54.0	57.6
Viscosidad-Relativa (agua = 1):	100	32.7	10.5	3.5

Todas estas alteraciones se evitan si se controla el pH del albumen como ilustran los resultados siguientes, relativos a la medida del índice de Yema (Carew *et al.*, 1972):

Índice de Yema

- Valor inicial. 0.45
- Después de 25 días de almacenamiento a 25°C en atmósfera normal. 0.30
- Después de 1 mes de almacenamiento a 0°C en atmósfera normal. 0.40
- Después de 5.5 meses de almacenamiento a 0°C sale 2.5% de CO. 0.45

También puede ocurrir el fenómeno contrario, es decir, que estas alteraciones sean aceleradas provocando la aparición de manchas en la superficie de la yema (es el denominado fenómeno de moteado), este fenómeno se puede dar en huevos recién puestos.

Después de un período de almacenamiento del huevo se constata, que cuando aparece el moteado hay: Una proporción anormalmente alta de agua en la yema (hasta el 57%), Una transferencia rápida de hierro desde la yema hacia el albumen este último adquiere una tonalidad rosácea, Una penetración de proteínas en la yema. que le dan un color asalmonado,

Estas anomalías son provocadas, entre otras causas, por: La ingestión de *aceite de algodón* (sobre todo, cuando ésta sobrepasa el 5% de la dieta total), La acción de la *Nicarbacina*. un anticoccidiostato que normalmente no se da a las ponedoras y cuyo principio activo sobre la yema es la difenilurea, En una escala menor por la *piperacina* (Bousky y Raterink, 1989).

La ingestión de *aceite de algodón* da lugar a otra anomalía estructural en la yema: en

efecto, el mencionado aceite contiene dos ácidos grasos (estercólico y malvílico) que originan un bloqueo del proceso de desaturación del ácido esteárico. En consecuencia este no puede convertirse en ácido oleico y por ello el contenido en ácido esteárico de la yema pasa del 7 al 30% con lo que la yema adquiere un aspecto pastoso (parecido al de las yemas que se encuentran en las puestas intra-abdominales).

En conclusión: excepto en casos muy especiales de ingestión de productos bien caracterizados, las propiedades físicas de la yema son, como ocurría en el caso del albumen, un reflejo directo del grado de frescura del huevo. Estas propiedades pueden preservarse siempre que los circuitos de recogida almacenamiento y comercialización, están correctamente organizados (sobre todo, en lo que a la red de frío y a los tiempos climáticos se refiere) (Chudy y Schiemann, 1969).

Sombra de la yema: Cuando se ovoscopia un huevo se forma una sombra definida en la yema. Esta es más pronunciada en huevos con cascarones blancos que en los cafés. En huevos frescos la sombra es ligera; el engrosamiento de la albúmina tiende a colocar la yema en el centro del cascarón. Pero con el paso del tiempo la albúmina se hace más delgada y permite que la yema se aproxime al cascarón con lo que crea una sombra oscura. La intensidad de la sombra de la yema indica la calidad (edad) de un huevo.

Color de la yema: La densidad de la pigmentación amarilla de la yema del huevo está estrechamente relacionada con la xantofila de la ración. Los consumidores varían en su preferencia por la densidad del color de la yema; algunos prefieren las de color tenue, otros las oscuras. En la mayoría de los casos la dieta esta alterada para producir huevos con yemas de correcta densidad de color. Muchos huevos se procesan hacia plantas de rotura de huevo, donde las yemas y claras son separadas; deshidratadas o congeladas para después usarse en la preparación de alimentos. Como muchas yemas se utilizan en la preparación de pastas y

productos similares hay necesidad que sea de color amarillo intenso. En muchos casos se adicionan intensificadores del color de la yema en alimentos (Becerril, 1988).

Yemas moteadas: El moteado de las yemas aparece como pequeños glóbulos de grasa en la superficie, producidos por el movimiento del agua de la albúmina a través de la membrana del vitelo hacia el interior. El moteado se incremento en los meses del verano, disminuyendo la cantidad de cenizas, incluso calcio, fósforo y el contenido de grasa y proteína de la yema (Brindley, 1982).

Huevos de doble yema: La frecuencia de doble yema en un huevo normal en todos los demás aspectos, puede deberse a diversos factores. Algunos científicos han enunciado que los huevos de doble yema que se producen al comienzo del ciclo de postura, pueden deberse en parte a una excesiva estimulación lumínica, mientras que aquellos que aparecen hacia fines del período de postura se deben a una falta de adecuada luminosidad, ya sea en intensidad o en longitud del período de luz diurna (North, 1989).

2.4.5. Calidad de la albúmina

Unidades Haugh para medir la calidad de la albúmina: Cuando la albúmina es medida en función de su capacidad de conservar la viscosidad, existe una gran variación en la calidad de la misma en huevos recién puestos. La edad de los huevos también influye en la calidad de la albúmina. La forma más utilizada en la actualidad para medir la calidad de la albúmina es la unidad de Haugh, que mide la altura de la albúmina luego de corregir la lectura según el tamaño del huevo.

El profesor R. Haugh, quien elaboró el factor de corrección, estableció que la calidad de la albúmina observada en el huevo esparcido, era una función logarítmica de la altura de la albúmina y no una función lineal.

Haugh propuso que se evaluara la altura de la albúmina como medida de calidad calculando su logaritmo y multiplicándolo por 100, a modo de expresarle en valores enteros. Además, agrega un factor de corrección por tamaño del huevo, ya que estableció que si dos huevos de tamaño diferente poseen la misma altura de albúmina, el huevo más pequeño presentaba una mejor calidad aparente. Con todos estos elementos la formula de Haugh se hizo muy complicada pero existen Cuadros de conversión que simplifican estos cálculos. También hay disponible un micrómetro que lee la altura de la albúmina y efectúa la conversión directa a unidades Haugh (HU). Previo a la lectura de la altura de la albúmina, es necesario ajustar el aparato en función del tamaño del huevo. La amplitud se extiende desde un valor máximo de 100 hasta mínimos por debajo de 20. Cuanto más alto el valor, mejor es la calidad de la albúmina. El Departamento de Agricultura de E.U.A. clasifica a los huevos de acuerdo a su calidad. Para que merezca el grado AA el índice de la unidad Haugh debe estar por encima de 72. Como la calidad de la albúmina se deteriora en clima caluroso y sobre la última parte del período de postura, entonces será necesario sostener un promedio anual para huevos puestos de por lo menos 78.

Albúmina rosada: La albúmina rosada puede ser causada por el gosispol, presente en raciones a base de harina de orujo de algodón.

Albúmina blanco-acuosa: Esta es con frecuencia el resultado de elevadas temperaturas ambientales o amoníaco en la caseta, huevos de gallinas de mayor edad, medicamentos a base de sulfá o enfermedades.

2.4.6. Factores que afectan la producción de huevo

Masa de huevos. Si se multiplican los índices de la producción y el peso del huevo se tendrá como resultado la masa de huevos. Esto representa la producción de huevos en peso y

no en cantidad. Resulta una mejor medida para la comparación entre líneas de ponedoras y para establecer conversión alimenticia.

Temperatura ambiental: Al subir la temperatura ambiental el tamaño del huevo decrece, a veces, el clima caluroso crea mayor problema en el tamaño del huevo.

Tamaño del huevo cuando las aves son alojadas en jaula: Normalmente y bajo circunstancias similares, las pollas en jaula producen huevos ligeramente más grandes que los puestos por pollas alojadas en el piso con cama.

Ración de postura: Ciertos componentes de la ración de postura afectan el tamaño del huevo. Los aumentos en el porcentaje de proteína están asociados, generalmente, con incrementos en el tamaño del huevo

Tamaño de las pollas en la parvada: Entre más grande sea la polla dentro de una parvada mayor será el tamaño de los huevos. Sin embargo, las aves en una parvada no siempre son de peso uniforme. Pero cuanto más uniforme es el tamaño corporal, más uniforme será el tamaño del huevo.

Período de postura: Los primeros huevos que produce una polla durante este período son los más pequeños. Gradualmente, el tamaño del huevo aumenta en la medida que la gallina prosigue dentro de su etapa de postura. Las estirpes de pollas pueden variar de acuerdo a su patrón genético; es difícil producir cualquier tipo de Cuadro que sea un parámetro para todas las estirpes.

2.4.7. Colesterol en huevo

Durante mucho tiempo se ha considerado que el colesterol es el factor indicativo mas evidente para suponer que una persona es propensa a sufrir trombosis coronaria. Como el huevo es un alimento que contiene colesterol, se supone que existe una relación directa entre

un mayor consumo de huevo y la aparición de enfermedades coronarias; sin embargo, aunque el colesterol desempeña un papel determinante en la aparición de este tipo de trastornos, existen otros factores importantes que confluyen en la presentación de tales enfermedades (Charles, *et al.* 1970).

El nivel de colesterol no es indicativo de que el individuo sufrirá un ataque cardiaco. Existen personas que tienen un alto nivel de colesterol y no sufren ninguna alteración, mientras que otras con bajo nivel de colesterol pueden sufrir trombosis coronaria. El promedio normal de *colesterol* en la sangre del hombre es de 210 mg/l/100ml; así, niveles de 240 mg de colesterol o superiores se consideran elevados, ya que el individuo tiene un riesgo inicial mayor a desarrollar enfermedades de las coronarias; sin embargo, si el consumo de colesterol es bajo, el hígado producirá mas, mientras que si es alto, disminuirá su producción. Por tanto, consumir huevos debe preocupar a aquellas personas con problemas de digestión de las grasas que consumen. (Quintana, 1999). Para Gaull *et al.* (1991), el colesterol y los triglicéridos son insolubles en agua, pero son transportadores en el plasma del cuerpo y en medios acuosos. Señala también que éstos son los mayores componentes que afectan el funcionamiento del corazón, mientras que en un trabajo realizado por Jiang y Sim (1991), indican que conforme avanza la edad de la gallina, el contenido de colesterol en el huevo se incrementa, mientras que Shafey y Cham (1994) mencionan que la dieta y el factor genético tienden a modificar el colesterol y la concentración de ácidos grasos en yema.

2.5. Importancia del consumo de las grasas

Las grasas, después de los carbohidratos, son una fuente importante de energía y son además fuente de ácidos grasos esenciales indispensables para un buen crecimiento físico y para el desarrollo del sistema nervioso. El crecimiento de los niños antes de los dos años de

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

Tradicionalmente los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) han sido considerados componentes importantes en el aporte de energía necesaria para el mantenimiento del metabolismo celular, la actividad física y el crecimiento. El rol de los AGPI como componentes estructurales de los fosfolípidos de las membranas es de mayor significado, ya que puede resultar afectado el desarrollo de la visión y de la función cerebral, lo cual ha sido identificado en los últimos años (Zhirong y Sim, 1993; García y Alcalá, 1998). Los animales son incapaces de sintetizar los ácidos linoléico (18:2n-6) y ácido alfa-linolénico (18:3 n-3). Es por esto que ellos son esenciales en nuestra dieta. La carencia de ambos se manifiesta por signos específicos: falta de crecimiento, lesiones cutáneas, menor pigmentación de la piel, pérdida de tono muscular, cambios degenerativos en el riñón, pulmón e hígado, aumento en el metabolismo basal, alteraciones en la permeabilidad de las células; trastornos en el balance de agua, aumento en la susceptibilidad a la infecciones. Estas manifestaciones desaparecen al proporcionar un 2% de la energía como AGE, especialmente de ácido linoléico (FAO, 1994).

2.5.1. Enfermedades cardiovasculares en humanos

La relación entre la dieta y la salud de una persona ha sido bien documentada, y un consumo excesivo de grasas saturadas y colesterol han sido asociados con el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, siendo estas la causa número 1 de muertes en Estados Unidos y en México.

Si elimináramos las enfermedades cardiovasculares, la expectativa de vida de una persona aumentaría hasta por 14 años (AGRA, 1999). El exceso de grasa animal y el colesterol en la dieta provoca un aumento de colesterol en la sangre, lo cual ocasiona el endurecimiento de las arterias debido al engrosamiento de la capa interior por la proliferación de tejido conectivo, la degeneración hialina, la infiltración lipóide (principalmente colesterol) y la calcificación. Esto ocasiona un estrechamiento del lumen de los vasos y disminución del flujo sanguíneo (arteriosclerosis), lo cual predispone a la formación de coágulos sanguíneos (trombos) que pueden ocluir una arteria coronaria, de modo que disminuye la aportación sanguínea a una parte del corazón. Si esta disminución es considerable, el corazón puede dejar de latir y sobrevenir la muerte. Otras enfermedades, como la diabetes, la gota, la úlcera duodenal y probablemente las perturbaciones hormonales, se han ocasionado con trombosis coronaria (Gaull *et al.*, 1991; Quintana, 1999). Se ha aislado una sustancia llamada lípido activo de la yema de huevo, la cual previene el desarrollo de depósitos de grasa (colesterol) en las células del cerebro, le da mayor funcionalidad, bloquea e invierte los efectos de la senilidad y mejora la inteligencia de la persona (Quintana, 1999).

2.5.2. La vía del colesterol en la arterioesclerosis

El primer paso para la prevención y tratamiento de enfermedades cardíacas e infartos es la reducción de niveles de colesterol sanguíneo. Las evidencias concretas demuestran que niveles elevados de colesterol son mortales. Sin embargo, no todo el colesterol es malo; este

sirve en muchas funciones vitales en el cuerpo incluyendo la formación de hormonas sexuales y ácidos biliares. Sin el colesterol, muchos procesos del cuerpo no funcionarían adecuadamente. El colesterol es transportado en la sangre por moléculas conocidas como lipoproteínas. El colesterol está unido a proteínas de baja densidad (LDL), esto frecuentemente se refiere al colesterol malo mientras que el colesterol unido con proteínas de alta densidad (HDL) se refiere al colesterol bueno. El LDL-colesterol incrementa el riesgo de las enfermedades cardíacas, infartos y altas presiones sanguíneas, mientras que el HDL-colesterol actualmente protege contra enfermedades cardíacas (Brindley, 1977). Las proteínas de baja densidad transportan colesterol a los tejidos. HDL transporta colesterol al hígado para ser metabolizado y excretado por el cuerpo. Las grandes diferencias de LDL a HDL (referido como factor de riesgo para enfermedades cardíacas) determinan si el colesterol se deposita dentro del tejido o metabolizado y eliminado. El riesgo por enfermedades cardíacas puede reducirse quitando el LDL colesterol aumentando simultáneamente los niveles de HDL colesterol. Las investigaciones han demostrado que si se disminuye 1% de los niveles de LDL colesterol los riesgos de un ataque cardíaco disminuye un 2%. Contrariamente por cada 1% de incremento en los niveles de HDL los riesgos de un ataque cardíaco disminuyen un 3 o 4% (Birch, *et al.*, 1992)

2.6. Ácidos grasos omega-3 y omega-6

Las grasas contienen algunos tipos diferentes de ácidos grasos que están envueltos en una gran variedad de funciones corporales. Los ácidos grasos pueden ser saturados, monoinsaturados o poliinsaturados. Su molécula tiene una cadena como estructura, y cada una se diferencia de otra en lo largo de su cadena y en el tipo y localización de sus enlaces. Cuando todos sus enlaces son sencillos, el ácido graso es considerado como "saturado".

Ácidos grasos con un doble enlace son llamados "monoinsaturados" (MUFA); y aquellos con dos o más dobles enlaces son "poliinsaturados" (PUFA).

La nomenclatura OMEGA se refiere a toda la serie de ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) que están formados por largas cadenas carbonadas y se emplean notaciones cortas para expresarlos, la posición del primer doble enlace a partir del último grupo metilo de la cadena carbonada es denominado "n" u omega (w , Ω , ω). La mayoría de los AGPI están dentro de las familias AGw3, AGw6 y AGw 9. (Carrillo, *et al.* 1999b).

Los AGw6 son representados por el ácido linoléico (LA, C18:2) y los AGw 3 por el ácido α -linolénico (LNA, C18:3). Ambos ácidos grasos son metabolizados a ácidos grasos de cadena larga, y esto ocurre de la forma que a continuación se describe. El LA es metabolizado a ácido araquidónico (AA, C20:4) y el LNA es metabolizado a ácido eicosapentaenoico (EPA, C20:5) y ácido docosahexaenoico (DHA, C22:6), incrementando la longitud de la cadena y grado de insaturación por la adición extra de dobles enlaces al grupo carboxilo (Simopoulus, 1991, Connor, 1996). Los procesos de alargamiento de las cadenas de ácidos grasos y formación de dobles enlaces, son conocidos como elongación y desaturación respectivamente, y están dados por las enzimas elongasa y desaturasa (Dupont, 1991; Simopoulus 1991; Jewton, 1996).

Las dietas occidentales comúnmente son altas en AGw6 y bajas en AGw3, lo cual no suple el balance apropiado para las funciones biológicas, aumentando la presencia de enfermedades cardiovasculares, hipertensión, desórdenes inflamatorios y autoinmunes, depresión y cierta ruptura en las funciones neurológicas (Newton, 1996). Los AGw3 y AGw6 son también conocidos como ácidos grasos esenciales ya que los humanos, así como todos los mamíferos no pueden sintetizarlos y deben obtenerlos de su dieta (Simopoulus, 1991).

Los ácidos grasos AGw3 y AGw6 son precursores de hormonas conocidas como eicosanoides, que participan en importantes procesos biológicos del cuerpo humano (Simopoulus, 1991). La primera etapa en la biosíntesis de estos eicosanoides es la liberación de los ácidos grasos EPA Y DHA, de los fosfolípidos de la membrana celular, por acción de la fosfolipasa A2, a partir de los cuales se producen compuestos hidroxilados, que tienen efectos potentes diversos y generalmente antagónicos y entre los cuales están productos cíclicos generados por la enzima ciclo-oxigenasa, como prostaciclina (PGI), prostaglandinas (PG), tromboxanos (TX), y leucotrienos (L T) que son producidos por la enzima lipo-oxigenasa (Barrera, 1998).

Los eicosanoides derivados del ácido araquidónico son:

Tromboxano A1 (TXA1): promueve la agregación plaquetaria, favorece la contracción del músculo liso y la vasoconstricción.

Prostaciclina (PGI2): actúa como agente vasodilatador e inhibe la agregación plaquetaria.

Prostaglandinas de la serie 2: PGF2a y PGE2: esta última causa vasodilatación e incrementa el flujo sanguíneo, bajas concentraciones estimulan la producción del factor de necrosis tumoral.

Leucotrienos de la serie 4: LTB4, LTC4, LTD4, LTE4. Los LTB4 favorecen la adherencia, agregación y degranulación de leucocitos y juegan un papel importante en procesos inflamatorios (reumatoideos).

Los eicosanoides derivados del EPA son:

Prostaglandinas de la serie 3: PGE3: Agente vasodilatador.

Tromboxanos: TXA3: fisiológicamente inactivo.

Leucotrienos de la serie 5: L TBs: actúa como antiinflamatorio.

Dupont (1991), Simopoulos (1991) y Barrera (1998), mencionan que los ácidos grasos linoléico 18:2 (AGw6) y α -linolénico C18:3 (AGw3), compiten por la utilización de la enzima Δ 6 desaturasa para licar su elongación y desaturación. de modo que los de la familia 18:3 (AGw3), suprimen el metabolismo de los de la familia 18:2 (AGw6) y viceversa. Sin embargo, las enzimas Δ 4 y Δ 6 desaturasa, prefieren a AGw3 que a AGw6 (Hoffman, 1978).

La enzima Δ 6 desaturasa está bajo el control de diversos factores dietarios y hormonales, siendo fundamental en la síntesis de los metabolitos del ácido linolénico (EPA Y DHA) y de los metabolitos del ácido linoléico (básicamente el AA). Los mecanismos de competencia, explicarían por qué ingestas altas de ácido linoléico reducen el nivel de EPA Y DHA. De allí que sea importante en la dieta la relación de ácido linoléico y ácido linolénico (FAO, 1993; citado por Barrera, 1998).

Existen algunas evidencias de que la enzima Δ 6 desaturasa decrece con la edad. Infantes prematuros, individuos hipertensos, y algunos diabéticos están limitados en su habilidad para sintetizar EPA y DHA a partir del LNA. Estos descubrimientos son importantes y necesitan ser considerados cuando se hacen recomendaciones dietarias (Simopoulos, 1991).

2.6.1. Ácidos grasos omega-3

Los ácidos grasos omega-3, (ácido docosapentaenoico) encuentran en la nuez, soya y canola; el ácido eicosapentanoico (EPA) y ácido docosahexanoico (DHA), se encuentran principalmente en pescados grasos tales como salmón y caballa y aceites de pescado. Muchos estudios sugieren que éstos ácidos grasos pueden ayudar a reducir el riesgo de enfermedades crónicas, tales como enfermedades coronarias, infartos y cáncer; pueden reducir modestamente la presión sanguínea en personas que no han sido tratadas, que tienen alta

presión sanguínea y disminuye los factores involucrados en taponeo de arterias e infartos. Estudios en animales sugieren que el EPA y DHA pueden inhibir el desarrollo del cáncer.

Además tienen propiedades hipocolesterolémicas y son de gran importancia en el desarrollo del cerebro y la retina, etc. (Simopoulos, 1991; Newton, 1996).

Algunos estudios han mostrado que la incidencia de desórdenes autoinmunes, inflamatorios y enfermedades cardiovasculares es muy baja entre los japoneses y esquimales, debido a que su dieta se caracteriza por un alto consumo de pescado, además de que hay evidencias antropológicas de que los antiguos pueblos pescadores, evolucionaron más rápido en comparación de los otros pueblos, debido a su desarrollo cerebral que se logró gracias a su dieta que principalmente se basaba en pescado (Huang y Liu, 1999)

Según Barrera (1998), los AGw3 juegan un papel importante en la disminución del riesgo de aterogénesis y trombosis, debido a que el EPA y DHA compiten con el AA de la siguiente forma:

- a) Inhiben la síntesis de AA a partir del ácido linoléico.
- b) Compiten con el AA por la posición 2 de los fosfolípidos de la membrana celular.
- c) El EPA compete con el AA como sustrato de la enzima ciclo-oxigenasa, inhibiendo la producción de TXA₂ en las plaquetas y produciendo pequeñas cantidades de TXA₃. En las células endoteliales, no se altera la producción de PGH y se produce la PGI₃, presentándose como efecto final vasodilatación y menor agregación plaquetaria.
- d) El EPA promueve la formación de LTBs (leucotrieno de la serie 5), el cual compete con el L TB₄ (leucotrieno de la serie 4), ejerciendo de esta manera efectos antiinflamatorios (Treadwell, 1968).

2.6.2. Ácidos grasos omega-6

Los ácidos grasos Omega-6 son otra clase de ácidos grasos poliinsaturados. Ellos incluyen los ácidos grasos esenciales linoléico y ácido araquidónico. El ácido linoléico comprende la mayoría de las grasas poliinsaturadas consumidas en los Estados Unidos y provienen de una gran variedad de productos animales y vegetales que se ingieren comúnmente. El ácido linoléico es el ácido graso que predomina en aceites vegetales como soya, maíz y girasol. Las investigaciones demuestran que los ácidos grasos Omega-6 pueden reducir el riesgo de enfermedades coronarias. Estudios clínicos demuestran que el ácido linoléico, disminuye el colesterol total y niveles de LDL – colesterol sanguíneo e incrementa los niveles de HDL – colesterol, como muchos ácidos grasos monoinsaturados tales como aquellos que se encuentran en aceite de oliva y canola (Uauy y Hoffman, 1991).

2.6.3. Fuentes alimenticias de ácidos grasos omega 3 y 6

Los ácidos grasos omega-6 son representados por el ácido linoléico (LA, C18:2), el cual se metaboliza a araquidónico (C20:4); y por los omega-3 representados por el ácido alinolénico LNA; (C18:3), del cual se derivan el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA). Los omega-3 y omega-6 son también conocidos como ácidos grasos esenciales ya que los humanos, así como todos los mamíferos no pueden sintetizarlos y deben obtenerlos de su dieta (Dupont, 1991; Simopoulos 1991; Newton, 1996).

Las dietas clásicas occidentales son altas en ácidos grasos omega-6 y bajas en omega-3, lo cual no supe el balance apropiado para las funciones biológicas, aumentando la presencia de enfermedades cardiovasculares, hipertensión, desórdenes inflamatorios y autoinmunes, depresión y cierta ruptura en las funciones neurológicas (Newton, 1996).

2.6.3.1. Fuentes vegetales

Los principales ácidos grasos de este grupo son los omega 6, y son representados por el ácido linoléico. Este ácido graso procede en su totalidad de las plantas y se encuentra sobre todo en los aceites vegetales. Durante muchos años se ha considerado como un aceite graso reductor del colesterol (Grundy y Denke, 1990).

Las algas son el eslabón importante en la cadena alimenticia en el origen de los ácidos grasos poliinsaturados. El pescado come algas que en forma natural son una fuente rica de omega 3, que son utilizados como suplemento en la alimentación de ponedoras (Van Elswyk, 1994; Van Elswyk, 1997). Así mismo, el plancton contiene ácidos grasos omega-3; los peces convierten el ácido alfa linolénico en ácido eicosapentaenoico y ácido docosahexaenoico por alargamiento y desaturación (Símpoulus, 1988; citado por Krause, 1995). Es importante notar que existen fuentes vegetales de ácido linolénico como los aceites de soya, canola y colza. Otras fuentes corresponden a los aceites de linaza, nuez y germen de trigo (Barrera, 1998; Reaven y Reaven, 1977). Ayerza y Coates (1999), encontraron que la Cilla (*Salvia hispanica* L) es una fuente más de ácidos grasos omega 3 y, Shafey y Cham (1994) consideran también al triticale. La canola es otra fuente de ácidos grasos omega 3 principalmente (Farrell, 1991).

2.6.3.2. Fuentes marinas

Los ácidos grasos insaturados omega-3 de cadena larga, 20:5n-3 y 22:6n-3, se encuentran en cantidades mayores en los peces ricos en grasa y en los mamíferos marinos (Innis, 1991). Los ácidos grasos omega-3 con más de 18 átomos de carbono son sintetizados principalmente por el fitoplancton viviente en agua y son transferidos vía cadena alimenticia a los animales mayores: camarón, crustáceos, foca, ballena, y eventualmente el hombre. En general, el contenido de ácidos grasos de cadena larga omega-3 es más alta en los animales

marinos que contienen la más alta cantidad de grasa. Una abundante fuente alimenticia de omega 3 son los peces de agua fría como el salmón, la caballa, el arenque, la sardina, y el atún (Simopoulus, 1991; Daviglus *et al.*, 1997); microalgas (Van Elswy, 1994), langostilla (Carrillo *et al.*, 1999a); harina de anchoveta y subproductos de pescado como cabeza de camarón.

En el Cuadro 7, aparece el contenido de ácidos grasos omega-3 de algunas especies marinas. La composición de los aceites marinos es influida considerablemente por la especie, edad, estación del año y otros factores (Egan *et al.*, 1993).

Cuadro 7. Contenido de ácidos grasos omega-3 en algunos alimentos de origen animal.

Especie	Ácidos grasos omega-3 g/100g de alimento
Trucha de lago	2.5
Trucha arco iris	1.6
Arenque del atlántico	1.6
Sardina en lata	1.7
Salmón del atlántico	1.2
Bacalao del atlántico	0.3
Caballa	2.5
Cangrejo	0.3
Camarón	0.5
Ostra	0.5
Aceite de hígado de Bacalao	18.5
<u>Aceite de Menhaden</u>	20.6

Fuente: Leaf 1988, citado por Barrera (1998); Drevon, (1992).

La composición de ácidos grasos omega-3 del aceite de atún reportada por Castillo (2000), es de 4.14 mg de ácido linolénico, 56.90 mg de EPA y 165.7 mg de DHA; para los omega-6 es de 13.90 mg de ácido linoléico y 14.72 mg de ácido araquidónico. Todas las cantidades están dadas por gramo de lípido.

2.6.4. Proporción correcta de ácidos grasos esenciales

Desde mediados de 1985, el consumo de los ácidos grasos esenciales Omega-3 ha disminuido hasta llegar a una sexta parte de lo requerido, debido a los cambios que ha habido en el procesamiento de nuestros alimentos con estas modificaciones impuestas a lo largo de nuestra vida. Por lo contrario, el consumo de los ácidos grasos Omega-6 ha aumentado al doble de los valores recomendados, el cuál dramáticamente ha alterado los rangos de los ácidos grasos esenciales Omega-3:Omega-6, afectando la composición de nuestros tejidos grasos y nuestra salud (Scheideler, 1997). La proporción Omega-6:Omega-3 en el cerebro de humanos es de 1:1; en tejidos grasos 5:1; otros tejidos 4:1. La conversión enzimática de los Omega-3 es 4 veces más rápida que los omega-6. La cantidad óptima de Omega-3 es de 0.2g para niños y de 0.9g para adultos ó de 1 a 2 cucharadas, mientras que los niveles óptimos que se sugieren para el Omega-6 son de 0.4 a 1.8 g o una cucharada por día para adultos . El aceite de linaza (presión fría) es una fuente de los ácidos grasos Omega-3. Las semillas de girasol completas (sin refinar) y las semillas de calabaza son buenas fuentes de los ácidos grasos Omega-6 (Scheideler, 1997).

2.6.5. Modificación de ácidos grasos en huevo

La incorporación de AGPI en las dietas de las gallinas, modifica el perfil de ácidos grasos de la yema del huevo, aumentando el contenido de AGPI, fundamentalmente aquellos de la serie Ω -3 cuando las gallinas son alimentadas con productos marinos, principalmente aceite de hígado de bacalao y aceite de linaza, como se puede observar en el cuadro 8 (Farrell, 1991; Hargis y Van Elswyk, 1992).

Cuadro 8. Fuentes de ácidos grasos poliinsaturados.

Grupo	Nombre Común	Formula	Fuente
Omega-3	Alfa-linolénico	C18:3n-3	Linaza, canola, nueces, aceite de girasol
	EPA (Eicosapentaenoico)	C20:5n-3	Carne y aceite de pescado
	DHA (Docosahexaenoico)	C22:6n-3	Carne y aceite de pescado
Omega-6	Ácido linoléico	C18:2n-6	Maíz, girasol, soya, algodón, aceite de girasol y productos animales.
	Araquidónico	C20:4n-3	Maíz, girasol, soya, algodón, aceite de girasol y productos animales

Fuente: Canadian Egg Marketing Agency 1997.

La manipulación de la composición de la yema utilizando carne y aceite de pescado no es algo nuevo. Murty y Reiser (1961) citados por Hargis y Van Elswyk, (1993), reportaron alteraciones de los ácidos grasos de la yema con el uso de aceites marinos. Yu y Sim (1987) citado por Hargis y Van Elswyk (1993) incorporaron aceite de salmón y sebo de res en la dietas comerciales de ponedoras, a un nivel de 8% de grasa (Cuadro 9). Informaron un incremento de omega-3 (EPA y DHA) en la composición de la yema y una disminución del contenido de n-6 en la yema. Se menciona que el EPA fue significativamente mayor y el araquidónico disminuido. Phetteplace y Walking (1989) citado por Hargis y Van Elswyk (1993), incorporó 5% de aceite de linaza (rica en linoléico) y 5% de aceite de pescado en la dieta de pollos. Encontrando que ambos aceites incrementan significativamente ($P<0.05$) el contenido de omega-3, el incremento de EPA y DHA por linaza fue menor, teniendo como resultado los siguientes valores: 2.9 y 2.2% de EPA y DHA con linaza respectivamente, mientras que con aceite de pescado 20 y 17 % de EPA y DHA en pechuga y pierna respectivamente, El uso de linaza resulta en una deposición predominante de ácido linoléico en el músculo. Lesson (1996) incorporó 0, 10, 20 y 30% de semilla de lino en la dieta de ponedoras y encontró un incremento en el nivel de ácido linoléico en la yema (0.38% en el tratamiento control, mientras que con lino encontró un nivel de 11.5% al utilizar 30% de

lino). DHA y EPA también se incrementaron de manera significativa, sin embargo el incremento no fue en la misma proporción que el ácido linoléico, el EPA incrementó a un máximo de 0.12% y DHA a 0.2% Cherian y Sim (1991) citados por Hargis y Van Elswyk, (1993) proporcionaron 8 y 16% de lino y 16% de canola.

Los resultados obtenidos demostraron que la canola también incrementa el contenido de Ω 3 en huevo, aunque en menor proporción, mientras que el lino incrementó hasta 8.8% del ácido linoléico. El EPA y DHA incrementaron a un nivel de 0.3% y 0.5% respectivamente con canola y 0.2% con lino.

Cuadro 9. Contenido de los ácidos grasos (mg/g lípidos) en huevo al incluir diferentes ingredientes en la dieta de las aves

INGREDIENTE	LA	AA	ALA	EPA	DHA	TOTAL	
						Ω-3	Ω-6
Algas Marinas							
9% <i>M. pyrifera</i>	98.11	13.78	1.32	0.40	5.84	7.56	111.89
9% <i>Ulva spp</i>	77.67	11.66	1.13	0.38	4.90	6.41	89.33
9% <i>Mp</i> + <i>Uspp</i>	105.79	14.97	1.67	0.47	6.44	8.58	120.76
10% <i>Mp</i> + <i>Ss</i>	145.61	20.73	1.35	0.65	6.47	8.47	166.34
12% <i>Mp</i> + <i>Ss</i>	143.47	24.07	1.66	0.46	8.01	10.13	167.54
10% <i>Uspp</i>	146.40	16.50	2.20	nd	5.80	8.00	162.90
Crustáceos							
3% h. langostilla	110.87	20.93	1.50	1.16	12.18	14.84	131.80
6% h. langostilla	123.62	21.18	1.63	1.69	24.16	27.48	144.80
3% h. camarón	119.92	18.95	1.43	0.57	7.32	9.32	138.87
6% h. camarón	126.51	17.83	1.30	0.98	7.04	9.32	144.34
9% h. camarón	126.27	19.55	1.23	0.74	8.35	10.32	145.82
Peces							
3% h. anchoveta	107.08	14.67	1.38	0.96	17.82	20.16	121.75
6% h. anchoveta	89.31	10.72	1.10	1.13	20.66	22.89	100.03
9% h. anchoveta	71.16	9.75	0.90	1.49	23.69	26.08	80.91
Plantas Acúaticas							
5% <i>Azolla-anabaena</i>	102.05	17.67	1.43	0.34	6.97	8.74	119.72
10% <i>Azolla-anabaena</i>	98.68	14.68	1.36	0.37	6.83	8.56	113.36

Fuente: Carrillo et al 1999a. Narciso 1998.

2.7. Metabolismo, degradación y síntesis de las grasas en las aves

El metabolismo de las grasas es un proceso en el que los ácidos grasos se convierten y usan para energía, producción de huevo y almacenamiento como grasa corporal. A diferencia de otros nutrientes, la grasa no se excreta en su forma original o como subproducto. Los excesos sólo pueden depositarse en las células grasas (North 1993). Una vez absorbidos, los ácidos grasos y los monoglicéridos, se reesterifican mediante la acción de la enzima acil-CoA-ligasa que se encuentra en el retículo endoplásmico de las células de la mucosa intestinal. Los ácidos grasos son transportados en los citoplasmas unidos a una proteína (albúmina), perdiendo su potencial de carácter tóxico para la célula. Después de reesterificarse los triglicéridos, se mueven hacia el aparato de Golgi, donde el colesterol, proteínas y fosfolípidos son añadidos formando unas partículas denominadas lipoproteínas, las cuales son el vehículo de transporte de las grasas en la sangre (Boucrot, 1972). Las lipoproteínas sintetizadas en las células del intestino se llaman portamicrones debido a que son transportadas a través de la vena porta hasta el hígado, el órgano más importante en la síntesis de ácidos grasos y triglicéridos en aves. Una vez sintetizados los triglicéridos son incorporados a lipoproteínas mediante un proceso similar al que ocurre en la pared intestinal. Estas lipoproteínas tienen muy baja densidad y suelen denominarse VLDL (lipoproteínas de muy baja densidad). Las VLDL son las lipoproteínas cuantitativamente más importantes en las aves y, en particular, en la gallina ponedora, pues son el vehículo de transporte de las grasas entre el hígado y los tejidos extrahepáticos, por ejemplo el ovario, donde son utilizadas para la formación de la yema de huevo (De Blas y Mateos, 1991). Los lípidos no utilizados en el hígado y no incorporados a la yema se utilizan en otros tejidos como corazón y músculo o son almacenados en el tejido adiposo (De Blas y Mateos, 1991).

2.7.1. Incorporación de las grasas en la yema de huevo

Al comienzo de la puesta, la concentración de lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) en la sangre aumenta de 60 a 1400 mg/100 ml de plasma aproximadamente, mientras que las lipoproteínas de alta densidad (HDL) se reducen de 360 a 180 mg por cada 100 ml de plasma. Además, el plasma de las gallinas ponedoras contiene una lipofosfoproteína identificada como vitelolina que se disocia en fosvitina y lipovitelina. Esta lipofosfoproteína y las VLDL son los principales precursores de la yema de huevo (De Blas y Mateos, 1991).

PROBLEMÁTICA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. Problemática

- A. Falta evidencia acerca del enriquecimiento de la yema del huevo con ácidos grasos AGw3 a partir de la alimentación de las aves.
- B. Se desconoce el efecto de la sustitución de aceite vegetal por aceite de atún en dietas para gallinas de postura.
- C. Hoy las enfermedades cardiovasculares y crónico degenerativas son la principal causa de mortalidad. En nuestro país los AGw son nutrimentos que pueden ayudar a reducir este problema y el huevo puede ser un excelente vehículo para hacer llegar a amplios sectores de la población de los beneficios de estos nutrimentos.

3.2. Hipótesis

- 1) La yema del huevo se enriquece con ácidos grasos AGw3 al adicionar a la dieta aceite de atún.
- 2) La sustitución de aceite vegetal con aceite de atún en dietas de gallinas ponedoras no afecta los parámetros productivos de las gallinas ponedoras.
- 3) La sustitución de aceite vegetal con aceite de atún en dietas de gallinas ponedoras afecta la calidad del huevo.
- 4) La sustitución de aceite de soya con aceite de atún en dietas de gallinas ponedoras alteran la composición lipídica del huevo.

3.3. Objetivos

1. Evaluar el efecto de la sustitución de aceite vegetal con aceite de atún en dietas para gallinas ponedoras sobre los parámetros productivos.
2. Evaluar el efecto de la sustitución de aceite vegetal con aceite de atún en dietas para gallinas ponedoras sobre los parámetros de calidad,
3. Determinar la cantidad de lípidos totales del huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de atún.
4. Cuantificar los ácidos grasos AGw3 y AGw6 presentes en el huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de atún.

CAPITULO III

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y DE CALIDAD DE HUEVO DE GALLINAS ALIMENTADAS CON ACEITE DE ATÚN EN SUSTITUCIÓN DE ACEITE CRUDO DE SOYA^a

Vázquez Valladolid José Luis^b, González Alcorta Mariano Jesús^b, Carrillo Domínguez Silvia^c,
Huerta Bravo Maximino^b.

^a Versión [2] para someterse para su posible publicación en la Revista Agrociencia.

^b Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México CP.56592. Tel. 01 59 595 21685.

^c Departamento de Nutrición Animal, Instituto Nacional de Ciencias Medicas y Nutrición Salvador Subirán, México.Tel. 015555731200 ext 2820.

RESUMEN

Los ácidos grasos omega-3 ($AG\omega 3$) pueden prevenir enfermedades cardiovasculares en humanos, sin embargo, su consumo es bajo todavía. El objetivo de esta investigación fue evaluar la inclusión del aceite de atún (AT) en dietas de gallinas de postura como fuente de $AG\omega 3$. Se utilizaron 200 gallinas blancas Leghorn, de 22 semanas de edad, distribuidas en cinco tratamientos, con cuatro replicas cada uno, y en un diseño completamente al azar con arreglo factorial, con un análisis complementario de contrastes ortogonales. Los factores fueron meses del experimento (1, 2 y 3) y cinco combinaciones de aceite crudo de soya: aceite de atún (3:0, 0.75:2.25, 1.5:1.5, 2.25:0.75 y 0:3 como porcentaje de la dieta). El comportamiento productivo se midió a través de consumo de alimento (CAD), masa de huevo (MHAD), porcentaje de postura (PPOST) y conversión alimenticia (CA). La calidad del huevo se evaluó con el grosor de cascarón (GC), peso del huevo (PUH), altura de la albúmina (HA) y unidades Haugh (UH). Se determinaron también lípidos totales (LT) en dietas y huevo, y tres tipos de $AG\omega 3$ en aceites, dietas y huevo, por cromatografía de gases. Se detectaron diferencias ($P < 0.05$) entre combinaciones de los aceites, para CAD, CA, EA, HA, UH y contenido de lípidos totales en el huevo. La suplementación de AT enriqueció linealmente ($P < 0.05$) al huevo con $AG\omega 3$ (331.2, 536.83, 552.06, 598.47 y 709.49 mg. por 100g de muestra), principalmente con los ácidos Eicosapentaenoico y Docosahexaenoico. La relación entre $\omega 6:\omega 3$ (6.54, 4.15, 3.21, 2.60 y 1.808) decreció linealmente ($P < 0.05$) con el incremento dietético de niveles de AT. La combinación de aceites de 0:3 en la dieta enriqueció al máximo a la yema de huevo con $AG\omega 3$.

Palabras clave: Gallinas, Huevos enriquecidos con Omega-3, Lípidos del huevo, Aceite de atún.

ABSTRACT

Omega-3 (ω 3) fatty acids may prevent cardiovascular human diseases, nevertheless its intake is still low. This research was carried out in order to enrich eggs with ω 3 fatty acids through tuna oil (AT) laying hen dietary supplementation. Two hundred white Leghorn hens of 22 weeks old were allocated on five treatments, with four replicates each one, on a complete randomized design with factorial arrangement. A complementary contrast analyses was performed. Treatments consisted on five combinations of soybean oil: tuna oil (3:0, 0.75:2.25, 1.5:1.5, 2.25:0.75 y 0:3). Productive performance, were recorded through feed intake (CAD), egg mass (MHAD), posture percentage (PPOST) and feed conversion (CA). Egg quality was evaluated through shell thickness (GC), egg weight (PUH), height albumin (HA) and Haugh units (UH). Total lipids (LT) on diets and eggs were also determined. Three types of ω 3 were determined on oil, diets and eggs through a gas chromatography technique. There were differences ($P < 0.05$) among treatments for the CAD, CA, EA, HA, UH and total lipids variables. The dietary tuna oil supplementation enriched linearly ($P < 0.05$) eggs with ω 3, (331.2, 536.83, 552.06, 598.47 y 709.49 mg/ 100 g lyophilized egg) mainly with EPA and DHA fatty acids. The ω 6: ω 3 ratio (6.54, 4.15, 3.21, 2.60 y 1.808) decreased linearly ($P < 0.05$) with increasing dietary tuna oil levels. The dietary oil ratio 0:3 enriched the egg yolk with the maximum ω 3 concentration.

Key words: Hens, Omega-3 enriched eggs, Tuna oil, Egg lipids.

industria de atún, es una fuente rica de AG ω 3, en EPA y DHA (FIRA, 1998, Castro-González *et al.*, 2001). El huevo se ha enriquecido con AG ω 3 hasta con un máximo de 32 mg por gramo de lípido, con la combinación de 2 % de aceite de atún y 1 % de aceite de cártamo en la dieta, sin efectos adversos en comportamiento productivo o en calidad del huevo, en gallinas de postura Isa-Babcock en la última fase de postura (Castillo *et al.*, 2001; Vázquez *et al.*, 2000). La presente investigación se realizó para evaluar el efecto, de la sustitución de aceite crudo de soya con aceite de atún, en dietas para gallinas ponedoras Hy Line en los primeros tres meses de postura, sobre los parámetros productivos, la calidad del huevo, la cantidad de lípidos totales y de AG ω 3 presentes en el huevo producido.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en la granja experimental del INIFAP ubicada en el Km. 38.5 de la carretera México-Texcoco en el municipio de Texcoco, Estado de México; y está localizada a 19° 21' 00" latitud norte y 98° 53' 10" longitud oeste, a una altitud de 2,255 msnm; con un clima Cb (w_o) (i') g y con una temperatura media anual de 15.2 °C, (García, 1988).

Se utilizaron 200 gallinas Leghorn de la línea Hy-Line variedad W98 de 22 semanas de edad, distribuidas en cinco tratamientos con cuatro repeticiones cada una. Las aves fueron alojadas de dos por jaula, teniendo que fueron cinco jaulas por repetición, y fueron alojadas durante los 90 días de duración del experimento, con disponibilidad de agua y alimento *ad libitum*. Las dietas se formularon cubriendo las necesidades nutricionales para gallinas de postura determinados por el N.R.C. (1994),

Los tratamientos consistieron en la sustitución del aceite crudo de soya por aceite de atún (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición y análisis de las dietas experimentales

Ingrediente		Trat. 1	Trat. 2	Trat. 3	Trat. 4	Trat. 5
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Sorgo		62.55	62.55	62.55	62.55	62.55
Soya		23.85	23.85	23.85	23.85	23.85
Aceite de soya		3.00	2.25	1.50	0.75	0.00
Aceite de atún		0.00	0.75	1.50	2.25	3.00
Carbonato de calcio		8.33	8.33	8.33	8.33	8.33
Ortofosfato de calcio		1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
Sal		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
P. Mineral		0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
P. Vitamínica		0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Cloruro de colina		0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
DL-metionina		0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Pigmento		0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Total		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Nutrimento	NRC*(1994)	Trat. 1	Trat.2	Trat.3	Trat.4	Trat.5
EM (Mcal)	2.60	2.857	2.850	2.842	2.835	2.827
Prot.cruda (%)	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
Lisina (%)	0.75	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
Metionina (%)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Met-cist. (%)	0.58	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Calcio (%)	3.30	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
Fósforo (%)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35

*Recomendación del NRC

Las variables a medir se dividieron en:

A) Productivas: Consumo de Alimento por Ave por Día (CAD), Masa de Huevo por Ave por Día (MHAD), Porcentaje de Postura (PPOST), Conversión Alimenticia (CA) y Eficiencia Alimenticia (EA), las cuales son reportadas en tres periodos de un mes cada uno.

B) Calidad física de huevo: Grosor de Cascarán (GC), en la cual se utilizó un micrómetro marca Mitutuyo 5160.04, Peso de Unitario de Huevo (PUH), se pesó en una balanza

electrónica marca Shimadzu modelo Libror AEG-120, y Altura de la Albúmina (HA) y Unidades Haugh (UH). Para obtener las Unidades Haugh, se utilizó el método propuesto por Haugh, (1978) citado por Pérez et al (1998) mediante la fórmula:

$$100 \times \log (\text{altura de albúmina} - 1.7^{(\text{peso} \times 0.37)} + 7.57).$$

Para este, al igual que para el análisis de variables productivas, se dividió el trabajo en tres meses. Las muestras fueron tres huevos por repetición de cada uno de los tratamientos, a las cuales se registró su peso individual, al igual que el grosor de su cascarón, altura de la albúmina y unidades Haugh. Los resultados reportados en la sección correspondiente son las medias de los tratamientos por periodo, por lo tanto las medias son el promedio de tres datos por repetición.

C) Composición lipídica de los aceites, dietas y huevo. A los aceites, a las dietas y al huevo, se les determinaron lípidos totales a través de una extracción con cloroformo:metanol 2:1, siguiendo el método de Folch *et al.* (1957) Los ácidos grasos linoléico (C18:2 LA), alfa-linolénico (C18:3 ALA), araquidónico (C18:4 AA), eicosapentaenoico (C20:5 EPA) y docosahexaenoico (C22:6 DHA), se cuantificaron siguiendo el método descrito por Castro-González et al (2001), que consiste en metilar el extracto lipídico con una solución de hidróxido de sodio y metanol. Se empleó una mezcla de esteres metílicos para identificar el tiempo de retención de cada uno de ellos y así realizar su cuantificación. El ácido miristoléico (C17:0) se empleó como estándar interno y se determinaron los ácidos grasos en un cromatógrafo de gases modelo Varían 3400 con Detectór de ionización de Flama (DIF), usando una columna capilar DB23 de 30m de longitud y 0.25 mm de diámetro interno (Castro-Gonzalez, 2002).

Análisis Estadístico

El diseño estadístico que se utilizó un modelo completamente al azar, con arreglo factorial de tratamientos usando el paquete estadístico SAS (2000). El modelo estadístico fue: $Y_{ijk} = M + MES_i + NAT_j + MES_i * NAT_j + E_{ijk}$; En donde Y_{ij} = Valor de la variable respuesta correspondiente al i-ésimo mes, en el j-ésimo nivel de aceite de atún en la k-ésima repetición; M = Media general; MES_i = Efecto del i-ésimo mes; NAT_j = Efecto del j-ésimo nivel del aceite de atún; $MES_i * NAT_j$ = Interacción del mes con los niveles de aceite de atún; E_{ijk} = Error experimental del i-ésimo mes con el j-ésimo nivel de aceite de atún y k-ésima repetición. (Steel and Torrie, 1988). Se realizaron contrastes ortogonales para separar los diferentes componentes de la varianza del factor MES, NAT e interacciones entre ellos. Para el factor MES se realizaron contrastes lineales (LM) y cuadráticos (CM). En lo que respecta al factor NAT se efectuaron los contrastes lineales (LA), cuadráticos (CA), cúbicos (UA) y cuárticos (QA). En el caso de la interacción se probaron las combinaciones de los contrastes anteriores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del comportamiento productivo se presentan en el Cuadro 2. El mes del experimento afectó ($P < 0.05$) el consumo de alimento, el porcentaje de postura y la conversión alimenticia. La masa de huevo no fue afectada. En las variables afectadas se observan efectos ($P < 0.05$) lineales y cuadráticos que se explican por un incremento del consumo de alimento en el tercer mes y una disminución del porcentaje de postura y aumento en la conversión alimenticia de mayor magnitud que en los meses anteriores.

El nivel de aceite de atún en la dieta no afectó ($P > 0.05$) la masa de huevo ni al porcentaje de postura. En cambio para las variables consumo de alimento y conversión

alimenticia fueron modificados por el nivel de aceite de atún en la dieta ($P<0.05$), presentándose efectos lineales y cúbicos para consumo de alimento y solamente cúbico para conversión alimenticia, teniendo que el menor consumo de alimento y la menor conversión se lograron con el nivel de aceite de atún de 2.25% en la dieta.

No hubo interacción ($P>0.05$) entre el mes y el nivel de aceite, para ninguna de las variables productivas evaluadas.

En cuanto al consumo de alimento estos resultados concuerdan con los reportados por Baucells (2000), quienes mencionan que la inclusión de aceite de atún en las dietas de las aves afecta el consumo de alimento. Dado que las aves ajustan su consumo de alimento para cubrir sus requerimientos de energía (NRC, 1984), lo anterior significa que si el aceite de atún (Itza *et al.* 2002) aportara menos energía que el aceite de soya (NRC, 1994; González-Ezquerria, 2001) el ave hubiese incrementado su consumo de alimento a medida que se incrementó el primero en la dieta.

Cuadro 2. Consumo de alimento, Masa de huevo, porcentaje de postura y conversión alimenticia en gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de atún durante tres meses.

MES	CAD g/a/d		MHAD g/a/d		PPOST %		CA	
	MEDIA	EE	MEDIA	EE	MEDIA	EE	MEDIA	EE
1	101.364 b	0.959	57.00 a	0.365	92.82 a	0.490	1.76 b	0.017
2	101.364 b	0.959	57.01 a	0.365	92.84 a	0.490	1.77 b	0.017
3	112.156 a	0.806	55.61 a	0.825	85.98 b	0.551	2.04 a	0.020
N. Aceite de atún(NAT)								
0.00	105.643 ab	2.067	57.69 a	1.278	90.48 a	1.154	1.86 ab	0.049
0.75	107.304 a	1.535	56.83 a	0.516	90.95 a	1.558	1.88 a	0.034
1.50	106.485 a	1.541	56.30 a	0.472	90.45 a	0.819	1.88 a	0.036
2.25	101.478 b	2.019	56.07 a	0.494	91.16 a	1.343	1.79 b	0.052
3.00	103.895 ab	1.973	55.79 a	0.591	89.73 a	0.814	1.87 ab	0.047
Significancia	P>F		P>F		P>F		P>F	
Mes	0.0001		0.1718		0.0001		0.0001	
N. Aceite	0.027		0.4355		0.5706		0.0292	
Interacción	0.6563		0.9373		0.1712		0.3119	
Efectos Significativos ¹	LM*. CM*. LA*. UA*				LM*. CM*		LM*. CM*. UA	

LM*= Efecto lineal del mes, $P<0.01$; CM*= Efecto cuadrático del mes, $P<0.01$; LA*= Efecto lineal del nivel del aceite de atún, $P<0.01$; UA*= Efecto cúbico del nivel del aceite de atún, $P<0.01$; UA = Efecto cúbico del nivel del aceite de atún, $P<0.05$; Medias con diferente literal dentro de una columna denota diferencias significativas ($P<0.05$).

En lo referente a la conversión alimenticia (CA), se observó que en el tercer mes ($P<0.05$) se obtuvo la más alta conversión alimenticia (CA). Lo anterior debido a que las aves consumieron más alimento con respecto a los meses anteriores ($P<0.05$). Las conversiones alimenticias obtenidas están dentro del rango recomendado por Hy-line (2001).

En el Cuadro 3 se presentan los resultados que corresponden a las variables de calidad. Para estas variables, el factor mes afectó ($P<0.05$) el grosor de cascarón, el peso unitario de huevo, la altura de albúmina y las unidades Haugh. Para todas estas variables se presentaron efectos lineales ($P<0.05$), y solamente para grosor de cascarón, también se observó un efecto cuadrático ($P<0.05$). Todo esto se explica debido a que en el tercer mes se dieron los valores más bajos y para peso unitario el valor más alto, en comparación a los dos meses anteriores.

El nivel de aceite de atún afectó ($P<0.05$) a la altura de albúmina y a las unidades Haugh, presentándose efectos lineales y cuárticos para ambas variables, esto conforme el nivel de aceite de atún aumento los valores de altura de albúmina y las unidades Haugh también lo hicieron, excepto con el nivel de 2.25% de aceite de atún en donde se manifestó una caída drástica de los valores para estas variables. También en peso unitario de huevo se vio afectado por el nivel de aceite de atún en la dieta en forma cuadrática ($P<0.05$) debido a que con 1.50% de aceite de atún se presentó el valor más alto para el peso de huevo.

No se presentaron interacciones ($P>0.05$) entre el mes y el nivel de aceite de atún para ninguna de las variables de calidad de huevo.

Es importante recalcar que el grosor del cascarón disminuye a medida que la edad de las aves avanza. Por otra parte, el cambio de aceite crudo de soya por el de atún no alteró ($P>0.05$) el grosor del cascarón (GC). Los valores de GC encontrados están entre los

estándares de espesor que van de 0.3 a 0.45 mm (Vázquez, 2000). Estos resultados concuerdan con los de Grobas *et al.* (2001), quienes obtuvieron valores de 0.343 mm, también dentro de los estándares. Pero no concuerdan con el trabajo de Narciso (1998) quien encontró valores de grosor de cascarón de 0.295 a 0.302 mm, en el límite inferior de los estándares, con una dieta a base de Azolla-Anabena.

Cuadro 3. Grosor de cascarón, peso unitario de huevo, altura de albúmina y unidades Haugh de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de atún durante tres meses.

Mes	GC mm		PUH g		HA mm		UH	
	MEDIA	EE	MEDIA	EE	MEDIA	EE	MEDIA	EE
1	0.46 a	0.004	60.49 c	0.484	8.28 a	0.094	90.30 a	0.504
2	0.41 a	0.003	62.16 b	0.327	7.92 b	0.088	88.03 b	0.480
3	0.40 b	0.007	63.52 a	0.401	7.88 b	0.105	87.34 b	0.631
N. Aceite de atún								
0.00	0.43 a	0.006	61.65 a	0.790	7.78 b	0.131	87.33 b	0.859
0.75	0.44 a	0.013	62.82 a	0.415	7.89 ab	0.110	87.60 b	0.613
1.50	0.44 a	0.006	62.88 a	0.466	8.22 ab	0.127	89.37 ab	0.693
2.25	0.45 a	0.009	61.98 a	0.522	7.88 b	0.105	87.83 b	0.597
3.00	0.44 a	0.006	60.95 a	0.517	8.35 a	0.138	90.66 a	0.729
Significancia	P>F		P>F		P>F		P>F	
Mes	0.0001		0.0001		0.0048		0.0003	
N. Aceite	0.5058		0.0477		0.0031		0.0023	
Interacción	0.4762		0.4292		0.7977		0.5649	
Efectos Significativos¹	LM*, CM*		LM*, CA*		LM*, LA*, QA		LM*, LA*, QA	

LM*= Efecto lineal del mes, P<0.01; CM*= Efecto cuadrático del mes, P<0.01; LA*= Efecto lineal del nivel del aceite de atún, P<0.01; CA*= Efecto cuadrático del nivel del aceite de atún, P<0.01; QA*= Efecto cuartico del nivel del aceite de atún, P<0.01; Medias con diferente literal dentro de una columna denota diferencias significativas (P<0.05).

El hecho de no detectarse deferencias, en efecto del NAT sobre el PUH, por la prueba de Tukey, coincide con el hecho de no detectarse efectos lineales en los contrastes, lo que significa que el PUH debe de explicarse en base a una respuesta cuadrática. Estos resultados muestran que, en general, el huevo se ubica en la categoría tres (60 a 65 gramos), según el criterio para clasificar por peso, de la Comunidad Económica Europea, solamente en el primer mes los tratamientos uno y cinco estuvieron en la categoría cuatro (56 a 59 gramos). (USDA, 1990) Cabe hacer mención que el peso unitario del huevo y el grosor de cascarón son características de calidad de gran interés para el productor, dado que por un lado el mercado

de huevo empaquetado demanda huevo uniforme , y por otro lado se busca disminuir al mínimo las pérdidas por ruptura de huevo (UNA, 2002). Dado lo anterior, los errores estándar de las medias, tanto en el factor MES como en el NAT, cobran importancia buscando una variabilidad mínima entre y dentro de cada tratamiento.

La altura de la albúmina y por lo tanto las unidades Haugh, dependen de la cantidad de agua que presente el huevo, ya que la albúmina del huevo en su mayoría está formada por agua y por proteínas hidrosolubles (Carrillo, 1999). De hecho, los valores obtenidos evidencian una excelente calidad del huevo, que se llegó a clasificar con el grado AA (Mayor a 79) en todos los tratamientos y en los tres meses, de acuerdo al USDA (1990).

Cantidad de lípidos totales en las dietas experimentales.

Las dietas proporcionadas a las gallinas durante el experimento fueron sometidas al mismo procedimiento de extracción de lípidos que el huevo. En el Cuadro 4 se presenta la cantidad de lípidos totales en cada dieta y se observa que no existen diferencias significativas ($P>0.05$), lo cual indica que la cantidad de lípidos en las dietas experimentales fue similar. Cabe hacer mención que también otros ingredientes de la dieta aportan aceites a la dieta (Cuadro 2).

En el análisis estadístico de la composición lipídica del huevo liofilizado a lo largo de todo el experimento, se observa que la cantidad total de lípidos no se afectó ($P>0.05$) por el paso de los meses, sin embargo sí se vio afectado ($P<0.05$) por los diferentes niveles de aceite de atún en la dieta de las gallinas en postura.

Cuadro 4. Lípidos totales en las dietas experimentales (g de lípidos por 100g de muestra)

Nivel De Aceite (%)		Lípidos En Dietas	
Crudo de Soya	Atún	Media	E.E.
3.00	0.00	4.38 ^a	0.37
2.25	0.75	4.36 ^a	0.25
1.50	1.50	4.39 ^a	0.12
0.75	2.25	4.34 ^a	0.22
0.00	3.00	4.24 ^a	0.16

E.E. Error Estándar.

Medias con igual literal dentro de una columna, no existe diferencia significativa ($P>0.05$)

Se observa que la cantidad de lípidos en las dietas es semejante para los diferentes niveles de aceite de atún, lo que indica que los cambios en el perfil de ácidos grasos se deben básicamente a la fuente de aceite utilizada en las dietas experimentales, y no a la cantidad del mismo. De manera que el tipo de aceite incluido en la dieta de las aves influye directamente en el perfil de ácidos grasos contenidos en el huevo (De Blas y Mateos, 1991; Hargis y Van Elswyk, 1993 y Van Elswyk, 1994). Los lípidos del huevo no presentaron diferencia en cuanto a los meses ($P>0.05$) debido a dos razones posibles, una biológica y otra estadística. Desde el punto de vista biológico no existe ninguna alteración en la deposición de grasas en el huevo. Los resultados de este trabajo no concuerdan con los que presenta Carrillo *et al.* (1999) donde al incluir harina de langostilla en la dieta se modifican los lípidos totales del huevo, así como los resultados reportados por Grobas *et al.* (2001).

Perfil de ácidos grasos en el aceite crudo de soya y aceite de atún.

En el Cuadro 5 se presenta el perfil de ácidos grasos de los aceites utilizados, y se puede observar claramente como el aceite de atún, tiene un alto contenido de ácido eicosapentaenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA), a diferencia del aceite crudo de soya, donde la cantidad de estos ácidos es muy pequeña y es rico en ácido linoléico y α -linolénico.

Cuadro 5. Perfil de ácidos grasos omega 3 (w-3) y omega 6 (w-6) del aceite crudo de soya y aceite de atún, utilizados en las dietas experimentales (mg por 100g de muestra).

Tipo de aceite en la dieta	W-3				W-6	
	LNA Media	EPA Media	DHA Media	DPA Media	LA Media	AA Media
Crudo de Soya	61.95	3.94	0.24	0.15	489.70	0.02
Atún	4.14	56.90	165.70	13.90	13.90	14.72

Lo anterior demuestra que el contenido de ácidos grasos de la yema de huevo, está altamente relacionado con los ácidos grasos aportados en la dieta de las aves como lo mencionan Van Elswyk *et al.* (1992), Hargis y Van Elswyk (1993), Cherian (1996), Van Elswyk, (1994), Carrillo *et al.* (1999) y Grobas (2001).

Resultados de lípidos en la yema del huevo.

En lo que respecta a los resultados del perfil de ácidos grasos en la yema del huevo (Cuadro 6). El factor mes no afectó ($P>0.05$) al contenido total de lípidos, ni a ningún ácido graso de la yema de huevo. Por otra parte el factor nivel de aceite de atún afectó ($P<0.05$) a todas las variables indicadas con un componente lineal ($P<0.05$) por lo menos. En los lípidos totales y el ácido araquidónico, además del efecto lineal se presentó un efecto cuadrático. En cuanto al ácido docosapentaenoico y docosahexaenoico, además de los dos efectos antes mencionados, se presentó un efecto cúbico. Teniendo que con el nivel de 0.00% de aceite de atún se presentaron los valores más altos de ácidos grasos del tipo omega 6 como lo fueron el ácido linoléico (LA) y araquidónico (AA) y también los más bajos para los ácidos grasos del tipo omega 3 los cuales son el ácido linolénico (LNA), eicosapentaenoico (EPA), docosahexaenoico (DHA) y docosapentaenoico (DPA). No existió alguna interacción ($P>0.05$) entre los factores mes y nivel de aceite de atún para las variables antes mencionadas.

Cuadro 6. Lípidos totales y perfil de ácidos grasos en la yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de atún durante tres meses (mg por 100g de muestra).

Mes	PLIP		LA		LNA		AA		EPA		DPA		DHA	
	MEDIA	EE	MEDIA	EE	MEDIA	EE	MEDIA	EE	MEDIA	EE	MEDIA	EE	MEDIA	EE
1	16.52 a	0.530	1576.74 a	66.62	115.09 a	5.066	188.56 a	11.48	24.63 a	2.147	27.64 a	3.757	380.2 a	21.62
2	16.00 a	0.517	1616.14 a	55.46	116.21 a	4.649	191.62 a	9.43	26.41 a	2.645	23.72 a	2.329	415.66 a	27.47
3	15.63 a	0.518	1460.04 a	53.76	108.02 a	4.248	179.27 a	10.60	24.00 a	2.135	25.28 a	2.601	385.59 a	25.27
Aceite de atún														
0.00	14.49 b	0.506	1860.20 a	56.55	142.78 a	4.23	297.48 a	10.59	3.16 e	0.204	60.93 a	4.534	124.37 d	4.28
0.75	15.71 ab	0.736	1842.28ab	85.16	131.27ab	6.40	224.65 b	10.44	14.91 d	0.581	16.87 bc	1.719	338.72 c	15.08
1.50	16.62 ab	0.484	1603.64 b	65.97	116.19 b	5.27	167.76 c	5.96	24.39 c	0.874	12.14 c	1.140	438.92 b	16.84
2.25	17.41 a	0.717	1316.55 c	50.16	94.65 c	3.92	126.36 d	4.86	34.84 b	1.574	15.03 bc	1.647	479.58 b	20.88
3.00	16.05 ab	0.798	1132.20 c	43.50	80.63 c	3.68	116.19 d	5.31	47.76 a	2.641	22.76 b	1.132	587.48 a	27.45
Significancia	P>F		P>F		P>F		P>F		P>F		P>F		P>F	
Mes	0.4503		0.1496		0.3696		0.5380		0.4056		0.1910		0.3857	
N. Aceite	0.027		0.0001		0.0001		0.0001		0.0001		0.0001		0.0001	
Interacción	0.1928		0.0124		0.0104		0.1097		0.2766		0.0047		0.2413	
Efectos significativos	LA*, CA*		LA*		LA*		LA*, CA*		LA*		LA*, CA*,UA*		LA*, CA*,UA*	

CM*= Efecto cuadrático del mes, P<0.01; LA*= Efecto lineal del aceite de atún, P<0.01; LA*= Efecto lineal del nivel del aceite de atún, P<0.01; CA*= Efecto cuadrático del nivel del aceite de atún, P<0.01; UA*= Efecto cúbico del nivel del aceite de atún, P<0.01; Medias con diferente literal dentro de una columna denota diferencias significativas (P<0.05).

En los resultados del aporte general de AGw-6 y AGw-3 (Cuadro 7). El factor mes solamente afectó ($P<0.05$) a la relación entre el omega6:omega3, presentándose un factor cuadrático, debido a que en el segundo mes se presentó el valor más alto en comparación al primer y al último mes.

El factor nivel de aceite de atún afectó ($P<0.05$) al aporte de omega 6, omega 3 y a la relación entre ambos, presentando por lo menos un efecto de tipo lineal ($P<0.05$). En el omega 3 se presentó además un efecto cúbico, y en la relación de ambos ácidos grasos se observó además del efecto lineal y cúbico, un efecto del tipo cuadrático. El nivel de 3.00% de aceite de atún en la dieta, fue el que aportó la cantidad más baja de omega 6 y fue donde también la relación omega6:omega3 obtuvo su valor más bajo, pero también este nivel dio lugar al valor más alto en cuanto al aporte de omega 3 en la yema de huevo. El resultado de los contrastes para AGw3 se expresó a través de una ecuación de regresión, la cual fue:

$$AGw3=367.6085099+134.4741540*NAT-4.105607*NAT^3+0.2619882*MES^2*NAT^3.$$

El máximo de AGw3 (723 mg/ 100g) se obtuvo con 3.00% de aceite de atún a los tres meses de experimentación (84 días)

En estas variables se observó una interacción ($P<0.05$) entre mes y el nivel de aceite de atún, pero solamente se dio en el aporte de omega 6. Esta interacción se representó a través de una ecuación de regresión generada con los contrastes significativos. El máximo de AGw6 (2066mg/ 100 g de huevo liofilizado) se obtuvo con 3.00% de aceite crudo de soya y 0.00% de aceite de atún a los 1.96 meses de experimentación (54 días después de iniciado el experimento). La ecuación generada fue la siguiente:

$$AGw6=2066.697114-104.909494*MES*NAT^2+8.911637*MES^2*NAT^3.$$

En donde MES representa al mes de experimentación con 28 días cada uno y NAT representa el nivel de aceite de atún en la dieta.

Cuadro 7. Aporte total de omega 6, omega 3 y su relación en la yema de huevo de gallinas alimentadas con diferentes niveles de aceite de atún durante tres meses (mg por 100g de muestra).

Mes	W6		W3		RW6W3	
	MEDIA	EE	MEDIA	EE	MEDIA	EE
1	1765.3 a	76.55	547.55a	21.45	3.56 ab	0.213
2	1728.78 a	65.79	546.43a	25.41	3.98 a	0.290
3	1639.31 a	63.36	542.88a	26.32	3.45 b	0.034
Aceite de atún						
0.00	2157.67 a	66.40	331.24 c	8.72	6.54 a	0.150
0.75	1968.09 a	94.50	536.83b	24.57	4.15 b	0.199
1.50	1637.82 b	74.74	552.06b	26.06	3.21 c	0.228
2.25	1524.80bc	67.18	598.47b	25.32	2.60 d	0.103
3.00	1267.27 c	52.55	709.49a	29.41	1.80 e	0.034
Significancia	P>F		P>F		P>F	
Mes	0.2409		0.9800		0.0121	
N. Aceite	0.0001		0.0001		0.0001	
Interacción	0.0045		0.0783		0.1695	
Efectos significativos	LA*		LA*;UA*		CM*;LA*;CA*;UA*	

CM*= Efecto cuadrático del mes, P<0.01; LA*= Efecto lineal del aceite de atún, P<0.01; LA*= Efecto lineal del nivel del aceite de atún, P<0.01; CA*= Efecto cuadrático del nivel del aceite de atún, P<0.01; UA*= Efecto cúbico del nivel del aceite de atún, P<0.01; Medias con diferente literal dentro de una columna denota diferencias significativas (P<0.05).

Los resultados mencionados anteriormente hacen válido el planteamiento en este trabajo, donde se esperaba el incremento de los ácidos grasos omega 3 (EPA, DHA y DPA) al incluir aceite de atún en la dieta de aves en postura, como fuente de los mismos. En los resultados presentados, también se observa que el incremento en los ácidos EPA, DHA y DPA en el huevo, se correlacionan con el EPA, DHA y DPA de la dieta, y es poco probable que provengan de la elongación y desaturación del LNA, tal como lo indica Barrera (1998). Es importante decir que conforme se fue incrementando el nivel de aceite de atún en la dieta, los niveles de AGw3 fueron aumentando, debido a que el aporte de AGw6 se disminuyó ya que también se fue desplazando el aceite de soya, por lo tanto hay una sustitución de estos ácidos

grasos, debido a sus fuentes. Este efecto es benéfico para la salud humana como lo reporta Van Elswyk (1994), Terry (2003) y Vanschoonbeek (2003), los cuales mencionan que debe de existir una relación óptima entre el omega-6 y el omega-3, para poder obtener un beneficio en la salud humana, como lo es la correcta oxigenación cerebral, prevención de enfermedades cardiacas, y aporte de ácidos grasos esenciales (Simopoulus, 1999). Además otro beneficio que se puede tener con este aporte de ácidos grasos, es el económico, ya que según UNA (2002), un huevo enriquecido con AGw3, tiene un valor extra en el mercado, en relación al huevo tradicional.

Recomendaciones

De un análisis global de los resultados de la presente investigación y tomando en cuenta los objetivos de la misma se puede señalar que el nivel de 2.25% de aceite de atún y 0.75% de aceite de soya, es el que enriquece a la yema de huevo con la mejor relación de ácidos omega 6 con ácido omega 3. De igual manera el mencionado nivel de aceite de atún coincide con la mejor conversión y eficiencia alimenticia. Si lo que se busca es solamente incrementar al máximo la concentración de AGw3 en la yema de huevo, entonces lo recomendable sería aplicar un 3% de aceite de atún en la dieta. Lo anterior se indica con la reserva de futuros estudios acerca de la transmisión de propiedades organolépticas del aceite de pescado al huevo.

CONCLUSIONES

Como respuesta a los resultados arrojados en el presente experimento se postulan las siguientes conclusiones:

- ◆ La sustitución de aceite de soya por aceite de atún afectó ($P<0.05$) al consumo de alimento, conversión alimenticia y eficiencia alimenticia. Por otra parte a la masa de huevo y al porcentaje de postura no las afectó.
- ◆ En cuanto a los parámetros de calidad de huevo, la sustitución del aceite crudo de soya por aceite de atún no afectó el grosor del cascarón, mientras que el peso unitario de huevo, la altura de albúmina y las unidades Haugh se vieron afectadas ($P<0.05$).
- ◆ La inclusión de aceite de atún en dietas de aves de postura modificó el contenido total de lípidos del huevo.
- ◆ La inclusión de aceite de atún a la dieta de gallinas de postura incrementa el contenido de los ácidos grasos poliinsaturados DHA en la yema de huevo, disminuyendo la relación omega 6 y omega 3.

LITERATURA CITADA

- Ávila CA, Shamah LT, Chávez VA (1997). Encuesta nacional de alimentación y nutrición en el medio rural 1996. Resultados por entidad. Vol.1. *INNSZ*. México D.F. 93 pp.
- Barrera, P. M.. (1998). Ácidos grasos Ω -3 y ácidos grasos trans: impacto sobre la salud. *Lecturas sobre nutrición*. Universidad de Chile. (20): 27-34.
- Baucells MD, Crespo N, Barroeta AC, López-Ferrer S, Grashorn MA (2000). Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. *Poultry Sci.*, 79:51-59.

Carrillo S, Carranco ME, Castillo DRM, Castro MI, Pérez-Gil RF, Ávila GE (1999).

El huevo como fuente de ácidos grasos $\omega 3$ y $\omega 6$ al incorporar harina del crustáceo langostilla en raciones para ponedoras. *XVI Congreso Latinoamericano de Avicultura. Lima, Perú.*

Castillo DRM, Carrillo DS, Pérez-Gil RF, Ávila GE, Cassis NL. (2000). Efecto del aceite de sardina sobre la concentración de ácidos grasos $\omega 3$ en huevo y sus características sensoriales. Libro de resúmenes del XII Congreso Latinoamericano de Nutrición, Buenos Aires, Argentina, 12-16 de noviembre del 2000. *Publicado por la Sociedad Latinoamericana de Nutrición, Buenos Aires, Argentina p. 32.*

Castillo B., C., M. González A., E. Morales B., S. Carrillo D. Y R. M. Castillo D. 2001. Tuna oil and n-3 fatty acids source to egg yolk. Abstract in the Joint Meeting of the Poultry Science Association, Poultry Science Vol. 80, Supplement 1, p 297

Castro-González MI (2002). Ácidos grasos omega 3: Beneficios y Fuentes. *Interciencia 27 (3): 128-136.*

Castro-Gonzalez MI, Montaña-Benavides S, Perez-Gil Romo F. 2001. Acidos grasos del atún de diferente zona pesquera del pacífico mexicano, en aceite y agua. *Arch Lat Nutr 51 (4); 407-413*

Cherian G, Wolfe FW, Sim JS (1996). Dietary oils with added tocopherols: Effects on egg or tissue tocopherols, fatty acids, and oxidative stability. *Poultry Sci., 75:423-431.*

De Blas, C. y Mateos, G. (1991) Nutrición y alimentación de gallinas ponedoras. ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Aedos Editorial y Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España. Pp. 263.

- FIRA (1998). Oportunidades de desarrollo en el atún. Una pesquería mexicana altamente competitiva. *Boletín informativo No.304. Vol.XXXI, marzo*.
- García, E. (1988) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México, D. F. pp. 130.
- González-Esquerri R y Leeson S (2001) Alternatives for enrichment of egg and chicken meat with omega-3 fatty acids. *Can.J.Anim.Sci. 81 (3): 295-305*.
- Grobas S, Méndez J, Lázaro R. de Blas C y Mateos G (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 (4): 1171-1179*.
- Hargis PS y Van Elswyk ME (1993) Manipulating the fatty acid composition of poultry meat and eggs for the conscious consumer. *World's Poultry Sci.J., 49:252-264*.
- Hy-line (2001) Guía de manejo comercial de variedad W-98. Iowa, EUA.
- Itza, P. E. (2002) Comunicación personal.
- Kinsella. J. E., Lokesh, B. and Stone, R. A. (1990) Dietary Ω -3 polyunsaturated fatty acids and amelioration of cardiovascular disease: possible mechanisms. *Am. J. Clin. Nutr. (52): 1-28*.
- Narciso G.C. (1998) Composición lipídica y pigmentación en yema de huevo con el simbiosistema Azolla-Anabaena, Datos no publicados.
- N.R.C. (1984) Nutrient requirements of poultry. Third Edition, National Research Council. National Academy Press, Washington, D. C., U. S. A.
- N.R.C. (1994) Nutrient requirements of poultry. Nine Edition, National Research Council. National Academy Press, Washington, D. C., U. S. A.

- Pérez, P. B. *et al.* (1998) Manejo de alternativas para aves de postura destinadas a la obtención de huevos con bajo contenido de colesterol. Gaceta de Ciencias Pecuarias de Chile, Chile.
- SAS. (2000) Statical Analysis System. The SAS System for Windows Release 8.00 USA.
- Simopoulus, A. P. (1999) Essential fatty ácidos in health and chronic disease. Am. J. Clin. Nutr. 70 (suppl): 560-569.
- Steel, R. G. D. y Torrie, J. A. (1988) Bioestadística principios y procedimientos. 2ª. Edición. Edit. Mc Graw Hill. México, D. F.
- Terry, PD, T. E. Rohan y A. Wolk. 2003. Intakes of fish and marine fatty acids and the risks of cancers of the breast and prostate and of other hormone-related cancers: a review of the epidemiology evidence. American Society for Clinical Nutrition. Journal of Clinical Nutrition. Vol 77, No. 3, 532-543.
- UNA (2002) Compendio de Indicadores Económicos del Sector Avícola 2001-2002. Unión Nacional de Avicultores. Dirección de Estudios Económicos. México D.F. 107 pp.
- USDA (1990) Productive parameters in laying eggs. Informative bulletin. Washington, USA.
- Van Elswyk, M. E., Sams, A. R. and Hargis, P. S. (1992) Composition, functionality, and sensory evaluation of eggs from hens fed dietary menhaden oil. Journal of Food Science and Agriculture (24):451-461.
- Van Elswyk, M. E. (1994) Looking Ahead: Well Eggs Become a Dietary Alternative to Fish. Egg Industry. Journal of Food Science and Agriculture (26):531-550.

- Vanschoonbeek, K., M. P. de Maat y Johan W. M. Heemskerk. 2003. Fish oil consumption and reduction of arterial disease. *J. Nutr.* 133:657-660
- Vázquez, V., J. L., H. Velásquez A., M. J. González A., E. Morales B., S. Carrillo D. Y R. M. Castillo D. 2000. Evaluación productiva, de calidad de huevo y económica, de la sustitución de aceite de cártamo por aceite de atún en dietas para gallinas de postura de huevo para plato. *Memorias de la XXVIII Reunión Anual AMPA*. Universidad Autónoma de Chiapas, Tapachula, Chis. México. P 273-276.

CAPITULO IV

LITERATURA GENERAL

- AGRA. (1999) Desarrollos AGRA, S. A. de C.V. Apodaca, Nuevo León. México.
- Alonso, P.F. (2000) La aviculture en México (1975-1998). Ed. Centro Mexicano de Estudios Sociales R-D-P, A.C. México. 101p.
- Asociación of Official Agricultural Chemists, (1965) Methods, No 26.52.
- Asociación of Official Agricultural Chemists, (1980) Methods, No. 41. 86.
- Arellano M.L.G. (1999) Efecto de la inclusión de harinas de anchoveta y de cabezas de camarón en raciones para gallinas ponedoras y pollos de engorda, sobre las concentraciones de colesterol y ácidos grasos en huevo y carne de pollo. Tesis de Maestría. Fac. Med. Vet. y Zoot., UNAM. México D.F.
- Ávila, G. E, Shimada, A. S y Llamas, G. (1990) Anabólicos y aditivos en la producción pecuaria. Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México, 240-251.
- Ayerza, R. y Coates W. (1999) An Omega-3 fatty enriched chia diet: influence on egg fatty acid composition, cholestrol and oil content. Canadian Journal of Animal Science 79 (1): 53-58.
- Barrera, P. M. del P. (1998) Ácidos grasos .AGw3 y ácidos grasos trans: impacto sobre la salud. Lecturas sobre nutrición. Universidad de Chile. (20): 5.
- Becerril, G. M. (1988) Efecto pigmentate de luteína y capsantina en pollo de engorda y gallinas de postura con un calorimetro de reflectancia. Tesis De Maestría UNAM. México, D. F.
- Birch, E. E., Birch, D. G., Hoffman, D. R. y Uauy, R. (1992) Dietary essential fatty ácid supply and visual acuity development. Invest. Ophthalmil. Vis Sci.

- Boucrot, P, (1972) Is there an enterohepatic circulation of bile phospholipids. *Lipids* (7): 282-288.
- Bousky, A. R And Raterink. (1989) Various aspects of egg yolk pigmentation explored poultry production. In *Feedstuffs*. USA. Mexico, D. F.
- Boyd, F.M, And Edwards, H,M. (1967) Fat absorption by germ-free chicks, *Poultry Science* (46): 1481-1483.
- Brindley, Dx (1977) Absorption and transport of lipids in the small intestine, in *Intestinal Permeation* (M. Kramer And F, Laulerbach, Eds), Pp, 350-362, Amsterdam.
- Brindley, Dx y Sturton, R.G. (1982) Phosphatidate metabolism and its relation to triacylglycerol biosynthesis. in *Phospholipids* J.N, Hawthorne And Or Ansel, Eds, Pp. 179-213. Amsterdam, Elsevier Biomedical Press.
- Buenrostro, P. J. (1982) Efecto de la utilización de pigmentos en la producción de las aves. Tesis de Licenciatura UNAM, México, D. F.
- Canadian Egg Marketing Agency. (1997) Omega-3 enriched eggs. www.ceggma.com.
- Canacintra. (1998) La industria alimenticia animal en México. Sección de fabricantes de alimentos balanceados para animales. CANACINTRA. México. 58p.
- Carew, L.B., Machemer, R.H., Sharp, Rx y Foss, D.C, (1972) Fat absorption by the very young chick, *Poultry Science* 57, 738-742.
- Carrillo D.S., Carranco J.M.E., Castillo D. R. M., Castillo G.M.I., Pérez-Gil R.F., Avila G.E. (1999a) Effects on cholesterol and Ω -3 and Ω -6 fatty acids in egg with the inclusion of red crab meal (*Pleuroncodes planipes*) in laying hens rations. *Poultry Sci.* (78): 80.

- Carrillo D.S., *et al.* (1999b) Modificación en la composición lipídica del huevo y la carne de pollo mediante la inclusión de productos marinos y vegetales en la ración. En: Diplomado en Producción Avícola. Módulo II: Alimentación y nutrición de las aves. México D.F.
- Charles, M., Sari, H., Entressangles, B. y Desnuelle, P. (1970). Interaction of pancreatic colipase with a bile salt micelle. *Biochemical And Biophysical Research Communications* (65): 740-745.
- Chudy, A, And I, Schiemann, (1969) Energy metabolism of farm animals, Ed. K, L. Blaxter, J. Kielanowski, And G, Thorbek, Newcastle Upon Tyne, Oriel Press. Pag 161-168.
- Cuca, G. M., Avila, G, E. y Pro, M. A (1982) La producción de las aves de corral. Colegio De Postgraduados, Chapingo, México.
- Cuca, G. M., Avila, G. E. y Pro, M, A. (1996) Producción de las aves. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento De Zootecnia. México. Pp 84-88
- Dale, N. M, y Fuller H. L, (1978) Effect of ambient temperature and dietary fat on feed preference of broilers. *Poultry Sci*, 57 (6):1635-1640.
- Dale, N. H, y Fuller H, L. (1980) Effect of diet composition of feed intake and growth of chicks under heat stress II constant vs. cycling temperature. *Poultry Sci*, 59(7):1434-1441.
- Daviglus, M.L, *et al.*, (1997) Fish consumption and 30 year risk of fatal myocardial infraction. *New England Journal Medical* 336: 1046-1053.
- De Blas, C. y G. Mateos. (1991) Nutrición y producción de las gallinas ponedoras- edit. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- De Groote, G. (1969) A rep. Government Research Station For Small Stock Husbandry, Merelbeke, Belgium, Pp. 143-144.

- Dupont, J. (1991) Conocimientos actuales sobre la nutrición: lípidos. Ed. Public. USA. 339p.
- Egan, H, R, *et al.* (1993) Análisis químico de alimentos de Pearson. Ed. Continental, México. 586p.
- Engster, Hx, Carew, L.B. y Foss, D.C, (1975) Effect of herring oil on body weight, comb size and gonadal development in the chick, Poultry Science (54): 2118-2121.
- FAO, (1994) Fats and oils in human nutrition. Report of a joint expert consultation Roma, 19-26, October 1993. FAO Food And Nutrition 57.
- Farrell, D. J. (1991) The Feeding of diets with various fish and vegetable oils to hens and the enrichment of eggs with N-3 fatty acids. Abstract. Proceedings of the nutri. Society of Australia. (16): 130.
- Fletcher D, L. (1985) Evaluaciones de la pigmentación en aves, VII Ciclo internacional de conferencias sobre avicultura Colegio De Posgraduados. México, D. F.
- Friedman, G. y Nylund, B, (1980) Intestinal fat digestion, absorption and transport. Review, American Journal Of Clinical Nutrition (33): 1108-1139.
- Fuller, H.L ., (1992) The value of fat in poultry feeds, mentioned in Nra September 1993.
- García, C Y C. Alcalá. (1998) Composición lipídica de huevos de gallinas alimentadas con productos grasos y proteicos marinos. Santiago, Chile. Archivos Latinoamericanos de nutrición. (48): 71-76.
- Gaull, G.E. (1991) Nutrition in the 90's: current controversias and análisis. Ed. Marcel Dekker, Inc. USA. 130p.

- Grundy, S.M, y Denke, A. (1990) Dietary influences on serum lipids and lipoproteins. *Journal Lipid Research* 31: 1149-1172.
- Hargis, P. S And M, E. Van Elswayk. (1990) Dietary modification of yolk lipid with menhaden oil, *Poultry Sci.* (70): 874-881.
- Hargis, P. S. And M. E. Van Elswayk. (1993) Manipulating the fatty acid composition of poultry meat and eggs for the health conscious consumer. *World's Poultry Sci. J.* (49): 251-262.
- Healthcare. (1994) Cholesterol. www.healthcare.com USA.
- Hoffman, R.T. (1978) Essential fatty acid deficiency, In *Crc Handbook Series In Nutrition And Food. Section E: Nutritional Disorders* (2): 491-515.
- Horani, F. G, y J.S. Sell, (1977) Effect of feed grade animal fat on laying hen performance and metabolizable energy of rations. *Poultry Sci.* (56):1972-1980.
- Huang Y-S. & Liu J-W. (1999) Fatty acids. Metbolism. In: M.J. Sadler, JJ Strain & B. Caballero. *Encyclopedia of human nutrición.* (2): 730-737.
- Hy-line (2001) Guia de manejo comercial de variedad W-98. Iowa, EUA.
- Innis, S. M. (1991) Essential fatty acids in growth and development. *Prog. Lipid research* 30: 39-103.
- Itza, P. E. (2002) Comunicación personal.
- Jensen, L, S., G, V. Schumaier, And J, D., Latshaw, (1970) Extra caloric effect of dietary fat for developing turkeys as influenced by caloric-protein ration *Poultry Sci*, 49(6):1697 -1704.
- Jensen, L, S. *et al.*, (1983) Evidence for an unidentified factor necessary for maximum egg weight in chickens. Ed. *World's Nutrition*.

- Karunajem,A, H , R Hughes, M. McDonald (1984) A review of factors influencing pigmentation of egg yolks. *World's Poultry Sci. J* (40): 52-65.
- Krause, F. (1995) *Nutricion y Dietoterapia*. Ed. Interamericana. México. 879p.
- Lesson, S. And L. Caston. (1996) Getting the omega into the egg feeding flax seed to hens boos human health. *Dept. of Animal and Poultry Science, University Of Guelph, Ontario, Canada. Agri-Food December (3): 6-8.*
- Maurusich, T. A. And D. L. Bauerrifeind. (1981) *Oxycarotenoids in poultry feeds. carotenoids as colorants and vitamin a precursors. Academic Press N. Y.. San Francisco California USA. Pp 204.*
- Menge, H., Miller, E,C, y Denton, U. (1963) Effect of an essential fatty acid deficient diet on the reproductive performance of chickens. *Poultry Science (42): 1291.*
- Menge, H, y Richardson, U, (1968) The Influence of a Linoleic acid deficient maternal diet on growth of progeny, *Poultry Science (47): 542-547.*
- Metuzzi, A. Sirri, F, Vandi, L. (1996) Lipid profile of eggs laid by hens feed on diet suplemented with different fats an oils. *Instito Di Zoocolture, Universita De Bologna, Bologna Italy. Revista Di Avicoltura. (65): 27-32.*
- Narciso G.C. (1998) *Composición lipídica y pigmentación en yema de huevo con el simbiosistema Azolla-Anabaena, Tesis Uach. México.*
- Navarro, J. G., J. C. Saavedra, F. B. Borie. (1972) Influence of dietary fish meal on egg fatty acid composition. *J. Sci. Food Agric. (23): 1287-1292.*
- Newton I.S. (1996) Long chain fatty acids in health and nutrition. *J. Food Lipids (3):233-249.*
- North, M. O. (1989) *Manual de producción avícola. 31. Edición. El Manual Moderno, México. D. F.*

- Norwich. (1970) Notas técnicas industria animal y medicina veterinaria. Norwich Pharmacal. Eaton. México. 15.
- NRC. (1994) Nutrient requirements of poultry. 9^a Edition, National Research Council. National Academy Press, Washington, D. C., U. S. A.
- Ockner, R.K., Manning, I.M., Poppenhausen, R.B. And Ho, W.K.L. (1972) A binding protein for fatty acid in cytosol of intestinal mucosa, liver, Myocardium and other tissues. Science (177): 56-58.
- Olivecrona, T., Hernoll, O., Egelrud, T., Billstrom, A., Helander, Samuelson, G. y Fredrickson, B. (1973) Studies on the gastric lipolysis of milk lipids in suckling rats and in human infants. in dietary lipids and postnatal development (C. Galli, G. Jacini And A. Pecili, Eds), Pp. 77-89. New York, Raven Press.
- Patton, J.S., Albertson, P-A., Erlanson, C. y Borgstrom, B. (1978) Binding of porcine pancreatic lipase and colipase in the absence of substrate studied by Two-Phase partition and affinity chromatography. Journal Of Biological Chemistry (253): 4195-4202.
- Pedrero, D. L. Y R. M. Panabom (1989) Evaluación sensorial de los alimentos métodos analíticos. Edit. Alhambra Mexicana. México, D F.
- Perez *et al.* (1998) Manejo de alternativas para aves de postura destinadas a la obtención de huevos con bajo contenido de colesterol. Gaceta del doctorado de ciencias pecuarias de Chile, Chile.
- Ramos R.F. (1999.) Concentraciones de colesterol y ácidos grasos omega 3 en huevo y carne de pollo al incluir las algas marinas *Macrocystis pyrifera* y *Ulva* spp. en dietas para gallinas ponedoras y pollo de engorda. Fac. Med. Vet. Y Zoot., UNAM. México D.F.

INTRODUCCIÓN

Los AG ω 3 aportan múltiples beneficios a la salud humana, ya que tienen propiedades hipocolesterolemicas y contribuyen en gran manera a la prevención y tratamiento de enfermedades cardiovasculares, de afecciones inmunológicas, diabetes y enfermedades del sistema nervioso. De igual manera, se ha reconocido su importancia en el desarrollo del cerebro y de la retina (Castro-González, 2002; Vanschoonbeek *et al.*, 2003). Estudios recientes muestran que el consumo de pescado y de AG ω 3 de origen marino pueden inhibir la proliferación de células cancerosas de próstata y de glándula mamaria (Terry *et al.*, 2003).

Entre los principales ácidos del tipo AG ω 3 están el alfa-linolénico (ALA), el eicosapentaenoico (EPA) y el docosahexaenoico (DHA). El ALA se encuentra , entre otras fuentes de origen vegetal, en la linaza y la canola, mientras que el EPA y el DHA en productos marinos de aguas frías y templadas como atún, sardina, salmón, arenque, anchoveta, crustáceos y algas marinas (Castro-González, 2002). En México, como en otros países, el consumo de productos marinos es aún bajo (Ávila *et al.*, 1997). Otra opción para hacer llegar los AG ω 3 a la población es a través de enriquecer productos de consumo humano con dichos ácidos grasos. El enriquecimiento del huevo con ácidos grasos omega 3 (AG ω 3) es una alternativa viable para hacer llegar los beneficios de dichos ácidos a los consumidores. Dado el alto consumo de huevo en México (UNA, 2002), un sector importante de la población podría beneficiarse con los AG ω 3. En el caso del huevo se ha demostrado que se puede modificar su composición en ácidos grasos mediante el tipo y cantidad de grasa que se proporcione a las aves en su dieta (Hargis y Van Elswyk, 1993; Grobas, *et al.*, 2001) , empleándose diferentes ingredientes, ricos en AG ω 3, para tal propósito (Carrillo *et al.*, 1999; Castillo *et al.*, 2000; González-Esquerri y Leeson, 2001). El aceite de atún es una alternativa factible en México para enriquecer el huevo con AG ω 3, si bien es un subproducto de la

- Reaven, E.P. y Reaven, G.M. (1977). Distribution and content of microtubules in relation to the transport of lipid. *Journal of cell biology* (75): 559-572.
- Reid, B. L. ,(1980). Interección of dietary metabolizable energy and protein in laying hen diets. *Poultry Sci.*59 (7): 454-459.
- Sánchez-Muniz F. J. (1998). Influencia de la dieta y estirpe de ponedora sobre la composición lipídica del huevo. Instituto de estudios del huevo, España.
- Sauveur, B, (1993). El huevo para consumo bases productivas. Edit. Mundi-Prensa Madrid, España.
- Scheideler, S. E. (1997). Omega eggs a dietary source omega 3 fatty acids. *Institute of agriculture and natural resources.* 354.
- Scott, M, L., M. C. Neisheim, y R. J. Young. (1982). *Nutrition of the chicken.* 3rd. Ed. USA.
- Sell, J. L., F. G. Horani, y R. L. Jonhson, (1976). Fatty acids in animal nutrition *Feedstuffs* (27): 28-29.
- Shafey, T.M. y Cham, B.E. (1994). Altering fatty acid and cholesterol contents of egg for human consumption Chapter 3 UK. 436p.
- Shiau, Y-F. (1981). Mechanism of intestinal fat absorption. *American journal of physiology* (240): 61-69.
- Sibbald, Y. R., S. J. Slinger. y G. C. Ashton, (1961). *Biochemistry in laying hens* *Poultry Sci.* (40): 303-308.
- Simopoulos, A. P. (1991). Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. *American society for clinical nutrition* (54): 438-463.
- Stadelman, W. J y O. J. Cotterill. (1986). *Egg science and technology* Third Edition. Ed. AVI Publishing Company.

- Touchburn, S. P., y E. C. Naber, (1966). The energy value of fats for growing turkeys. pp. 190-195. Proc XIIIth World's Poultry Congress. Russia.
- Treadwell, C.R. y Vahouny, G.C. (1968). Cholesterol absorption. In handbook of physiology, Section 6, alimentary canal, (3):1407-1438.
- Treen, M., Uauy, R. D, (1992). Effect of docosahexanoic acid on membrane fluid and function in intact cultured Y-79 retinoblastoma cells. Arch. Biochem. Biophysiol. (294):564-570.
- Turnbull W.H. (1999). Eggs, nutritional value. In: M.J. Sadlerr, J.J. Strain, CaballeroB. Encyclopedia of human nutrición. Vol.2 Academic Press, Great Britin, pp 631-634.
- Uauy, R, D., Birch, D. G , Birch, E. E. (1990). Effect of Dietary omega-3 fatty acids on retinal function of very-low weight neonates, Pediatr Res. (28): 485-492.
- Uauy, R y Hoffman, D. R. (1991). Essential fatty acid requirements for normal eye and brain development. Semin Perinatol. (15): 449-455.
- UNA (2002). Compendio de Indicadores Económicos del Sector Avícola 2001-2002. Unión Nacional de Avicultores. Dirección de Estudios Económicos. México D.F. 107p.
- UNA (1999). Compendio de Indicadores Económicos del Sector Avícola 1998-1999. Unión Nacional de Avicultores. Dirección de Estudios Económicos. México D.F. 89p.
- Van Elswyk, M.E. (1997). Comparison of n-3 fatty acid source in laying hen rations for improvement of whole egg nutritional quality. British Journal of Nutrition, Suppl.1, 78:S61-S69.
- Van Elswyk, M.E. (1994). Looking ahead: well eggs become a dietary alternative to fish, egg industry. Journal Food Science and Agriculture. 24:451-461.

- Villegas, A.C. (1999). Competitividad, producción y potencial exportador del sector productor de huevo de México. Tecnología avícola en Latinoamérica. 141 (12): 34.
- Wells, R. G, y C. G. Belyavin. (1987). Egg quality. Current problems and recent advances. Poultry Sci. Symposium Number 20. Edit, Butterworths.
- Wilson, D.E., Flowers, C.M., Carlile, S.I. y Udall, K.S. (1976). Estrogen treatment and gonadal function in the regulation of lipoprotein lipase. Atherosclerosis (24): 491-499.
- Zhirong, L. y Sim J. (1993). Consumption of omega 3 polyunsaturated fatty acid enriched eggs and changes in plasma lipids of human subjects. Nutrit. (6): 513-517.