



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE POLLOS DE ENGORDA ALIMENTADOS CON ACEITE DE LINAZA EN LA DIETA

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener del grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

OHEL FIGUEROA GARCÍA

Bajo la supervisión de: Mariano J. González Alcorta, Ph. D.



Mayo 2014

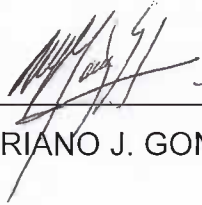
Chapingo, Estado de México

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE POLLOS DE ENGORDA
ALIMENTADOS CON ACEITE DE LINAZA EN LA DIETA

Tesis realizada por **OHEL FIGUEROA GARCÍA** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR: _____


Ph. D. MARIANO J. GONZÁLEZ ALCORTA

ASESOR: _____


Ph. D. MAXIMINO HUERTA BRAVO

ASESOR: _____


Dra. SILVIA CARRILLO DOMÍNGUEZ

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
DEDICATORIAS.....	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
DATOS BIOGRÁFICOS	ix
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	10
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
Marco de referencia	13
2.1 Situación actual de la producción de pollo de engorda	13
2.2 Situación actual de los lípidos en la salud pública	13
Marco Conceptual	15
2.3 Generalidades de los lípidos.....	15
2.4 Metabolismo de los lípidos en las aves	17
2.4.1 Digestión de los lípidos.....	17
2.4.2 Absorción de los lípidos.....	17
2.4.3 Transporte de los lípidos	18
2.4.4 Síntesis de los ácidos grasos.....	19
2.4.5 Almacenamiento de lípidos	20
2.5 Funciones de los lípidos en aves	20
2.5.1 Fuentes de energía.....	21
2.5.2 Transporte de vitaminas liposolubles	22
2.5.3 Conformación de membranas celulares	22
2.5.4 Fuente de ácidos grasos esenciales.	22
2.5.5 Producción de hormonas.....	24
2.6 Efecto de los ácidos grasos sobre el comportamiento productivo de los pollos	25

2.7 Inclusión de ácidos grasos poliinsaturados en la carne de pollo	28
2.8 Ácidos grasos poliinsaturados en la salud humana.....	31
2.8.1 Enfermedades cardiovasculares	31
2.8.2 Sinapsis de neuronas	32
2.8.3 Cáncer.....	33
2.8.4 Artritis	33
2.8.5 DES (Síndrome del ojo seco).....	34
2.9 Literatura citada	35
3. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE POLLOS EN RESPUESTA A NIVELES DIETÉTICOS DE ACEITE DE LINAZA	40
3.1 Resumen	40
3.2 Abstract.....	41
3.3 Introducción	42
3.4 Materiales y métodos.....	44
3.5 Resultados y discusión.....	47
3.6 Conclusión	57
3.7 Literatura citada	58

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación de los ácidos grasos en base al grado de insaturación.	16
Cuadro 2. Valores de energía (Kcal kg ⁻¹) de aceites vegetales y grasas de origen animal	21
Cuadro 3. Contenido de ácidos grasos esenciales (%) en aceites vegetales y grasas de origen animal.....	24
Cuadro 4. Ácidos grasos en carne de pollo (100 g porción comestible ⁻¹)	28
Cuadro 5. Ácidos grasos en la carne de pollo en respuesta a la adición de aceite de linaza en la dieta.....	30
Cuadro 6. Niveles de aceite de soya y aceite de linaza en los tratamientos.....	44
Cuadro 7. Dietas base y composición nutrimental calculada para las fases de iniciación, crecimiento y finalización	45
Cuadro 8. Medias ^z para consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CA) y peso vivo (PV) en etapa de inicio (1-11 días). ...	48
Cuadro 9. Medias ^z para consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CA) y peso vivo (PV) en etapa de crecimiento (12-28 días).....	52
Cuadro 10. Medias ^z para consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CA) y peso vivo (PV) en etapa de finalización (29-49 días).....	55
Cuadro 11. Estimación del peso vivo (PV) en etapa de iniciación (1 a 11 d), a partir del nivel de inclusión de aceite de linaza (Linaza) en la dieta.....	60
Cuadro 12. Estimación de la ganancia de peso (GP) en etapa de iniciación (1 a 11 d), a partir del nivel de inclusión de aceite de linaza (Linaza) en la dieta.....	60

Cuadro 13. Estimación de la conversión alimenticia (CA) en etapa de iniciación (1 a 11 d), a partir del nivel de inclusión de aceite de linaza (Linaza) en la dieta.	61
Cuadro 14. Estimación del peso vivo (PV) en etapa de crecimiento (12 a 28 d), a partir del nivel de inclusión de aceite de linaza (Linaza) en la dieta.....	61
Cuadro 15. Estimación de la ganancia de peso (GP) en etapa de crecimiento (12 a 28 d), a partir del nivel de inclusión de aceite de linaza (Linaza) en la dieta.	62
Cuadro 16. Estimación de la conversión alimenticia (CA) en etapa de crecimiento (12 a 28 d), a partir del nivel de inclusión de aceite de linaza (Linaza) en la dieta.	62
Cuadro 17. Estimación del peso vivo (PV) en etapa de finalización (29 a 49 d), a partir del nivel de inclusión de aceite de linaza (Linaza) en la dieta.....	63
Cuadro 18. Estimación de la conversión alimenticia (CA) en etapa de finalización (29 a 49 d), a partir del nivel de inclusión de aceite de linaza (Linaza) en la dieta.	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema hipotético de consumo de grasa, ácidos grasos omega-6, omega-3, trans y totales y del consumo de vitaminas E y C	14
Figura 2. Series de ácidos grasos poliinsaturados y rutas metabólicas de eicosanoides	25
Figura 3. Nivel óptimo biológico para maximizar GP (g) en etapa de iniciación.	49
Figura 4. Nivel óptimo biológico para maximizar PV (g) en etapa de iniciación	50
Figura 5. Nivel óptimo biológico para minimizar CA en etapa de iniciación	50
Figura 6. Nivel óptimo biológico para maximizar GP (g) en etapa de crecimiento.	53
Figura 7. Nivel óptimo biológico para maximizar PV (g) en etapa de crecimiento.	53
Figura 8. Nivel óptimo biológico para minimizar CA en etapa de crecimiento...	54
Figura 9. Nivel óptimo biológico para maximizar el PV (g) en etapa de finalización	56
Figura 10. Nivel óptimo biológico para minimizarla la CA en etapa de finalización	56

DEDICATORIAS

A Dios, por ser la luz en mi camino, porque a pesar de las múltiples dificultades que he tenido en la vida, nunca me has dejado sólo, siempre has estado a mi lado para recordarme: “no temas ni desmayes porque Jehová tu Dios estará contigo a donde quiera que vayas” (Josué 1:9). Gracias padre.

A mi padre, Antonio Figueroa González, porque éste logro es el resultado de los muchos sacrificios que has hecho para hacer de mí una persona de bien. Papá, eres la persona que más admiro, te amo.

A mi madre, Paula García Sarmiento, porque tus sabios y acertados consejos han sido la base de mi vida.

Con todo mi cariño a mis hermanos René, Aidee y Lizbeth, por ser la motivación que necesito para tratar de ser mejor profesionista día a día.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y en especial al Posgrado en Producción Animal, por darme la oportunidad y el apoyo necesarios para realizar mis estudios de Maestría en Ciencias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado.

Al Ph. D. Mariano J. González Alcorta, por su apoyo incondicional y por sus excelentes consejos durante mi estancia en el Posgrado de Producción Animal.

Al Ph. D. Maximino Huerta Bravo por sus acertadas participaciones en la realización de este trabajo de investigación.

A la Dra. Silvia Carrillo Domínguez y al Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán por el esfuerzo, el tiempo y el apoyo ofrecido en la realización del presente trabajo de investigación.

Al Ph. D. Agustín Ruíz Flores por el apoyo incondicional que me brindó durante mi estancia en el Posgrado en Producción Animal.

A los maestros del Posgrado en Producción Animal, porque de cada uno de ellos me llevo un grato recuerdo y una enseñanza que sin duda es fundamental en mi desarrollo no sólo profesional sino también personal.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Ohel Figueroa García

Fecha de nacimiento: 09 de agosto de 1989

Lugar de nacimiento: San Felipe del Progreso, Edo. de México

CURP: FIGO890809HMCGRH00

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia

Cédula profesional: 7506427

Desarrollo académico

2004-2007 Preparatoria Agrícola
Universidad Autónoma Chapingo

2007-2011 Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia
Departamento de Zootecnia
Universidad Autónoma Chapingo

2012-2014 Maestro en Ciencias en Innovación Ganadera
Posgrado en Producción Animal
Departamento de Zootecnia
Universidad Autónoma Chapingo

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La relación entre la dieta y la incidencia de enfermedades crónicas ha puesto de manifiesto las extraordinarias posibilidades que ofrecen los alimentos para mantener o incluso mejorar el estado de salud (Palanca *et al.*, 2006). La FAO (2003) recomienda el consumo de productos con relaciones entre ácidos grasos omega-6: omega-3 inferior a 10:1 para disminuir la incidencia de enfermedades cardiovasculares, cáncer y artritis reumatoide. En el caso de los niños, los omega-3 ayudan a estimular el desarrollo cerebral y sus funciones mentales (Simopoulos, 2002).

Por lo anterior, una alternativa para mejorar el estado de salud de la población en México, es a través del aumento en el consumo de productos con relaciones adecuadas entre los ácidos grasos omega-6: omega-3. Lo anterior ha impulsado la demanda de productos enriquecidos con ácidos grasos omega-3, lo cual representa una nueva oportunidad de mercado para el sector pecuario (Zuidhof *et al.*, 2009).

De forma natural, la mayoría de las carnes poseen una relación omega-6: omega-3 superior a 15:1, para disminuir esta relación y obtener beneficios a nuestra salud es necesario incorporar omega-3 en los productos de mayor consumo, como lo es la carne de pollo. Éste proceso no implica disminuir únicamente la cantidad de omega-6 o incrementar la cantidad de omega-3, sino mantener una relación adecuada de omega-6: omega-3 (Palanca *et al.*, 2006).

En el caso de las aves, el perfil de ácidos grasos de la carne es el reflejo de la biosíntesis de ácidos grasos en los tejidos y del perfil de ácidos grasos de la dieta. Por lo cual, una alternativa para reducir la relación omega-6: omega-3 en la carne de pollo, es a través de la inclusión de ácidos grasos poliinsaturados en su dieta (Kouba y Mourot, 2011).

Los aceites vegetales además de ser una excelente fuente de energía, también han sido una de las mejores opciones para incorporar dichos ácidos grasos poliinsaturados en la dieta de las aves. El aceite de linaza es una de las mejores alternativas para incorporar ácidos grasos omega-3 a la carne de pollo, debido a que más del 50% del total de sus ácidos grasos son de este tipo. Por otro lado, el aceite de soya es la principal fuente ácidos grasos omega-6, con más del 50% del total de sus ácidos grasos (Dolz, 1996).

Actualmente existen trabajos donde se ha evaluado el uso del aceite de linaza en la dieta de pollos para enriquecer la carne con omega-3, sin embargo no existe concordancia entre los resultados, algunos autores reportan disminución en el comportamiento productivo (Tani *et al.*, 2010), mientras que algunos otros no encuentran diferencias significativas ante la sustitución (Almeida *et al.*, 2009; Stanačev *et al.*, 2013). Por otro lado, no se tienen identificados los niveles de inclusión de aceite de linaza que puedan mantener o mejorar el comportamiento productivo de los animales.

La hipótesis de la presente investigación es que al incrementar el nivel de aceite de linaza en sustitución del aceite de soya en la dieta de pollos de engorda, se obtiene un mejor comportamiento productivo debido al perfil de ácidos grasos del aceite de linaza, en especial por su alta concentración de ácidos grasos insaturados de cadena larga que se absorben mejor que los ácidos grasos saturados y que además facilitan la absorción de otros nutrimentos.

El objetivo de la investigación fue evaluar el comportamiento productivo y calcular el nivel óptimo biológico de inclusión de aceite de linaza en sustitución al aceite de soya en la dieta que optimiza el comportamiento productivo de las aves.

La presente tesis se encuentra estructurada en cuatro capítulos. En el capítulo uno se encuentra la introducción general donde se resalta la importancia del trabajo para el productor y para el consumidor, así mismo se menciona la hipótesis y los objetivos de la investigación. En el capítulo dos se destaca la

importancia que tienen los aceites y sus ácidos grasos en la producción de pollo y en la salud humana. En el capítulo tres se hace referencia al efecto de la adición del aceite de linaza en sustitución del aceite de soya sobre el comportamiento productivo de los pollos de engorda.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Marco de referencia

2.1 Situación actual de la producción de pollo de engorda

La industria avícola en México representa el sector de producción de alimentos más importante del país. La avicultura (producción de huevo, pollo y pavo) en el 2012 representó el 0.8% del PIB total, el 19.7% del PIB agropecuario y el 40.9% del PIB pecuario. México ha logrado un nivel de producción que le permite estar cerca de lograr su autosuficiencia. En la producción de huevo, el país cubre el 100% de la demanda y en la producción de carne de pollo cubre el 90%. A nivel internacional México ocupa el sexto lugar en la producción de huevo para plato y la misma posición en la producción de carne de pollo (UNA, 2013).

La producción nacional de pollo en el 2012 fue de 2.9 millones de toneladas, esto representó un crecimiento de 1.8% respecto al 2011 en términos de volumen. La perspectiva de crecimiento para el 2013 es lograr un incremento de 1.5%, para alcanzar una producción de poco más de 3 millones de toneladas de carne de pollo (UNA, 2013). Así mismo, durante el 2012 cerca del 50% de la producción de carne de pollo se concentró en seis estados; Jalisco, Veracruz, Durango, Aguascalientes, Querétaro y Guanajuato (SIAP, 2013).

En cuanto al consumo per-cápita anual de pollo en México, este aumentó durante los últimos cinco años pasando de 27 kg durante 2007 a poco más de 28 kg en 2012, esto se debe en gran parte, a que es una de las fuentes de proteína animal más accesibles al consumidor, el precio promedio de este producto durante el 2012 fue de \$19.0/kg (SIAP, 2013).

2.2 Situación actual de los lípidos en la salud pública

Los hábitos alimenticios del ser humano han cambiado conforme ha transcurrido el tiempo. La dieta de nuestros ancestros tenía un menor contenido de grasa total, grasa saturada y las relaciones omega-6: omega-3 eran de 1:1 o 1:2 (Figura 1). Sin embargo, con la llegada de la revolución industrial ocurrió un

cambio drástico en la proporción omega-6: omega-3 en la dieta, el consumo de omega-6 se incrementó a expensas de los omega-3 (Simopoulos, 1999). Actualmente, las relaciones omega-6: omega-3 se encuentran en una proporción de 12:1 (Simopoulos, 2002).

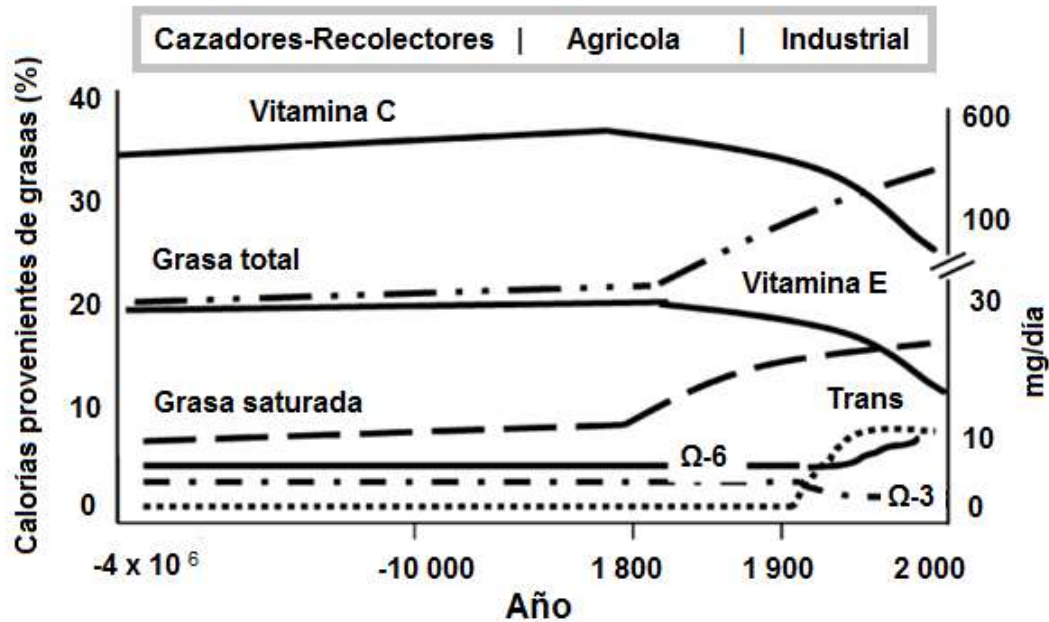


Figura 1. Esquema hipotético de consumo de grasa, ácidos grasos omega-6, omega-3, *trans* y totales y del consumo de vitaminas E y C (Simopoulos, 1999).

Los cambios en el patrón alimenticio del ser humano hacia dietas con mayor contenido de grasa total, altas relaciones omega-6: omega-3 y ácidos grasos *trans*; han sido una causa del incremento en la incidencia de padecimientos como obesidad, enfermedades coronarias del corazón, y ciertos tipos de cáncer (Rubio, 2002).

En México el Instituto de Salud Pública (2010) señala que 68% de los mexicanos tiene problemas de obesidad y sobrepeso, el 58% padece de diabetes y el 43% sufre de hipertensión arterial, padecimientos que en los últimos años han crecido en poco más del 20%.

De igual forma, se menciona que en todo el mundo al menos una de cada tres personas pierde la vida por alguna patología relacionada con las enfermedades

cardiovasculares, lo que representa la muerte de alrededor de 17 millones de personas en el mundo, en México este tipo de padecimientos constituyen la segunda causa de muerte en la población (SSA, 2008).

Marco Conceptual

2.3 Generalidades de los lípidos

Los lípidos son cuerpos de grasa que pueden ser sintetizados en el interior de las células (lípidos endógenos) o ser derivados de la grasa de la dieta como triglicéridos, fosfolípidos, ésteres de colesterol y ácidos grasos libres. En general pueden mencionarse en éste grupo a los ácidos grasos y sus ésteres, así como grasas, aceites, cuerpos cetónicos y lípidos no saponificables (Griffin, 2009).

En cuanto a los ácidos grasos, estos pueden ser clasificados por: la longitud de la cadena, grado de insaturación (Cuadro 1), número de dobles enlaces en la molécula, y la posición del primer doble enlace a partir del último grupo metilo. La FAO (2008) clasifica a los ácidos grasos de acuerdo al número de dobles enlaces presentes en su estructura:

- 1) Ácidos grasos saturados: se caracterizan por tener enlaces simples en toda la cadena de carbonos.
- 2) Ácidos grasos monoinsaturados: se identifican por tener únicamente un doble enlace a lo largo de la cadena de carbonos.
- 3) Ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs): son ácidos grasos con dos o más dobles enlaces en su estructura química. A este grupo pertenecen dos familias de ácidos grasos de gran importancia para la salud humana, los omega-6 y omega-3.
 - a) Ácidos grasos omega-6: La familia de los omega-6, se deriva del ácido linoleico, el cual tiene dos dobles enlaces y se caracteriza por tener su primer doble enlace en el carbono número seis, contando a partir del último grupo metilo (Uauy y Hoffman, 1991).

- b) Ácidos grasos omega-3:** La familia de los omega-3 se deriva del ácido alfa linolénico (ALA), con tres dobles enlaces, cuyos ácidos grasos tienen su primer doble enlace en el carbono número tres de la cadena (Carrero *et al.*, 2005).

Cuadro 1. Clasificación de los ácidos grasos en base al grado de insaturación.

Nombre común	Nombre sistemático	Fórmula
Ácidos grasos saturados		
Butírico	Butanoico	C4:0
Caproico	Hexanoico	C6:0
Caprílico	Octanoico	C8:0
Cáprico	Decanoico	C10:0
Láurico	Dodecanoico	C12:0
Mirístico	Tetradecanoico	C14:0
Palmítico	Hexadecanoico	C18:0
Esteárico	Octadecanoico	C20:0
Behénico	Docosanoico	C22:0
Lignocérico	Tetracosanoico	C24:0
Ácidos grasos monoinsaturados		
Palmitoleico	<i>cis</i> -9-hexadecenoico	16:1 Δ9c
Oleico	octadecadienoico	18:1 Δ9c
<i>cis</i> -Vaccénico	<i>cis</i> -11-octadecenoico	18:1 Δ11c
Gadoleico	<i>cis</i> -9-eicosenoico	20:1 Δ9c
Erúcido	<i>cis</i> -13-docosenoico	22:1 Δ13c
Nervónico	<i>cis</i> -15-tetracosenoico	24:1 Δ15c
Ácidos grasos poliinsaturados omega-6		
Linoleico	Octadecadienoico	18:2n-6
γ- linolénico	Octadecatrienoico	18:3 n-6
Dihomo- γ-linolénico	Eicosatrienoico	20:3 n-6
Araquidónico	Eicosatetraenoico	20:4 n-6
Docosatetraenoico	Docosatetraenoico	22:4 n-6
Docosapentaenoico	Docosapentaenoico	22:5 n-6
Ácidos grasos poliinsaturados omega-3		
α-linolénico	9,12,15-octadecatrienoico	18:3 n-3
Estearidónico	6,9, 12-octadecatetraenoico	18:4 n-3
Eicosapentaenoico	5, 8, 11, 14, 17- eicosapentaenoico	20: 5 n-3 (EPA)
Docosapentaenoico	7,10, 13, 16, 19- docosapentaenoico	22:5 n-3 (DPA)
Docosahexanoico	4, 7, 10, 13, 16, 19- docosahexaenoico	22:6 n-3 (DHA)

Fuente: FAO, 2008

2.4 Metabolismo de los lípidos en las aves

2.4.1 Digestión de los lípidos

Los lípidos que se ingieren a través de la dieta deben pasar por un proceso de digestión que consiste en modificarlos para que sean hidromicibles y puedan ser absorbidos a través de las vellosidades del intestino delgado. El proceso de emulsión inicia en la molleja y aumenta hasta llegar al duodeno en el intestino delgado, donde ocurre la mayor parte de la digestión de las grasas en monogástricos (Ferrini, 2009).

En el duodeno, la presencia de alimento estimula la secreción de hormonas intestinales que producen la contracción de la vesícula biliar para la secreción de las sales biliares. La acción detergente de las sales biliares y la actividad agitadora del intestino, promueven la emulsión de las grasas (Dolz, 1996).

Las sales biliares actúan como detergentes biológicos, convierten las grasas de la dieta en micelas mixtas de ácidos biliares y triglicéridos. La formación de micelas incrementa la fracción de moléculas de lípidos accesibles a la acción de las lipasas hidrosolubles en el intestino, que convierten los triglicéridos en diglicéridos, monoglicéridos, ácidos grasos libres y glicerol (Nelson y Cox, 2009).

Las micelas mixtas se unen con el colesterol y las vitaminas liposolubles para formar micelas mixtas más grandes y más complejas, cada una contiene cientos de moléculas y tienen un diámetro de 5 a 10 nm. Estas micelas mixtas forman microemulsiones que posteriormente hacen que los lípidos estén listos para su absorción (Church *et al.*, 2012).

2.4.2 Absorción de los lípidos

Las micelas que se formaron en el intestino se rompen al ponerse en contacto con las microvellosidades, absorbiéndose entonces los monoglicéridos, los ácidos grasos y el glicerol por un proceso de difusión pasiva. En el interior de las células epiteliales del retículo endoplásmico ocurre la re-síntesis de

triglicéridos y la formación de portomicrones constituidos por ésteres de colesterol, fosfolípidos, colesterol y lipoproteínas (apolipoproteínas: apo B y apo C-II). Los portomicrones rodean a los triglicéridos haciéndolos hidrosolubles para su transporte en la circulación, los ácidos grasos no reesterificados son absorbidos directamente y son transportados por la albúmina (Shimada, 2003).

2.4.3 Transporte de los lípidos

El transporte de los lípidos desde el hígado hacia los tejidos depende del origen de los mismos.

- **Transporte de lípidos exógenos**

Los portomicrones que pasan directamente a la circulación portal, no son metabolizados por el hígado debido a su gran tamaño. Por lo tanto, el transporte de los triglicéridos hacia los tejidos por parte de los portomicrones depende de la hidrólisis que realiza la lipoproteína lipasa, que se encuentra en los tejidos extrahepáticos de las células endoteliales que rodean los capilares. La lipasa hidroliza los triglicéridos a glicerol y ácidos grasos, el glicerol es transportado al hígado y al riñón para su posterior metabolismo y los ácidos grasos son captados por los tejidos donde se realizó la hidrólisis (Osorio y Flórez, 2011).

- **Transporte de los lípidos endógenos**

El transporte endógeno de los lípidos se realiza desde el hígado a los tejidos periféricos, el transporte está a cargo de las lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) sintetizadas en el hígado a partir de triglicéridos, fosfolípidos, colesterol, ésteres de colesterol y apoproteínas de los portomicrones. Los niveles plasmáticos y la secreción de VLDL determinan la deposición de grasa corporal así como la síntesis de ácidos grasos en el hígado del pollo (Nelson y Cox, 2009).

En el endotelio capilar las VLDL al igual que los portomicrones son sustrato de la lipoproteína lipasa, esta enzima hidroliza los triglicéridos liberando el colesterol, los fosfolípidos y la apoproteína-C, los cuales son posteriormente transferidos a las lipoproteínas de alta densidad (HDL). Los remanentes de las VLDL pasan a formar parte de las lipoproteínas de baja densidad (LDL). Las LDL son fuentes de colesterol para varios tejidos que lo utilizan en la síntesis de membranas celulares y de hormonas esteroideas (Crespo, 2003).

En cuanto a las HDL, son las lipoproteínas encargadas de funcionar como intermediarios en el transporte inverso del colesterol, transportando el colesterol de las paredes arteriales al hígado y pueden proporcionar colesterol a las glándulas suprarrenales, ovarios y testículos (Osorio y Flórez, 2011).

2.4.4 Síntesis de los ácidos grasos

En las aves el órgano responsable de la síntesis de los ácidos grasos es el hígado, el proceso ocurre en el citosol de las células y el producto activo para la síntesis es la acetil-CoA, la cual proviene de la descarboxilación oxidativa del piruvato y del catabolismo de aminoácidos. En el citosol, la acetil-CoA tiene dos funciones; iniciar la síntesis de los ácidos grasos y es la base para la elaboración de malonil-CoA (Crespo, 2003).

El malonil-CoA y la acetil-CoA a través de combinaciones sucesivas promueven la elongación de la cadena carbonada, en cada paso la cadena ácido graso se alarga dos carbonos hasta la formación del ácido palmítico (C 16:0). Una vez sintetizado el ácido palmítico se pueden producir ácidos grasos de cadena más larga (por ejemplo el esteárico, C 18:0) mediante la acción de la enzima ácido graso elongasa y la adición de malonil-CoA a la cadena del ácido palmítico (Ferrini, 2009).

La presencia de las enzimas desaturasas de tipo 4, 5, 6 y 9 permiten la adición de un doble enlace en los carbonos 4, 5, 6 y 9 del extremo carboxilo, dando origen a los ácidos grasos monoinsaturados (Ferrini, 2009). Sin embargo, las aves no poseen la capacidad enzimática de introducir dobles enlaces después

del noveno carbono, de tal manera, que no son capaces de sintetizar ácido linoleico o ácido α -linolénico (Klasing, 1998).

Por lo tanto, los ácidos grasos poliinsaturados se deben consumir a través de la dieta, para ser metabolizados por las enzimas del retículo endoplásmico de los hepatocitos de las aves. El ácido linoleico puede ser desaturado entre los carbonos 6 y 7 para dar lugar al ácido γ -linolénico, que es alargado con la adición de dos carbonos, posteriormente ocurre otra desaturación que da lugar al ácido araquidónico, el cual es metabolizado a ácidos grasos de 22 carbonos. Así mismo, el ácido α -linolenico puede ser alargado y desaturado por los hepatocitos para formar ácido eicosapentanoico y entonces es metabolizado para formar otros ácidos grasos (Coronado *et al.*, 2006).

2.4.5 Almacenamiento de lípidos

En los animales el principal sitio de deposición de grasa es el tejido adiposo, el cual está constituido por adipocitos. Los adipocitos presentan una vacuola donde se depositan los triglicéridos de reserva. En las aves, la morfología de los adipocitos muestra una mayor especialización para el almacenamiento de grasa, en comparación con los mamíferos. El tejido adiposo de las aves tiene limitada su capacidad de síntesis de ácidos grasos y la mayoría de la grasa acumulada proviene de la dieta o de la sintetizada en el hígado (Griffin y Whitehead, 1982).

2.5 Funciones de los lípidos en aves

Las grasas y los aceites son utilizados en la alimentación de las aves porque mejoran las propiedades físicas y nutrimentales del alimento. Las propiedades físicas se mejoran debido a que, se disminuye la formación de polvo en el proceso de fabricación, en el producto terminado se evita la separación de partículas, existe una mayor palatabilidad del alimento y se mejora la condición del gránulo (Martínez, 2008).

En lo que respecta a las ventajas nutrimentales que ofrecen los aceites se pueden mencionar que sirven como fuentes de energía, facilitan el transporte de vitaminas liposolubles, forman parte de las membranas celulares, son fuente de ácidos grasos esenciales e intervienen en la producción de hormonas.

2.5.1 Fuentes de energía

Los lípidos son la fuente más concentrada de energía (Cuadro 2) que pueden consumir las aves debido a que los triglicéridos son digeridos y metabolizados a glicerol y ácidos grasos con alta eficiencia (Klasing, 1998).

En las aves, los factores que determinan el valor energético de los lípidos son: contenido de energía bruta, porcentaje de triglicéridos *versus* ácidos grasos libres, grado de insaturación de los ácidos grasos y longitud de la cadena de los mismos. A mayor porcentaje de triglicéridos e insaturación y menor longitud de la cadena, mayor será el valor energético, especialmente en el caso de aves jóvenes (De Blas *et al.*, 2010).

Cuadro 2. Valores de energía (Kcal kg⁻¹) de aceites vegetales y grasas de origen animal

Tipo de grasa	EM ¹	EM ²
Grasa animal	7400	8000
Grasa de pollo	8200	9000
Aceite de pescado	8600	9000
Aceite de soya*	8300	9000
Aceite de linaza**	8126	--
Aceite de colza*	8100	8800
Aceite de Coco	6500	7800
Aceite de oliva*	7750	8600
Aceite de palma	7200	8000

Fuente: Baiao y Lara (2005), * De Blas, 2010; **Dolz, 1996.

EM¹= Energía metabolizable hasta 3 semanas de edad, EM²= Energía metabolizable después de tres semanas de edad.

2.5.2 Transporte de vitaminas liposolubles

Los lípidos facilitan la absorción de las vitaminas liposolubles (A, D, E y K) que se hallan dispersas en forma de micelas semejantes o idénticas a las que se forman en la absorción de los ácidos grasos. Las micelas mixtas que contienen monoglicéridos y ácidos grasos libres captan vitaminas liposolubles con mayor eficiencia que las micelas que no las contienen (Church *et al.*, 2012).

El uso de grasas o aceites en la dieta de las aves pueden mejorar la absorción de las vitaminas liposolubles; sin embargo, el riesgo de oxidación de estas no se debe pasar por alto, por lo que se recomienda el uso de antioxidantes y de vitamina E, cuando se emplean altas cantidades de grasas o aceites (Cuca *et al.*, 2009).

2.5.3 Conformación de membranas celulares

Los ácidos grasos omega-3 y omega-6 forman parte de las membranas celulares. El ácido araquidónico (AA) y el ácido docosahexaenoico (DHA) forman parte de la estructura de los fosfolípidos de las membranas celulares, particularmente de la fosfatidilcolina, la fosfatidiletanolamina y la fosfatidilserina. Por su alto grado de poliinsaturación, estos ácidos grasos le aportan gran fluidez a las membranas en cuya formación participan estos fosfolípidos. La fluidez es esencial para que las proteínas de la membrana (canales iónicos, receptores, uniones comunicantes, receptores catabólicos, enzimas, estructuras formadoras de vesículas, etc.) puedan tener la movilidad que requieren sus funciones, ya sea en la superficie de las membranas o en el interior de la bicapa lipídica (Valenzuela y Nieto, 2003).

2.5.4 Fuente de ácidos grasos esenciales.

Las grasas y aceites son fuentes de ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados. Los monogástricos son capaces de sintetizar ácidos grasos poliinsaturados de las familias n-7 y n-9, pero no pueden sintetizar o al menos no en las cantidades suficientes ácidos grasos de la familia n-6 y n-3

considerados esenciales (Church *et al.*, 2012). Las principales fuentes de ácidos grasos poliinsaturados omega-3 son las semillas de oleaginosas, aceites de origen vegetal y animal, y algunas especies de peces. (McDonald *et al.*, 2006).

Las principales fuentes de ácidos grasos omega-6 son algunos aceites de origen vegetal; aceite de maíz, aceite de cártamo y aceite de soya (Rodríguez *et al.*, 2005). Además, algunas especies de peces como salmón, trucha, sardina y atún, tienen concentraciones importantes de estos ácidos grasos (Sánchez, 2009).

En lo que corresponde a los ácidos grasos de la familia omega-3 las principales fuentes son las semillas de colza y soya, los cuales contienen ALA en proporciones de 7 a 13%. Sin embargo, el aceite de linaza se considera la fuente de origen vegetal más rica en ALA ya que alrededor del 57% de los ácidos grasos totales son de la familia omega-3 (Carrero *et al.*, 2005). En cuanto a los aceites de origen animal, el aceite de pescado representa la principal fuente de ácido eicosapentaenoico (EPA) y DHA (Uauy y Hoffman, 1991).

En el Cuadro 3 se menciona el contenido de ácidos grasos omega-6, omega-3 y la relación entre ambos, en las principales fuentes de grasa y aceites utilizados en la nutrición de aves.

La deficiencia de estos ácidos grasos esenciales puede causar crecimiento pobre e hígados grasos en las aves, actualmente no se conoce con exactitud las necesidades de ácido linolénico para pollos de engorda, sin embargo se estima que está en el orden del 1% de la dieta (Cuca *et al.*, 2009).

Cuadro 3. Contenido de ácidos grasos esenciales (%) en aceites vegetales y grasas de origen animal

Fuente de ácidos grasos	Omega-6	Omega-3	Relación omega-6: omega-3
Grasa de Pollo	22.5	0.9	25:1
Grasa de Bovino	3.3	0.5	6.6:1
Aceite de Soya	60.2	4.0	15:1
Aceite de Linaza	27.8	51.0	0.5:1
Aceite de Colza	14.0	9.0	1.5:1
Aceite de Maíz	52.0	1.0	52:1
Aceite de Girasol	64.0	0.1	640:1

Fuente: Dolz, 1996

2.5.5 Producción de hormonas

Los ácidos grasos poliinsaturados constituyen una parte importante de la estructura de varios compuestos llamados eicosanoides, los cuales intervienen en regular la liberación de hormonas del hipotálamo y la hipófisis (Church *et al.*, 2012).

Los eicosanoides como las prostaglandinas, prostaciclina, tromboxanos y leucotrienos son derivados de los ácidos grasos omega-3 y omega-6. Los eicosanoides sintetizados a partir de la familia de los omega-3 son menos activos, y por lo tanto tienen menor actividad antiinflamatoria, en comparación a los eicosanoides derivados de la familia omega-6. La importancia de estos compuestos es que intervienen en numerosos procesos fisiológicos tales como la coagulación de la sangre o la respuesta inflamatoria e inmunológica (Carrero *et al.*, 2005).

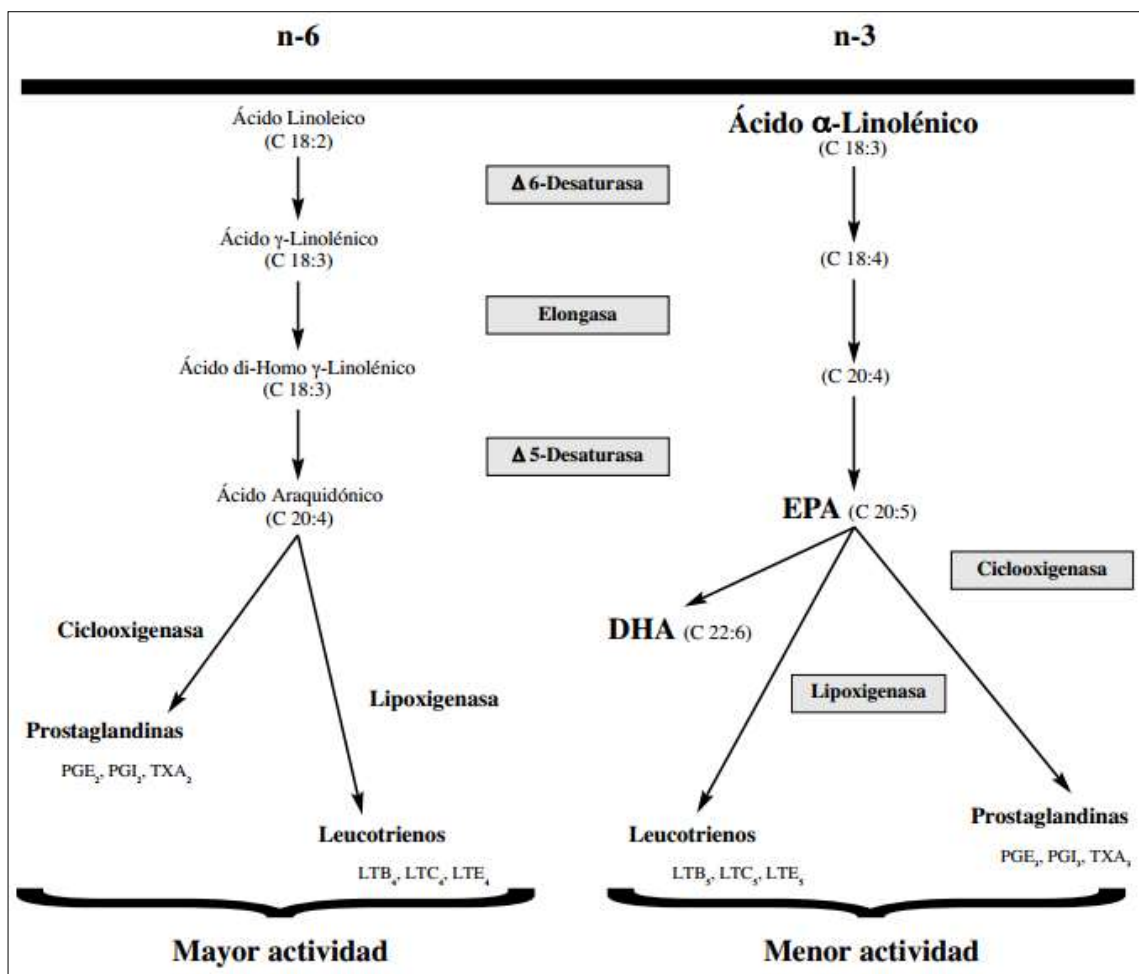


Figura 2. Series de ácidos grasos poliinsaturados y rutas metabólicas de eicosanoides (Carrero *et al.*, 2005)

2.6 Efecto de los ácidos grasos sobre el comportamiento productivo de los pollos

La utilización de grasas y aceites en la dieta de las aves tiene como objetivo principal incrementar la concentración energética del alimento, esto es posible gracias a su alta densidad calórica y por la alta eficiencia con la que son metabolizados (Codony *et al.*, 2010). El aceite de linaza y el aceite de soya se han utilizado en la dieta de pollos ya sea como fuentes de energía o de ácidos grasos poliinsaturados (Baiao y Lara, 2005).

El aceite de linaza se obtiene de la semilla de linaza, la cual contiene poco más del 40% de aceite que a su vez se caracteriza por tener alrededor de 48-52%

de ácido α -linolénico (Lee *et al.*, 1991). En lo que corresponde al aceite de soya este se extrae del haba de soya que se utiliza para consumo humano, el aceite crudo que se destina a la industria pecuaria contiene gomas que son muy ricas en colina, fosfolípidos, antioxidantes y vitamina E, que mejoran su digestibilidad y facilitan su conservación durante el almacenamiento (De Blas *et al.*, 2010).

Aunque el aceite de linaza y el de soya se utilizan indistintamente en la nutrición de las aves, es importante mencionar que existen algunas diferencias entre los aceites como el tipo de ácidos grasos y el grado de insaturación de los mismos, ambos factores se deben considerar durante la utilización de uno u otro debido a que pueden influir en el comportamiento productivo de los animales.

En lo que corresponde al tipo de ácidos grasos es importante mencionar que su longitud de cadena influye de forma directa sobre su digestibilidad, es decir los ácidos grasos de cadena corta se absorben con mayor facilidad que los de cadena larga dando como resultado valores de energía más altos. Por ejemplo, el valor de energía metabolizable del aceite de soya es superior al del aceite de pescado, debido en parte a que los ácidos grasos del aceite de soya son de menor longitud por lo que son absorbidos con mayor facilidad por las aves (Lázaro *et al.*, 2004).

Por otro lado, al comparar aceites con similar perfil de ácidos grasos el efecto en el comportamiento productivo de las aves es similar, tal es el caso de López-Ferrer *et al.*, (1999) quienes al sustituir 8.2% de aceite de pescado por aceite de linaza en dietas para pollo de engorda, no observaron diferencias significativas ($p>0.05$) en el comportamiento productivo de las aves, esto debido a que ambos aceites tienen similar contenido de ácidos grasos de cadena larga.

El grado de insaturación de los ácidos grasos también influye de manera positiva o negativa en el aspecto nutricional de los aceites y por consiguiente en el comportamiento productivo de los animales. El aumento en la proporción de ácidos grasos saturados en los aceites tiene un impacto negativo en la digestibilidad y disponibilidad energética de la dieta (Torstense *et al.*, 2000).

Debido a que los ácidos grasos saturados son menos polares que los insaturados, presentan una mayor dificultad para incorporarse o para formar micelas, cuanto mayor es la saturación de las grasas mayor cantidad de sales biliares son necesarias para su emulsión y formación de micelas, lo que puede ocasionar una reducción en la absorción del aceite. Por esta razón la digestibilidad del sebo es inferior a la de la manteca y esta es inferior a la de los aceites vegetales insaturados (Dolz, 1996).

Estudios realizados en aves han demostrado un mejor comportamiento productivo de los animales cuando se combinan ácidos grasos saturados y ácidos grasos poliinsaturados en la dieta. Al respecto López-Ferrer *et al.*, (2001) observaron que al combinar grasa animal como fuente de ácidos grasos saturados y aceite de linaza como fuente de ácidos grasos poliinsaturados en la dieta de pollo de engorda la ganancia diaria de peso se incrementó 9.6% y el peso vivo 9.2%, lo anterior en comparación al tratamiento testigo.

Resultados similares obtuvieron Crespo y Esteve-García (2001) quienes sustituyeron 6 y 10% de grasa animal por aceite de linaza en la dieta de pollos de engorda, la inclusión de aceite de linaza mejoró la eficiencia alimenticia en 4.1 y 12% respectivamente. Sin embargo, en las variables peso vivo y consumo de alimento no se encontraron diferencias significativas ($p>0.05$) entre tratamientos.

Las diferencias en el comportamiento productivo de las aves es notoria entre una fuente de ácidos grasos saturados *versus* una fuente de ácidos grasos insaturados, pero al comparar aceites vegetales con similar contenido de ácidos grasos poliinsaturados la respuesta en el comportamiento productivo es variable.

En este sentido, los resultados publicados por Tani *et al.*, (2010) indican una disminución en el comportamiento productivo de las aves al sustituir el aceite de soya, 6.5% en iniciación y 4.9% en crecimiento y finalización, por aceite de linaza en la dieta, en el consumo de alimento no se encontraron diferencias,

pero la ganancia de peso disminuyó en 0.8 kg, en consecuencia la conversión alimenticia se afectó al pasar de 1.75 a 1.78.

En contraste, los resultados publicados por Kavouridou *et al.*, (2008) indican que la adición de 10% de aceite de linaza en sustitución del aceite de soya en la dieta de las aves no afecta el comportamiento productivo de los animales, esto debido a que el peso de los animales fue similar, 1.8 kg animal⁻¹. Resultados similares obtuvieron Almeida *et al.*, (2009) quienes al evaluar distintas combinaciones de aceite de linaza y aceite de soya en la dieta, no encontraron diferencias significativas ($p>0.05$) en el comportamiento productivo de los animales.

2.7 Inclusión de ácidos grasos poliinsaturados en la carne de pollo

El valor nutritivo de la carne de pollo tiene gran importancia en función del alto consumo y de la calidad nutrimental de la misma. Los valores nutrimentales que la definen, ponen de manifiesto sus ventajas al tener un contenido de ácidos grasos y colesterol muy controlados (Cuadro 4), lo anterior en comparación a la carne de otras especies; bovino, ovino y porcino (López, 2000). Así mismo, la cantidad de lípidos totales en la carne no es uniforme, el contenido más bajo está en la pechuga con 11.5%, seguido por la pierna y el muslo con 18.3% (González *et al.*, 2008).

Cuadro 4. Ácidos grasos en carne de pollo (100 g porción comestible⁻¹)

Lípidos totales	12.36 g
Ácidos grasos	
Saturados	4.31 g
Monoinsaturados	5.17 g
Poliinsaturados	2.88 g
Colesterol	75 mg

Fuente: Muñoz, 2010.

Debido a que la carne de pollo aporta ciertas cantidades de grasa y colesterol a nuestra dieta, se le ha vinculado con la incidencia de ciertos padecimientos en la salud humana, es especial a problemas de tipo cardiovascular (Castro, 2002).

Al respecto, González *et al.* (2009) mencionan que el tipo de grasa en la dieta es más importante que la cantidad total de las mismas, por ello las recomendaciones están encaminadas a elegir dietas bajas en grasas saturadas, bajas en colesterol y con una relación entre ácidos grasos omega-6: omega-3 inferior de 10:1.

La mayoría de las carnes de forma natural poseen una relación omega-6: omega-3 superior a 15. Se ha demostrado que la calidad de la grasa en la carne de pollo se puede mejorar mediante el incremento de ácidos grasos poliinsaturados y la reducción de ácidos grasos saturados en la dieta de las aves. Lo anterior debido a que en las aves la composición lipídica de la dieta tiene un efecto importante sobre la composición lipídica de la carne (Zelenca *et al.*, 2008).

Una estrategia para reducir la relación omega-6: omega-3 a valores inferiores de 10:1 es mediante la inclusión de aceite de linaza en la dieta de las aves, el cual se caracteriza por su alto contenido de ácidos grasos omega-3, especialmente por su alto contenido en ácido linolénico (Mateos *et al.*, 1996).

Actualmente existen algunos estudios donde el aceite de linaza se ha adicionado en la dieta de pollos de engorda en distintas proporciones y en combinación con otros aceites o grasas. La respuesta en el perfil de ácidos grasos de la carne ha sido variable, en el Cuadro 5 se muestran algunos resultados.

Cuadro 5. Ácidos grasos en la carne de pollo en respuesta a la adición de aceite de linaza en la dieta.

Autor	Aceite de linaza en dieta, %	Relación omega-6: omega-3		
		Dieta	Pechuga	Muslo
López-Ferrer <i>et al.</i> , 1999	8.2	0.61	0.81	0.73
López-Ferrer <i>et al.</i> , 2001	2	0.87	1.15	1.69
	4	0.57	1.13	1.14
Crespo y Esteve-García, 2001	10	--	0.8	0.8
Variedad Atalante				
Zelenka <i>et al.</i> , 2008	1	1.16	2.7	3.3
	3	0.52	1.3	1.6
	5	0.38	0.9	1.1
	7	0.33	0.9	1.0
Variedad Lola				
	1	32.31	7.3	10.1
	3	34.67	9.0	11.7
	5	35.45	9.9	14.1
	7	35.41	13.6	17.2

Los resultados que se muestran en el Cuadro 5, denotan que al incluir aceite de linaza en la dieta de los pollos de engorda se puede disminuir la relación omega-6: omega-3 en los distintos tejidos. Lo anterior es de gran importancia ya que una reducción en dicha relación tiene efectos benéficos en la salud humana (Woods *et al.*, 2005).

2.8 Ácidos grasos poliinsaturados en la salud humana

La esencialidad de los ácidos grasos poliinsaturados se debe a la incapacidad que tiene el organismo humano para sintetizarlos, de ahí la importancia de incluirlos en la dieta. Los mamíferos no pueden sintetizar ácidos grasos con dobles enlaces entre los átomos de carbono nueve y el grupo metilo terminal de la cadena del ácido graso (linoléico, α -linolénico y araquidónico), debido a que carecen de enzimas que puedan formar dichos enlaces, es por ello que se deben consumir los ácidos grasos poliinsaturados omega-6 y omega-3 a través de la dieta (McDonald *et al.*, 2006).

La relación entre los ácidos grasos omega-6: omega-3 determinan la función de un producto para prevenir o curar ciertas enfermedades. La FAO (2003) menciona que relaciones entre los ácidos grasos omega-6: omega-3 superiores a 10:1 se consideran de alto riesgo para nuestra salud, mientras que relaciones inferiores a 10:1 se consideran benéficas a la salud humana.

Las relaciones altas favorecen el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, ciertos tipos de cáncer, enfermedades inflamatorias y autoinmunes. La relación omega-6: omega-3 en la dieta habitual de México, es alrededor de 36:1 lo que favorece el desarrollo de las enfermedades antes mencionadas. Es por ello que FAO recomienda el consumo de productos con relaciones inferiores de 10:1 para disminuir la incidencia de dichos padecimientos (INSP, 2007).

2.8.1 Enfermedades cardiovasculares

Los ácidos grasos omega-3 tienen un efecto benéfico en la prevención de enfermedades cardiovasculares. Tres mecanismos principales parecen estar involucrados en el efecto protector cardiovascular de los ácidos grasos omega-3: su efecto antiinflamatorio, su efecto antitrombótico, y su acción antiarrítmica (López y Macaya, 2006).

El efecto antiinflamatorio de los omega-3 ocurre mediante la reducción en la expresión de proteínas de adhesión, aumentando el tiempo de sangrado y

evitando la adherencia de plaquetas en las arterias, previniendo la aterosclerosis al reducir las concentraciones de colesterol en plasma, ya que contribuyen a bajar la presión sanguínea y reducen la concentración de triglicéridos en plasma y disminuyen el colesterol total (Simopoulos, 1999).

El efecto antitrombótico se debe a la acción del EPA que inhibe la síntesis de tromboxanos A₂ a partir del ácido araquidónico en la placa. Los tromboxanos A₂ causan agregación plaquetaria y vasoconstricción, por lo tanto la ingestión de omega-3 mejora la anti-agregación plaquetaria y disminuye el riesgo de trombosis (López y Macaya, 2006).

El efecto más evidente y directo parece ser el antiarrítmico al estabilizar la electrofisiología cardíaca (Ceseri *et al.*, 2006). Las familias de omega-6 y omega-3 tienen funciones complementarias, mientras los derivados de la familia omega-6 tienen efectos proinflamatorios, los de la familia omega-3 son antiinflamatorios. Este balance es una de las determinantes del papel que tienen estos lípidos para disminuir o aumentar el riesgo cardiovascular (Villalpando, 2007). Las relaciones omega-6: omega-3 que pueden reducir la incidencia de problemas cardiovasculares son aquellas alrededor de 2:1 (Paschos *et al.*, 2007).

2.8.2 Sinapsis de neuronas

Los ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga de la familia omega-6 como el ácido araquidónico, y de la familia omega 3 como el DHA, son fundamentales en la formación de la estructura y funcionalidad del sistema nervioso. Ambos ácidos grasos constituyen más del 30% de la estructura lipídica del cerebro (Valenzuela y Nieto, 2003).

Los tejidos neuronales como el cerebro, la retina y las membranas sinápticas particularmente contienen cantidades elevadas de DHA, el cual contribuye en la función sináptica, su bajo contenido en las membranas de las neuronas, propicia la disminución de la velocidad en la transmisión de impulsos nerviosos. El DHA cubre continuamente las neuronas, por lo que una alteración en la

composición de los lípidos de la membrana también puede alterar las funciones de las mismas por falta de fluidez (Coronado *et al.*, 2006).

2.8.3 Cáncer

Los eicosanoides derivados del ácido linoleico, han sido asociados al crecimiento tumoral y a la metástasis. Las células tumorales producen una mayor cantidad de eicosanoides que las células normales. Los ácidos grasos poliinsaturados como el EPA, bloquean la reacción de desaturación, que representa el primer paso de transformación del ácido linoleico hacia los eicosanoides, lo que puede parcialmente explicar su efecto inhibitorio sobre la tumorigénesis en las células (Benatti *et al.*, 2004). Al respecto, Simopoulos (2002) señala que el efecto se da mediante la reducción de la proliferación celular en pacientes con cáncer, lo cual se puede lograr mediante una relación omega-6: omega-3 inferior de 2.5:1.

2.8.4 Artritis

La artritis es una enfermedad que se caracteriza por una marcada inflamación y destrucción progresiva de los tejidos que forman las articulaciones (Valenzuela *et al.*, 2011).

El consumo de ácidos grasos omega-3 puede modular la expresión y la actividad de los factores inflamatorios y degradativos que causan la destrucción de los cartílagos. Relaciones omega-6: omega-3 inferiores a 3:1 pueden reducir la inflamación de las articulaciones en pacientes con artritis (Simopoulos, 2002). Estudios realizados tanto en humanos como en animales han demostrado que la suplementación con omega-3, reduce significativamente los niveles séricos de los mediadores de la inflamación, lo que se asocia a una mejoría en los síntomas de la artritis reumatoide, mediante la reducción de la tensión y rigidez articular (Hurts *et al.*, 2010).

2.8.5 DES (Síndrome del ojo seco)

Los ácidos grasos esenciales son moduladores naturales de la actividad inflamatoria a través del metabolismo de los eicosanoides. La modulación de la actividad inflamatoria está basada en el balance de los precursores. Los eicosanoides derivados del ácido araquidónico, como las prostaglandinas E_2 (PGE_2) y leucotrienos B_4 (LTB_4), son proinflamatorios, mientras que las prostaglandinas y los leucotrienos derivados del EPA son biológicamente menos activas (Carrero *et al.*, 2005).

Las relaciones omega-6: omega-3 inferiores a 2.5:1 pueden disminuir el Síndrome del Ojo Seco, esto debido a que los omega-3 reducen la actividad inflamatoria mediante la supresión de la biosíntesis de eicosanoides derivados del ácido araquidónico, es decir, reducen la desaturación y elongación del ácido linoleico a ácido araquidónico (Miljanovic *et al.*, 2005).

2.9 Literatura citada

- Almeida S, A. P., M. F. Pinto, L. B. Poloni, E. H. G. Ponsano, M. G. Neto. 2009. Efeito do consumo de óleo de linhaça e de vitamina E no desempenho e nas características de carcaças de frangos de corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 61(3): 698-705.
- Baiao N., C. and J. C. Lara L. 2005. Oil and fat in broiler nutrition. *Brazilian Journal of Poultry Science* 7(3): 129-141.
- Benatti, P., G. Peluso, R. Nicolai, M. Calvani. 2004. Polyunsaturated fatty acids: Biochemical, nutritional and epigenetic properties. *Journal of the American College of Nutrition* 23(4): 281-302.
- Carrero J., J., E. Martin B., L. Baró, J. Fonollá, J. Jiménez, J. Boza J. y E. López H. 2005. Efectos cardiovasculares de los ácidos grasos omega-3 y alternativas para incrementar su ingesta. *Nutrición Hospitalaria* 20: 63-69.
- Castro G., M. I. 2002. Ácidos grasos omega-3: Beneficios y fuentes. *Interciencia* 27(3): 128-136.
- Ceseri, M., G. Lonardo y A. Maggioni P. 2006. Importancia de los ácidos grasos omega-3 en la prevención secundaria del infarto agudo de miocardio. *Revista Española de Cardiología Suplementos* 6: 62D-71D.
- Church D., C., W. G. Pond y K. R. Pond. 2012. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 2da. ed. Limusa México pp: 105-129.
- Codony, R., F. Guardiola, R. Bou y A. Tres. 2010. Valoración analítica y nutricional de las grasas. *In XXXVI Curso de Especialización FEDNA: Nutrición y alimentación animal*. Rebollar P. G., Mateos G. G. y De Blas C. (eds.). Madrid, España 4 y 5 de Noviembre pp: 175-206.
- Coronado H., M., S. Vega L., R. Gutiérrez T., B. García F. y G. Díaz G. 2006. Los ácidos grasos omega-3 y omega-6: Nutrición, bioquímica y salud. *Revista de Educación Bioquímica* 25(3): 72-79.
- Crespo A., N. 2003. Reducción de la deposición de grasa abdominal en el pollo de carne mediante la modificación del perfil de ácidos grasos de la dieta. Tesis Doctoral. Universidad Rovira i Virgill. España. pp: 14-29.
- Crespo, N. and E. Esteve-García. 2001. Dietary fatty acid profile modifies abdominal fat deposition in broiler chickens. *Poultry Science* 80: 71-78.
- Cuca G., M., E. Ávila G., A. Pro M. 2009. Alimentación de las aves. Ed. México Universidad Autónoma Chapingo. pp: 128-147.
- De Blas, C., G. G. Mateos y P. García- Rebollar. 2010. Tablas FEDNA de Composición y Valor Nutritivo de Alimentos para la Fabricación de

Piensos Compuestos. 3ra Edición. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. 502 p.

- Dolz S. 1996. Utilización de grasas y subproductos lipídicos en monogástricos. *In* XII Curso de Especialización FEDNA: Nutrición y alimentación animal. Rebollar P. G., Mateos G. G. y De Blas C. (eds.). Madrid, España 7 y 8 de Noviembre. pp. 1-21.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 2003. Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas. Organización Mundial de la Salud. Ginebra Suiza. pp: 24-40.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2008. Grasas y ácidos grasos en nutrición humana. Organización Mundial de la Salud. Ginebra Suiza. pp: 21-37.
- Ferrini G. 2009. Efecto del perfil en ácidos grasos de la ración sobre la cantidad y distribución de lípidos en el pollo de carne. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. España. 136 p.
- González A., M. J., 2008. La carne de pollo nutricionalmente enriquecida: genera valor agregado y es rentable. *In* Memorias del III Congreso CLANA. 18-21 de Noviembre. Quintana Roo, México.
- González G., N., C. Jiménez R. y M. E. Milke N. 2009. Evidencias sobre las grasas en la dieta y enfermedad coronaria. http://www.respyn.uanl.mx/x/1/ensayos/ensayo_enfermedad_cardiovascular.htm. Consultada el 23 de noviembre de 2013.
- Griffin A., B. 2009. Lipid metabolism. *Surgery* 27: 1-5.
- Griffin H., D. and C. C. Whitehead. 1982. Plasma lipoprotein concentration as an indicator of fatness in broilers: Development and use of a simple assay for plasma very low density lipoproteins. *British Poultry Science* 23 (4): 307-313.
- Hurst, S., Z. Zainal, B. Caterson, C. E. Hughes and J. L. Harwood. 2010. Dietary fatty acids and arthritis. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential fatty Acids* 82: 315: 318.
- INSP (Instituto Nacional de Salud Pública). 2010. Enfermedades cardíacas, primera causa de muerte en México. <http://www.insp.mx/noticias/nutricion-y-salud/1372-enfermedades-cardiacas-primera-causa-de-muerte-en-mexico.html>. Consultada el 08 de julio de 2013.

- Kavouridou, K., A. C. Barroeta and C. Villaverde. 2008. Fatty acid, protein and energy gain of broilers fed different dietary vegetable oils. *Spanish Journal of Agricultural Research* 6(2): 210-218.
- Klasing C., K., 1998. *Comparative Avian Nutrition*. CAB international. University Press, Cambridge. pp: 171-201.
- Kouba M. and J. Mourot. 2011. A review of nutritional effects on fat composition of animal products with special emphasis on n-3 polyunsaturated fatty acids. *Biochimie* 93: 13-17.
- Lázaro, R., G. G. Mateos, M. Ángeles L. y J. Piquer. 2004. Soja integral en nutrición aviar. <http://www.thepoultrysite.com/articles/194/whole-soybeans-in-diets-for-poultry>. Consultada el 12 de noviembre de 2013.
- Lee, K., J. M. Olomu and J. S. Sim. 1991. Live performance, carcass yield, protein and energy retention of broiler chickens fed canola and flax full-fat seeds and the restored mixtures of meal and oil. *Canadian Journal of Animal Science* 71: 897-903.
- López A., P. 2000. Valor nutritivo de la carne de pollo. *Alimentación, Equipos y Tecnología* 19(7): 89-94.
- López F., A., y C. Macaya. 2006. Efectos antitrombóticos y antiinflamatorios de los ácidos grasos omega-3. *Revista Española de Cardiología* 6(4): 31D-37D.
- López-Ferrer S., M. D. Baucells, A. C. Barroeta and M. A. Grashorn. 1999. n-3 enrichment of chicken meat using fish oil: alternative substitution with rapeseed and linseed oils. *Poultry Science* 78: 356-365.
- López-Ferrer S., M. D. Baucells, A. C. Barroeta, J. Galobart and M. A. Grashorn. 2001. n-3 enrichment of chicken meat. 2. Use of precursors of long-chain polyunsaturated fatty acids: Linseed oil. *Poultry Science* 80: 753-761.
- MacDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh y C. A. Morgan. 2006. *Nutrición Animal*. 6ta ed. Acribia España. pp: 27-45.
- Martínez A., J. A. 2008. El aceite de atún como alternativa para enriquecer la carne de pollo con ácidos grasos omega-3. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. México. 64 p.
- Mateos G., G., P. G. Rebollar y P. Medel. 1996. Utilización de grasas y productos lipídicos en alimentación animal: Grasas puras y mezclas. *In* XII Curso de Especialización FEDNA: Nutrición y alimentación animal. Rebollar P. G., Mateos G. G. y De Blas C. (eds.). Madrid, España 7 y 8 de Noviembre. pp. 1- 21.

- Miljanovic, B., K. A. Trivedi, M. R. Dana, J. P. Gilbard, J. E. Buring and D. A. Schaumberg. 2005. Relation between dietary n-3 and n-6 fatty acids and clinically diagnosed dry eye syndrome in women. *The American Journal of Clinical Nutrition* 82: 887-893.
- Muñoz C., M. 2010. Valor Nutritivo de los Alimentos de Mayor Consumo. 2da edición. Ed. Mc. Graw Hill, México D. F. 330 p.
- Nelson L., D. y M. M. Cox. 2009. Principios de Bioquímica. 5ª ed. Omega. España pp. 647-673.
- Osorio H. J. y J. D. Flórez. 2011. Diferencias bioquímicas y fisiológicas en el metabolismo de lipoproteínas de aves comerciales. *Biosalud* 10: 88-98.
- Palanca, V., E. Rodríguez, J. Señoráns y G. Reglero. 2006. Bases científicas para el desarrollo de productos cárnicos funcionales con actividad biológica combinada. *Nutrición Hospitalaria* 21(2): 199-202.
- Paschos G. K., F. Magkos, D. B. Panagiotakos, V. Voteras and A. Zampelas. 2007. Dietary supplementation with flaxseed oil lowers blood pressure in dyslipidaemic patients. *European Journal of Clinical Nutrition* 61: 1201-1206.
- Rodríguez C., M., A. R. Tovar, M. Del Prado y N. Torres. 2005. Mecanismos moleculares de acción de los ácidos grasos poliinsaturados y sus beneficios en la salud. *Revista de Investigación Clínica* 57(3): 457-472.
- Rubio M., A. 2002. Enfermedad cardiovascular y grasa. *Endocrinología y Nutrición* 49(5): 145-167.
- Sánchez V., G. 2009. ¿Qué son los ácidos grasos omega-3? *Revista Colombiana de Cardiología* 16: 5-8.
- Shimada M., A. 2003. *Nutrición Animal*. Trillas México D. F. pp: 124-127.
- SIAP (Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera). 2013. Porcentaje de participación por producto con respecto al total nacional año 2012. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=369. Consultada el 07 de julio de 2013.
- Simopoulos P., A. 1999. Essential fatty acids in health and disease. *The American Journal of Clinical Nutrition* 560S-569S.
- Simopoulos, A. P. 2002. The importance of the ratio omega-6: omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine and Pharmacotherapy* 56(8): 365-379.
- SSA (Secretaría de Salud Pública). 2008. Programa de acción específico 2007-2012: Riesgo Cardiovascular. Secretaría de Salud Pública. México, D. F. 74 p.

- Stanačev V., Z., D. Milic, N. Milosevic, V. S. Stanacev, Z. Pavlovski, Z. Skrbic and N. Puvana. 2013. Different source and levels of vegetable oils in broiler chicken nutrition. *Biotechnology in Animal Husbandry* 29(2): 321-329.
- Tani M., K. T., M. F. Pinto, E. H. G. Ponsano e M. G. Neto. 2010. Desempenho produtivo e qualidade da carne de frangos alimentados com ração contendo óleo de linhaça. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 45(4): 401-407.
- Torstensen B., E., O. Lie and L. Froyland. 2000. Lipid metabolism and tissue composition in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)-Effects of capelin oil, palm oil, and oleic acid-enriched sunflower oil as dietary lipid sources. *Lipids* 35(6): 653-664.
- Uauy, R. and R. Hoffman D. 1991. Essential fatty acids requirements for normal eye and brain development. *Seminars in Perinatology* 15(6): 449-455.
- UNA (Unión Nacional de Avicultores). 2013. La afección de la Influenza Aviar H7N3 en las exportaciones avícolas <http://una.org.mx/2013/panorama.html>. Consultada el 07 de julio de 2013.
- Valenzuela B., A. y S. Nieto K. 2003. Ácidos grasos omega-6 y omega-3 en la nutrición perinatal: su importancia en el desarrollo del sistema nervioso y visual. *Revista Chilena de Pediatría* 74(2): 149-157.
- Valenzuela, R., G. Tapia O., M. González E. y A. Valenzuela B. 2011. Ácidos grasos omega-3 (EPA y DHA) y su aplicación en diversas situaciones clínicas. *Revista Chilena de Nutrición* 38(3): 356-367.
- Villalpando, S., I. Ramirez S., D. Bernal M. y V. De la Cruz G. 2007. *Grasas, Dieta y Salud*. Instituto Nacional de Salud. Primera edición. pp: 131.
- Woods, V. B., E. G. A. Forbes, D. L. Easson and A. M. Fearon. 2005. Dietary sources of unsaturated fatty acids for animals and their subsequent availability in milk, meat and eggs. *Agri-Food and Biosciences Institute*. 94 p.
- Zelenka, J., A. Jorossova and D. Schneiderová. 2008. Influence of n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids on sensory characteristics of chicken meat. *Czech Journal Animal Science* 53: 299-305.
- Zuidhof, M. J., M. Betti, D. R. Korver, F. I. L. Hernández, B. L. Schneider, V. L. Carney and R. A. Renema. 2009. Omega-3 enriched broiler meat: 1. Optimization of a production system. *Poultry Science* 88: 1108-1120.

3. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE POLLOS EN RESPUESTA A NIVELES DIETÉTICOS DE ACEITE DE LINAZA

3.1 Resumen

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el comportamiento productivo y calcular el nivel óptimo biológico (NOB) de inclusión de aceite de linaza en sustitución del aceite de soya en la dieta para optimizar el comportamiento productivo de pollos de engorda. Se utilizaron 300 pollos machos de la línea Ross 308 de 1 a 49 días de edad, distribuidos en un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en la sustitución de 0, 1, 2, 3 y 4% de aceite de soya por aceite de linaza en la dieta. La alimentación se dividió en tres etapas: iniciación (1-11 días), crecimiento (12-28 días) y finalización (29-49 días). Las variables analizadas fueron: consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CA) y peso vivo (PV), así mismo se determinó el NOB para GP, PV y CA. En la etapa de iniciación la combinación de aceites afectó de manera negativa ($p \leq 0.05$) C, GP, CA, PV. Sin embargo, al adicionar 4% de aceite de linaza dichas variables no se afectaron ($p > 0.05$). En la etapa de crecimiento, la inclusión de aceite de linaza a partir de 2% incrementó ($p \leq 0.05$) la GP en promedio 11.6% y la CA en 12.5%; mientras que el PV se mejoró ($p \leq 0.05$) en promedio 8.7% con niveles de 3 y 4%; durante esta etapa el NOB para GP y PV es 4% mientras que para CA es 3.2%. Durante la etapa de finalización, la inclusión de aceite de linaza no afectó ($p > 0.05$) la GP, en tanto que la CA únicamente aumentó con un nivel de 3%. El NOB de aceite de linaza que maximiza PV es de 4%, mientras que el que minimiza CA es de 0%.

Palabras clave: pollos, comportamiento productivo, aceite de linaza

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Ohel Figueroa García
Director de Tesis: Ph. D. Mariano J. González Alcorta

PRODUCTIVE PERFORMANCE OF CHICKEN IN RESPONSE TO DIETARY LEVELS OF LINSEED OIL

3.2 Abstract

The aim of this research was to evaluate the productive performance and determine the optimal biological level (OBL) inclusion of linseed oil instead of soybean oil in the diet to maximize the productive performance of chickens. Three hundred male broilers (Ross 308 line) from 1 to 49 days old, were distributed in a completely randomized design for five treatments with three replicates. Diets were divided into three phases: starter (1-11 days), growth (12-28 days) and finisher (29-49 days). The analyzed variables were: food intake (FI), gained weight (GW), feed efficiency (FE) and body weight (BW) and the OBL for GW, BW and FE was also determined. In the chickens' starter phase, the combination of oils affected negatively the FI, GW, FE and BW ($p \leq 0.05$). However, the inclusion of 4% linseed oil ($p > 0.05$) did not affect growth performance. In the growing phase, the inclusion of 2% or more linseed oil increased ($p \leq 0.05$) GW by 11.6% and FE by 12.5%, while the BW improved ($p \leq 0.05$) on average 8.7% at 3% and 4% levels. In this phase, the OBL for GW and BW was 4% while FC was 3.2%. At the finisher phase, the addition of linseed oil didn't affect ($p > 0.05$) WG, while FE only increased at 3% level. The NOB linseed oil that maximizes BW was 4%, while to minimizing FC was 0%.

Keys words: broilers, performance, linseed oil

Master of Science Thesis, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Ohel Figueroa García
Advisor: Ph. D. Mariano J. González Alcorta

3.3 Introducción

Los aceites se han adicionado en dietas para pollos de engorda para incrementar la concentración energética de la dieta, además de ofrecer otros beneficios como mejorar la absorción de las vitaminas liposolubles, disminuir la cantidad de polvo, incrementar la palatabilidad de la dieta, aumentar la eficiencia de utilización de la energía y aumentar la absorción de algunos nutrimentos al reducir la tasa de pasaje del alimento por el tracto digestivo (Baiao y Lara, 2005).

Por otro lado, la ingesta de alimentos enriquecidos con ácidos grasos poliinsaturados omega-3 parece ser una opción que puede ser eficaz en la reducción de factores de riesgo de enfermedades en humanos, sustituyendo a los suplementos sin originar cambios en los hábitos alimenticios del consumidor. La demanda de éste tipo de productos funcionales ha puesto en evidencia el uso de aceites ricos omega-3 en la avicultura con el fin de transferir dicho perfil de ácidos grasos a la carne de pollo (Kartikasari *et al.*, 2012).

Los aceites vegetales, entre ellos el aceite de linaza y el de soya, son ampliamente utilizados en nutrición animal debido a su excelente calidad. Sin embargo, debido a la importancia que actualmente tienen los productos funcionales en la salud humana, el aceite de linaza retoma mayor importancia debido principalmente a que es el único aceite vegetal con una cantidad de ácidos grasos omega-3 superior a 57%, lo que da la posibilidad de utilizarlo eficazmente con el fin de modificar el perfil lipídico de la carne de algunas especies (Woods y Fearon, 2009).

Así mismo, los ácidos grasos que se encuentran en los aceites pueden tener un efecto directo sobre el comportamiento productivo de las aves, debido a que el valor nutritivo de los aceites depende de la cantidad de micelas que puedan formar para ser absorbidas en el intestino delgado. La concentración de micelas en el lumen intestinal depende de varios factores entre los cuales se puede

destacar el grado de insaturación de los ácidos grasos y la longitud de su cadena (Itzá *et al.*, 2008).

Los ácidos grasos insaturados son más polares que los saturados, por lo cual se facilita su incorporación a las micelas, cuanto mayor es la insaturación de los ácidos grasos del aceite, mayor es su potencial para formar las micelas y por ende se mejora su digestibilidad. Además, la formación de estas micelas favorecen la incorporación y la digestibilidad de otros nutrimentos en especial vitaminas liposolubles y pigmentos (Stanačev *et al.*, 2013).

Se ha evaluado la sustitución del aceite de soya por aceite de linaza en la dieta de pollos de engorda, sin embargo no existe concordancia entre los resultados, algunos autores reportan disminución en el comportamiento productivo (Tani *et al.*, 2010), mientras que algunos otros no encuentran diferencias significativas ante la sustitución (Almeida *et al.*, 2009; Stanačev *et al.*, 2013). Por otro lado, no se tienen identificados los niveles de inclusión de aceite de linaza que puedan optimizar el comportamiento productivo de los animales.

Por lo anterior, en la presente investigación se plantea que la adición de aceite de linaza, como fuente de ácidos grasos omega-3, en sustitución del aceite de soya en la dieta de pollos de engorda, mejora el comportamiento productivo de las aves debido al perfil de ácidos grasos que presenta el aceite de linaza. Dichos ácidos grasos tiene una mejor absorción y al mismo tiempo mejoran la absorción de otros nutrimentos como aminoácidos, vitaminas y minerales.

El objetivo de la investigación fue evaluar el comportamiento productivo y calcular el nivel óptimo biológico de inclusión de aceite de linaza en sustitución al aceite de soya en la dieta que optimiza el comportamiento productivo de las aves.

3.4 Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en una granja comercial ubicada en Texcoco, México, a una altura de 2250 m. Para realizar dicho experimento, el cual tuvo una duración de 49 días, se utilizaron 300 pollos machos de la línea Ross 308 de un día de edad con un peso promedio de 45.2 g. Los animales fueron distribuidos en cinco tratamientos con tres repeticiones cada uno. Las unidades experimentales se conformaron por 20 pollos distribuidos al azar en corrales de 2 m².

Los tratamientos consistieron en la sustitución gradual de aceite de soya por aceite de linaza en la dieta de las aves. Las dietas basales para cada etapa, contenían un nivel constante de 4% de aceite de soya.

Cuadro 6. Niveles de aceite de soya y aceite de linaza en los tratamientos

Tratamiento	Aceite de soya, %	Aceite de linaza, %
1	4	0
2	3	1
3	2	2
4	1	3
5	0	4

Alimentación

La alimentación de las aves se dividió en tres etapas; iniciación (1–11 d), crecimiento (12–28 d) y finalización (29–49 d), la dieta para cada etapa (Cuadro 7) se elaboró en base a los requerimientos nutrimentales de la línea Ross 308 (Aviagen, 2007).

El alimento se proporcionó a libre acceso hasta la cuarta semana, después de este período los animales se sometieron a una restricción alimenticia, para evitar el síndrome ascítico de las aves, característico en explotaciones ubicadas

a alturas mayores de los 1000 m (Wideman, 2013). La restricción se efectuó durante la quinta, sexta y séptima semana con un acceso al alimento de 8, 7 y 6 h respectivamente. El agua se ofreció a libre acceso durante las siete semanas del ensayo.

Cuadro 7. Dietas base y composición nutrimental calculada para las fases de iniciación, crecimiento y finalización

Ingredientes	Iniciación	Crecimiento	Finalización
Sorgo, grano	52.5	56.74	62.56
Pasta de soya	36.3	31.06	26.00
Gluten de maíz	2.29	3.86	3.38
Aceite de soya	4.00	4.00	4.00
Aceite de linaza	0.00	0.00	0.00
Carbonato de calcio	0.78	0.72	0.63
Ortofosfato de calcio	2.63	2.31	2.13
Treonina	0.15	0.09	0.08
Metionina	0.39	0.21	0.19
Lisina	0.30	0.24	0.24
Premezcla de vitaminas y minerales ^z	0.30	0.30	0.30
Sal común	0.35	0.35	0.35
Análisis calculado			
EM (Mcal kg ⁻¹)	3025	3100	3150
PC (%)	22	21	19
Lisina (%)	1.27	1.10	0.97
Metionina (%)	0.67	0.50	0.45
Metionina + Cist. (%)	1.07	0.95	0.86
Treonina (%)	0.83	0.73	0.65
Calcio (%)	1.05	0.93	0.85
Fósforo disponible (%)	0.50	0.45	0.42

^z Premezcla de vitaminas y minerales (aporte por kg de dieta): Vit. A, 9999 UI; Vit. D₃, 2500.5 UI; Vit. E, 20 mg; Vit. K₃, 6 mg; Vit. B₁, 2 mg; Vit. B₂, 6 mg; Vit. B₆, 2 mg; Vit. B₁₂, 0.02 mg; Nicotinamida, 65 mg; Ácido pantoténico, 12 mg; Ácido fólico, 1 mg; Biotina, 0.1 mg; Colina, 420 mg; Cu, 6 mg; Fe, 60 mg; Mn, 65 mg; I, 0.2 mg; Zn, 60 mg; y Se, 0.15 mg.

Variables del comportamiento productivo

Para evaluar el comportamiento productivo de las aves, se tomaron como variables de respuesta los parámetros productivos de consumo de alimento (C), peso vivo (PV), ganancia de peso (GP) y la conversión alimenticia (CA). Dichos parámetros fueron estimados por etapa productiva.

Análisis estadístico

El análisis estadístico del comportamiento productivo de los animales se realizó a través de un diseño completamente al azar, el modelo estadístico fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y= valor de la variable de respuesta; μ = Media general; T_i = efecto del i-ésimo tratamiento y E_{ij} = error experimental. El análisis estadístico se realizó con el procedimiento GLM del programa Statistical Analysis System (SAS, 2012). La comparación de medias se efectuó con la prueba de Tukey.

Niveles óptimos biológicos

Así mismo, se realizaron contrastes ortogonales para detectar tendencias en algunas de las variables productivas, en respuesta a los niveles de aceite de linaza en la dieta. Las tendencias lineales, cuadráticas y/o cúbicas fueron comparadas con las tendencias del mismo tipo de los modelos de regresión, para comprobar el tipo de tendencia de la respuesta de las aves, por dos métodos diferentes.

Por otro lado, se calcularon los niveles óptimos biológicos (NOB) de inclusión de aceite de linaza en sustitución del aceite de soya en la dieta que maximizara las variables GP y PV, y que minimizara la CA. Para calcular los NOB se estimaron curvas de respuesta a través de modelos de regresión. Los coeficientes de los modelos de regresión estimados incluyeron efectos lineales, cuadráticos y cúbicos significativos con la prueba de t , partiendo de los siguientes modelos de regresión:

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_i + E_{ij}$$

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + E_{ij}$$

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \beta_3 X_i^3 + E_{ij}$$

Donde, Y_{ij} es la variable respuesta, β_0 a β_3 son los parámetros estimados donde β_0 es el coeficiente de regresión del intercepto, β_1 es el coeficiente de regresión del efecto lineal, β_2 es el coeficiente de regresión del efecto cuadrático y β_3 es el coeficiente de regresión del efecto cúbico, X_i es el nivel de aceite de linaza en la dieta y E_{ij} es el error experimental.

El nivel óptimo biológico (NOB) de las variables; ganancia de peso, conversión alimenticia y el peso vivo por etapa, se calculó mediante el siguiente modelo del tipo econométrico.

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

Donde, Y es el parámetro, $f(w)$ es la curva respuesta del modelo de regresión en función del nivel de aceite de linaza (w), A es el aporte nutrimental de los ingredientes, x son los ingredientes, B son los requisitos nutrimentales y $x \geq 0$ representa la condición de no negatividad. Para realizar el cálculo de los NOB de las variables se utilizó el optimizador del programa Solver de Excel (2007).

3.5 Resultados y discusión

Etapas de iniciación: 1-11 días

Los resultados del análisis de varianza y la comparación de medias del comportamiento productivo en etapa de iniciación se muestran en el Cuadro 8.

La adición de aceite de linaza a la dieta en niveles de 2 y 3% disminuyó ($p \leq 0.05$) el C en 6.1 y 7.7%. De igual forma, en la variable CA se registraron incrementos de 4.8 y 8.6% con niveles de 1 y 2% de aceite de linaza en la dieta. La disminución del C y el incremento en la CA pueden estar vinculados a las diferencias en las características organolépticas entre el aceite de linaza y el aceite de soya (Almeida *et al.*, 2009).

La disminución en el C con niveles de inclusión de 1, 2 y 3% de aceite de linaza en la dieta, se reflejó en la reducción de la GP en proporciones de 8.4, 13.5 y 8.6%, respectivamente, en consecuencia la variable PV también se redujo en

7.0, 11.5 y 7.4%, respectivamente. Resultados similares obtuvieron Tani *et al.*, (2010) quienes al sustituir 6.5% de aceite de soya por aceite de linaza observaron una reducción en las variables; consumo de alimento (18.3%) ganancia de peso (18.7%) y peso vivo (17.3%). Dichos resultados se atribuyen principalmente a las características organolépticas que la combinación de aceites le confieren al alimento (Almeida *et al.*, 2009; Tani *et al.*, 2010).

Cuadro 8. Medias^z para consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CA) y peso vivo (PV) en etapa de inicio (1-11 días).

Tratamiento	Aceite de soya, %	Aceite de linaza, %	C, g	GP, g	CA	PV, g
1	4	0	275 ^a	219 ^a	1.25 ^{cd}	265 ^a
2	3	1	264 ^{ab}	201 ^b	1.31 ^{ab}	247 ^b
3	2	2	258 ^b	190 ^c	1.35 ^a	235 ^c
4	1	3	253 ^b	201 ^b	1.26 ^{bc}	246 ^b
5	0	4	264 ^{ab}	220 ^a	1.19 ^d	266 ^a
EEM			2.522	1.733	0.011	1.925
Contrastes						
Lineal			**	NS	**	NS
Cuadrático			***	***	***	***
Cúbico			NS	NS	NS	NS

^z Medias sin una letra en común, dentro de la misma columna, son diferentes ($p \leq 0.05$)

EEM: Error Estándar de la Media. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, NS: no significativo ($p > 0.05$)

Es importante mencionar que sólo el nivel de inclusión de 4% de aceite de linaza en la dieta no afectó de manera negativa ($p > 0.05$) la GP y el PV de las aves, lo anterior en comparación al tratamiento testigo. Resultados similares fueron publicados por Almeida *et al.*, (2009), quienes no encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en el comportamiento productivo de pollos al utilizar 6.5% de aceite de soya o de linaza en la dieta de pollos de engorda. Asimismo, Stanačev *et al.* (2013) no encontró diferencias significativas ($p > 0.05$) en el comportamiento productivo de las aves al sustituir 4 y 8% de aceite de soya por aceite de linaza en la dieta.

Los contrastes ortogonales mostraron tendencias cuadráticas para las variables GP y PV y tendencias lineales y cuadráticas para CA. Lo anterior coincide con los resultados del análisis de regresión (Cuadro 11, Cuadro 12 y Cuadro 13 del Apéndice 1), en donde el modelo lineal y el cuadrático detectaron efectos significativos en la prueba de t en las tendencias lineales y cuadráticas. Se escogió el modelo de regresión con los términos significativos en la prueba de t y con mayor coeficiente de determinación (R^2).

En las Figuras 3, 4 y 5 se muestran las ecuaciones de los modelos de regresión que mejor predijeron la GP, el PV y la CA. Las soluciones de los modelos econométricos para cada una de las variables de respuesta indican que el NOB para GP, PV y CA es de 4% de inclusión de aceite de linaza en la dieta.

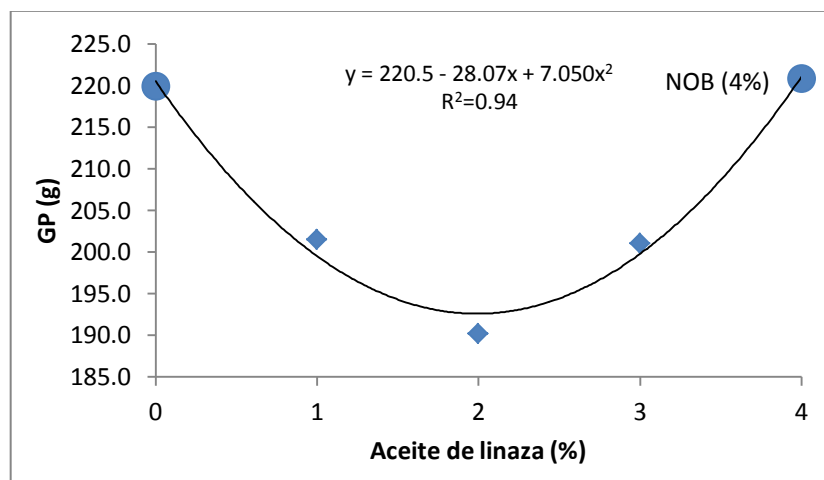


Figura 3. Nivel óptimo biológico para maximizar GP (g) en etapa de iniciación.

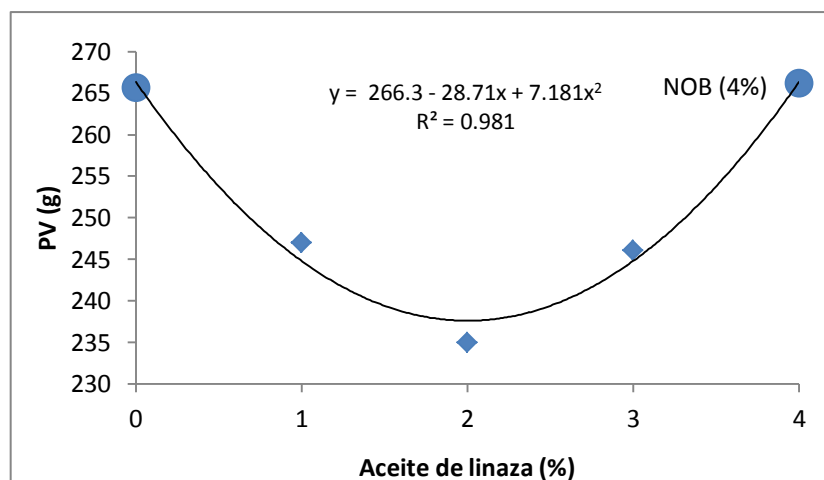


Figura 4. Nivel óptimo biológico para maximizar PV (g) en etapa de iniciación

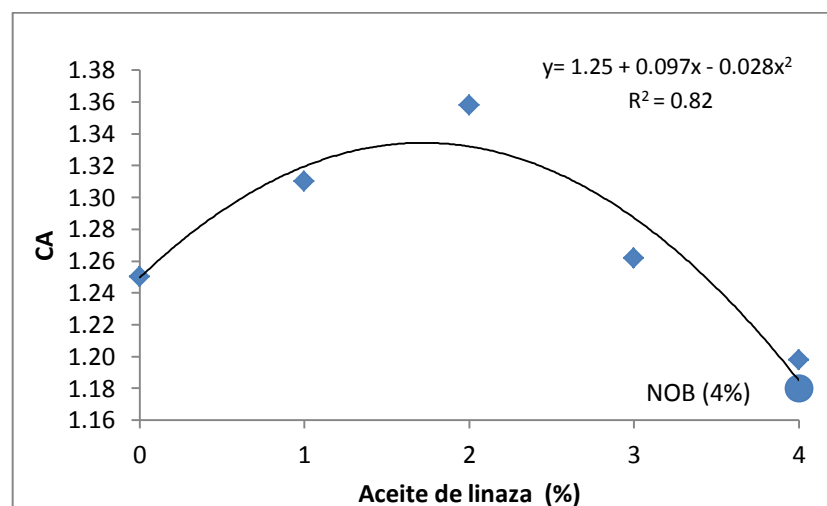


Figura 5. Nivel óptimo biológico para minimizar CA en etapa de iniciación

Etapas de crecimiento: 12-28 días

Los resultados de comportamiento productivo de las aves en la etapa de crecimiento, se muestran en el Cuadro 9.

En la variable C, sólo se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) al adicionar 2% de aceite de linaza en la dieta, con lo cual se disminuyó el C en 5.2% en comparación al tratamiento testigo.

En lo referente a las variables GP y CA se observó un incremento gradual a partir de la inclusión de 2% de aceite de linaza en la dieta, la GP se incrementó en promedio 11.6%, en tanto la CA se mejoró en promedio 12.5%, lo anterior en comparación al tratamiento testigo. En cuanto al PV sólo se incrementó ($p \leq 0.05$) con niveles de inclusión a partir de 3%, en promedio ésta variable se mejoró en 8.7%, dichos resultados están relacionados con la mayor GP que se tuvo con éstos mismos niveles.

La mejora en GP, CA y PV de los animales, puede ser asociado a que los ácidos grasos insaturados de cadena larga del aceite de linaza se integran con mayor facilidad en las micelas que se forman en el intestino y esto facilita su absorción en conjunto con pigmentos y vitaminas liposolubles presentes en la dieta (Tancharoenrat *et al.*, 2013). De igual forma, los ácidos grasos insaturados y los fosfolípidos en combinación con ácidos grasos saturados potencian el proceso de absorción de los lípidos y en consecuencia aumentan el valor energético de las mezclas de grasas y/o aceites (Wiseman y Lessire, 1987).

Resultados diferentes han sido publicados por Stanačev *et al.*, (2013) quienes no encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) al sustituir 4% aceite de soya por aceite de linaza en la dieta, pero al incrementar el nivel de inclusión hasta 8%, el comportamiento productivo se afectó al incrementarse la conversión alimenticia en 4.3%.

Asimismo, es importante considerar que los animales jóvenes son menos eficientes en la digestión de las grasas en comparación con los animales adultos, debido a la menor secreción de sales biliares y jugo pancreático. Por otro lado, los aceites mientras mayor cantidad de ácidos grasos saturados tengan mayor cantidad de sales biliares son necesarias para su emulsión y para la formación de micelas, resultando en una reducción en la absorción, como es el caso del aceite de soya en comparación con el aceite de linaza (Itzá *et al.*, 2008; Tancharoenrat *et al.*, 2013).

Cuadro 9. Medias^z para consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CA) y peso vivo (PV) en etapa de crecimiento (12-28 días)

Tratamiento	Aceite de soya, %	Aceite de linaza, %	C, g	GP, g	CA	PV, g
1	4	0	1250 ^{ab}	692 ^c	1.80 ^a	958 ^{cd}
2	3	1	1207 ^{cb}	690 ^c	1.75 ^a	937 ^d
3	2	2	1185 ^c	747 ^b	1.58 ^b	982 ^c
4	1	3	1203 ^{cb}	767 ^b	1.56 ^b	1013 ^b
5	0	4	1277 ^a	803 ^a	1.58 ^b	1070 ^a
EEM ^w			10.93	5.77	0.014	6.68
Contraste						
Lineal			NS	***	***	***
Cuadrático			***	**	**	***
Cúbico			**	NS	**	NS

^zMedias sin una letra en común, dentro de la misma columna, son diferentes ($p \leq 0.05$)

^wEEM: Error Estándar de la Media

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, NS: no significativo ($p > 0.05$)

Por otro lado, los contrastes ortogonales mostraron tendencias lineales y cuadráticas para las variables GP y PV y tendencias lineales, cuadráticas y cúbicas para CA. Lo anterior coincide con los resultados del análisis de regresión (Cuadro 14, Cuadro 15 y Cuadro 16 del Apéndice 1), en donde dichos modelos detectaron efectos significativos en la prueba de t en las tendencias lineales, cuadráticas y cúbicas.

En las Figuras 6, 7 y 8 se muestran las ecuaciones de los modelos de regresión que mejor predijeron la GP, el PV y la CA en la etapa de crecimiento. En el caso de la GP y el PV, el NOB de inclusión de aceite de linaza en la dieta para ambas variables es 4%, dicho nivel mejora en 16% la GP y en 11.6% el PV en comparación al testigo. El NOB que minimiza la CA es 3.2% de aceite de linaza en dieta.

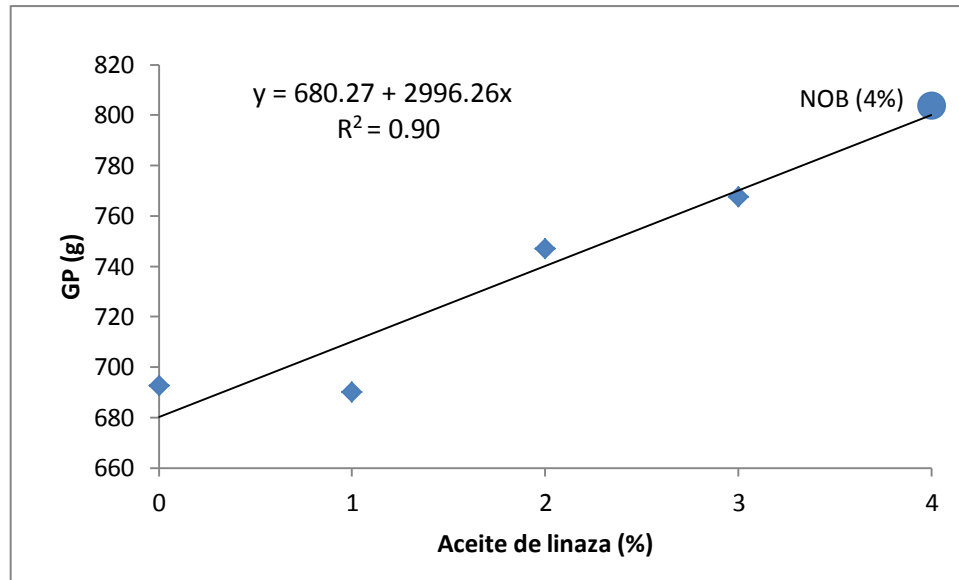


Figura 6. Nivel óptimo biológico para maximizar GP (g) en etapa de crecimiento.

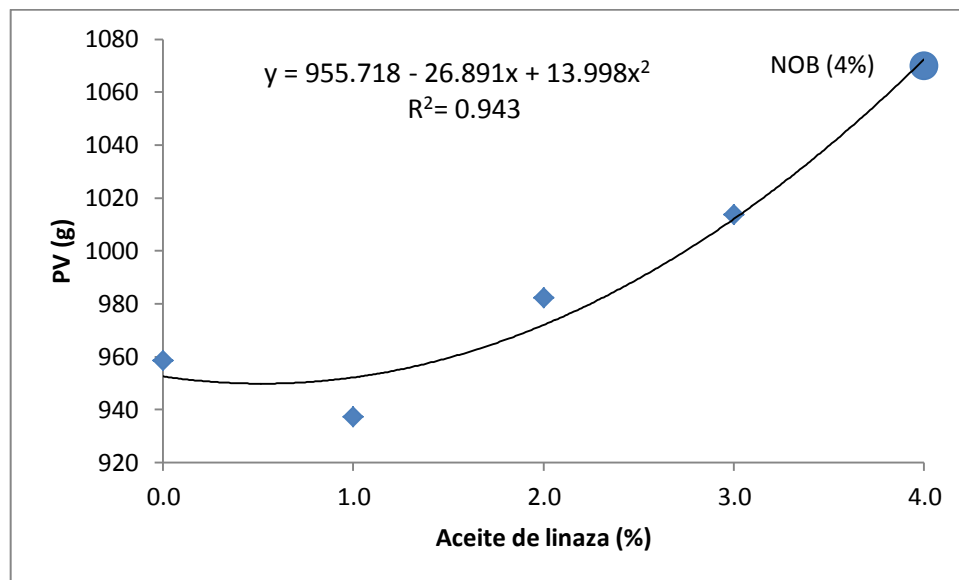


Figura 7. Nivel óptimo biológico para maximizar PV (g) en etapa de crecimiento.

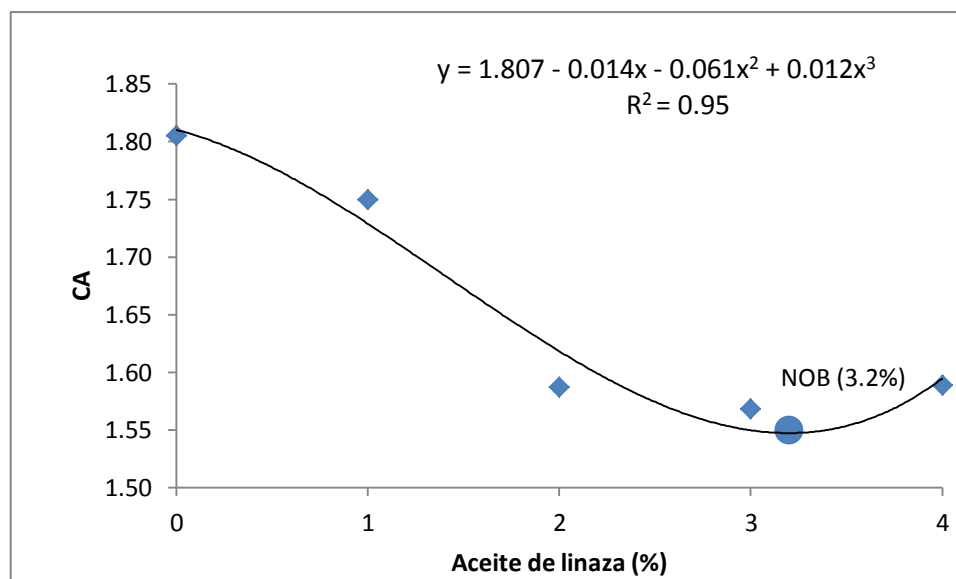


Figura 8. Nivel óptimo biológico para minimizar CA en etapa de crecimiento

Etapas de finalización: 29-49 días

La inclusión de aceite de linaza en sustitución del aceite de soja, incrementó ($p \leq 0.05$) el consumo de alimento en todos los tratamientos en un intervalo de 1.7 a 5.9% (Cuadro 10). El mayor consumo de alimento de las aves, puede estar asociado al ajuste que los animales hacen en su consumo de alimento para balancear sus necesidades energéticas y de otros nutrimentos (NRC, 1994). Las aves consumieron más alimento para compensar el bajo contenido de energía metabolizable del aceite de linaza, 8.1 Mcal kg^{-1} , en comparación al aceite de soja, 8.8 Mcal kg^{-1} (Santiago-Rostagno *et al.*, 2011).

En lo que se refiere a la GP, no se observaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en ninguno de los tratamientos, en comparación al tratamiento testigo. En cuanto a la variable CA sólo se observó una mejoría de 4.4% cuando se adiciona el 2% de aceite de linaza en la dieta.

La variable PV se aumentó de manera gradual al incrementar el nivel de aceite de linaza en la dieta, la mejor respuesta productiva se obtuvo con 4% de aceite de linaza con un incremento de 5.6%. La tendencia en PV está asociado a que partir de la quinta semana los animales tienen al menos el 50% de proteínas

enlazantes de ácidos grasos, con las cuales se facilita la digestión de los ácidos grasos de cadena larga del aceite de linaza, aprovechándose de mejor manera el perfil de ácidos grasos del aceite de linaza (Osorio y Flórez, 2011).

No obstante, los resultados obtenidos en el PV difieren de lo reportado por Kavouridou *et al.*, (2008) quienes no encontraron diferencias significativas ($p>0.05$) en el peso de aves (1883 y 1887 g) al sustituir 10% de aceite de soya por aceite de linaza en la dieta. Así mismo, los resultados no concuerdan con lo publicado por Lee *et al.*, (1991) quienes evaluaron la adición de 4% de aceite de linaza en sustitución del aceite de soya en la dieta, en los resultados no se observaron diferencias significativas ($p>0.05$) en la ganancia de peso (1724 vs 1718 g).

Cuadro 10. Medias^z para consumo de alimento (C), ganancia de peso (GP), conversión alimenticia (CA) y peso vivo (PV) en etapa de finalización (29-49 días).

Tratamiento	Aceite de soya, %	Aceite de linaza, %	C, g	GP, g	CA	PV, g
1	4	0	3110 ^c	1518 ^{ab}	2.04 ^b	2477 ^c
2	3	1	3164 ^b	1520 ^{ab}	2.08 ^{ab}	2458 ^c
3	2	2	3303 ^a	1544 ^a	2.13 ^a	2526 ^b
4	1	3	3162 ^{bc}	1489 ^b	2.12 ^{ab}	2503 ^{cb}
5	0	4	3294 ^a	1545 ^a	2.13 ^{ab}	2615 ^a
EEM			11.158	11.623	0.018	10.048
Contraste						
Lineal			***	NS	**	***
Cuadrático			***	*	***	***
Cúbico			***	**	NS	***

^z Medias sin una letra en común, dentro de la misma columna, son diferentes ($P\leq 0.05$)

EEM: Error Estándar de la Media

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$, NS: no significativo ($p>0.05$)

La estimación del NOB sólo se realizó para las variables PV y CA, en el caso de la GP no se realizó debido a que no se encontraron diferencias significativas de los tratamientos respecto al testigo.

De manera análoga a las etapas anteriores, el uso de contrastes ortogonales y modelos de regresión (Cuadro 17 y Cuadro 18 del Apéndice 1), permitieron detectar tendencias cuadráticas para las variables PV y CA.

Por otro lado, el NOB de aceite de linaza que permite obtener el máximo PV en los animales es de 4% (Figura 9), pero si lo que se busca es reducir la conversión alimenticia entonces el NOB para obtenerlo es 0% aceite de linaza en la dieta (Figura 10).

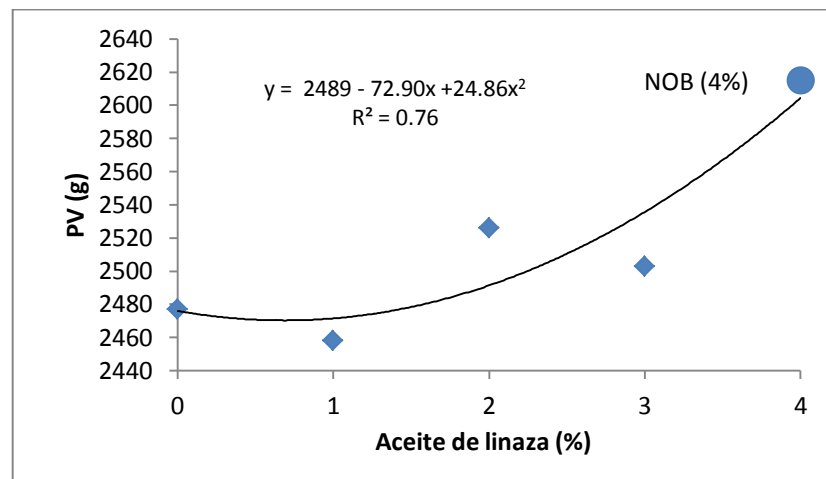


Figura 9. Nivel óptimo biológico para maximizar el PV (g) en etapa de finalización

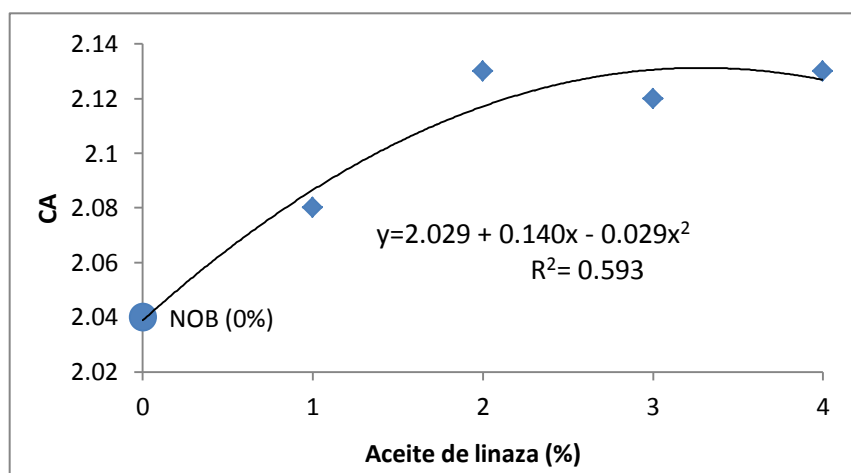


Figura 10. Nivel óptimo biológico para minimizarla la CA en etapa de finalización

3.6 Conclusión

La inclusión de 4% de aceite de linaza en sustitución del aceite de soya en la dieta de las aves mejora el comportamiento productivo de las aves en las etapas de iniciación y crecimiento, sin embargo, en la etapa de finalización la inclusión de 4% de aceite de linaza en la dieta únicamente mejora el PV de los pollos. Por lo tanto, si lo que se quiere es maximizar la producción a través del PV el NOB para lograr este objetivo es 4%.

3.7 Literatura citada

- Almeida S, A. P., M. F. Pinto, L. B. Poloni, E. H. G. Ponsano e M. G. Neto. 2009. Efeito do consumo de óleo de linhaça e de vitamina E no desempenho e nas características de carcaças de frangos de corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 61(3): 698-705.
- Aviagen, 2007. Ross x Ross 308. North American Broiler Performance Objectives. Aviagen, Inc. Huntsville, Alabama, USA. 8 p.
- Baiao N., C. and J. C. Lara L. 2005. Oil and fat in broiler nutrition. *Brazilian Journal of Poultry Science* 7(3): 129-14.
- Itzá O., M. F., C. López C., E. Ávila G., S Gómez R., J. Arce M. y P. A. Velásquez M. 2008. Efecto de la fuente energética y el energía sobre la longitud de vellosidades intestinales, la respuesta inmune y el rendimiento productivo en pollos de engorda. *Veterinaria México* 39(4):357-376.
- Kartikasari, L. R., R. J. Hughes, M. S. Geier, M. Makrides, and R. A. Gibson. 2012. Dietary alpha-linolenic acid enhances omega-3 long chain polyunsaturated fatty acid levels in chicken tissues. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids* 87: 103-109.
- Kavouridou, K., A. C. Barroeta and C. Villaverde. 2008. Fatty acid, protein and energy gain of broilers fed different dietary vegetable oils. *Spanish Journal of Agricultural Research* 6(2): 210-218.
- Lee, K., J. M. Olomu and J. S. Sim. 1991. Live performance, carcass yield, protein and energy retention of broiler chickens fed canola and flax full-fat seeds and the restored mixtures of meal and oil. *Canadian Journal Animal Science* 71: 897-903.
- NRC (National Research Council) 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. 8th Revised Edition. National Academy Press. Washington, D. C.
- Osorio H. J. y J. D. Flórez. 2011. Diferencias bioquímicas y fisiológicas en el metabolismo de lipoproteínas de aves comerciales. *Biosalud* 10: 88-98.
- Santiago-Rostagno, H., L. F. Teixeira-Albino, J. Lopes-Donzele, P. C. Gomes, R. F. De Oliveira, D. C. Lopes, A. Soares-Ferreira, S. L. De Toledo-Barreto, y R. F. Euclides. 2011. *Tablas Brasileñas para Aves y Cerdo: Composición de Alimentos y Requerimientos Nutricionales*. 3a. ed. Universidad Federal de Viçosa-Departamento de Zootecnia. Viçosa, MG. 259 p.
- SAS (Statistical Analysis System). 2012. *SAS/STAT User's guide* (Release 9.2) Cary, NC, USA. SAS Institute Inc.

- Stanačev V., Z., D. Milic, N. Milosevic, V. S. Stanacév, Z. Pavlovski, Z. Skrbic and N. Puvana. 2013. Different source and levels of vegetable oils in broiler chicken nutrition. *Biotechnology in Animal Husbandry* 29(2): 321-329.
- Tancharoenrat, P., V. Ravindran, F. Zaefarian, and G. Ravindran. 2013. Influence of age on the apparent metabolisable energy and total tract apparent fat digestibility of different fat sources for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology* 186: 186-192.
- Tani M., K. T., M. F. Pinto, E. H. G. Ponsano e M. G. Neto. 2010. Desempenho produtivo e qualidade da carne de frangos alimentados com ração contendo óleo de linhaça. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 45 (4): 401-407.
- Wideman, R. F., D. D. Rhoads, G. F. Erf, and N. B. Anthony. 2013. Pulmonary arterial hypertension (ascites syndrome) in broilers: a review. *Poultry Science* 92: 64-83.
- Wiseman, J. and M. Lessire. 1987. Interactions between fats of differing chemical content: apparent metabolizable energy values and apparent fat availability. *British Poultry Science* 28: 663-676.
- Woods, V. B., and A. M. Fearon. 2009. Dietary sources of unsaturated fatty acids for animals and their transfer into meat, milk and eggs: A review. *Livestock Science* 126: 1-20.

Apéndice 1

Cuadro 11. Estimación del peso vivo (PV) en etapa de iniciación (1 a 11 d), a partir del nivel de inclusión de aceite de linaza (Linaza) en la dieta.

PARÁMETROS DE REGRESIÓN	PV	EE	PV	EE	PV	EE
Intercepto	251.96	5.97	266.32 ^{***}	1.94	266.08 ^{***}	2.12
Efecto lineal de Linaza	0.01	2.43	-28.71 ^{***}	2.29	-26.96 ^{***}	5.39
Efecto cuadrático de Linaza			7.18 ^{***}	0.55	5.96	3.42
Efecto cúbico de Linaza					0.20	0.56
R ²	0.0		0.98		0.93	

PV: peso vivo estimado, EE: error estándar. R² = Coeficiente De Determinación. Significancia: * = (p ≤ 0.05), ** = (p ≤ 0.01), *** = (p ≤ 0.001)

Cuadro 12. Estimación de la ganancia de peso (GP) en etapa de iniciación (1 a 11 d), a partir del nivel de inclusión de aceite de linaza (Linaza) en la dieta.

PARÁMETROS DE REGRESIÓN	GP	EE	GP	EE	GP	EE
Intercepto	206.46	5.83	220.55 ^{***}	1.76	220.38 ^{***}	1.93
Efecto lineal de Linaza	0.13	2.38	-28.07 ^{***}	2.08	-26.81 ^{***}	4.90
Efecto cuadrático de Linaza			7.05 ^{***}	0.49	6.17	3.11
Efecto cúbico de Linaza					0.15	0.511
R ²	0.0		0.94		0.94	

GP: ganancia de peso estimada, EE: error estándar. R² = Coeficiente De Determinación. Significancia: * = (p ≤ 0.05), ** = (p ≤ 0.01), *** = (p ≤ 0.001)

Cuadro 13. Estimación de la conversión alimenticia (CA) en etapa de iniciación (1 a 11 d), a partir del nivel de inclusión de aceite de linaza (Linaza) en la dieta.

PARÁMETROS DE REGRESIÓN	CA	EE	CA	EE	CA	EE
Intercepto	1.31 ^{***}	0.03	1.25 ^{***}	0.01	1.25 ^{***}	0.01
Efecto lineal de Linaza	-0.01	0.01	0.09 ^{***}	0.01	0.12 ^{**}	0.03
Efecto cuadrático de Linaza			-0.02 ^{***}	0.04	-0.05 [*]	0.02
Efecto cúbico de Linaza					0.0	0.0
R ²	0.14		0.82		0.83	

CA: conversión alimenticia estimada, EE: error estándar. R² = Coeficiente De Determinación. Significancia: * = (p ≤ 0.05), ** = (p ≤ 0.01), *** = (p ≤ 0.001)

Cuadro 14. Estimación del peso vivo (PV) en etapa de crecimiento (12 a 28 d), a partir del nivel de inclusión de aceite de linaza (Linaza) en la dieta.

PARÁMETROS DE REGRESIÓN	PV	EE	PV	EE	PV	EE
Intercepto	927.72 ^{***}	12.56	955.71 ^{***}	7.06	958.07 ^{***}	7.45
Efecto lineal de Linaza	29.10 ^{***}	5.12	-26.89 ^{**}	8.36	-43.79 [*]	18.96
Efecto cuadrático de Linaza			13.99 ^{***}	2.00	25.78	12.03
Efecto cúbico de Linaza					-1.96	1.97
R ²	0.71		0.94		0.94	

PV: peso vivo estimado, EE: error estándar. R² = Coeficiente De Determinación. Significancia: * = (p ≤ 0.05), ** = (p ≤ 0.01), *** = (p ≤ 0.001)

Cuadro 15. Estimación de la ganancia de peso (GP) en etapa de crecimiento (12 a 28 d), a partir del nivel de inclusión de aceite de linaza (Linaza) en la dieta.

PARÁMETROS	GP	EE	GP	EE	GP	EE
DE REGRESIÓN						
Intercepto	680.27 ^{***}	6.64	686.15 ^{***}	7.85	690.50 ^{***}	7.61
Efecto lineal de Linaza	2996.26 ^{***}	271.32	1820.30	930.52	-1300.33	1936.12
Efecto cuadrático de Linaza			29399.04	22307.63	247117.38	122926
Efecto cúbico de Linaza					-3628638	2020122
R ²	0.90		0.91		0.93	

GP: ganancia de peso estimada, EE: error estándar. R² = Coeficiente De Determinación. Significancia: * = (p ≤ 0.05), ** = (p ≤ 0.01), *** = (p ≤ 0.001)

Cuadro 16. Estimación de la conversión alimenticia (CA) en etapa de crecimiento (12 a 28 d), a partir del nivel de inclusión de aceite de linaza (Linaza) en la dieta.

PARÁMETROS DE	CA	EE	CA	EE	CA	EE
REGRESIÓN						
Intercepto	1.79 ^{***}	0.01	1.82 ^{***}	0.02	1.80 ^{***}	0.01
Efecto lineal de Linaza	-0.06 ^{***}	0.00	-0.12 ^{***}	0.02	-0.01 [*]	0.03
Efecto cuadrático de Linaza			0.02 [*]	0.00	-0.06	0.02
Efecto cúbico de Linaza					0.01	0.00
R ²	0.83		0.90		0.95	

CA: conversión alimenticia estimada, EE: error estándar. R² = Coeficiente De Determinación. Significancia: * = (p ≤ 0.05), ** = (p ≤ 0.01), *** = (p ≤ 0.001)

Cuadro 17. Estimación del peso vivo (PV) en etapa de finalización (29 a 49 d), a partir del nivel de inclusión de aceite de linaza (Linaza) en la dieta.

PARÁMETROS DE REGRESIÓN	PV	EE	PV	EE	PV	EE
Intercepto	2439.69 ^{***}	24.88	2489.42 ^{***}	18.74	2473.33 ^{***}	13.95
Efecto lineal de Linaza	26.54 [*]	10.15	-72.90 ^{**}	22.20	42.41	35.49
Efecto cuadrático de Linaza			24.86 ^{***}	5.32	-55.59	22.53
Efecto cúbico de Linaza					13.40 ^{**}	3.70
R ²	0.34		0.76		0.89	

PV: peso vivo estimado, EE: error estándar. R² = Coeficiente De Determinación. Significancia: * = (p ≤ 0.05), ** = (p ≤ 0.01), *** = (p ≤ 0.001)

Cuadro 18. Estimación de la conversión alimenticia (CA) en etapa de finalización (29 a 49 d), a partir del nivel de inclusión de aceite de linaza (Linaza) en la dieta.

PARÁMETROS DE REGRESIÓN	CA	EE	CA	EE	CA	EE
Intercepto	2.08 ^{***}	0.03	2.02 ^{***}	0.02	2.03 ^{***}	0.03
Efecto lineal de Linaza	0.02	0.01	0.14 ^{**}	0.03	0.07	0.08
Efecto cuadrático de Linaza			0.02 [*]	0.01	0.01	0.05
Efecto cúbico de Linaza					-0.01	0.01
R ²	0.17		0.59		0.62	

CA: conversión alimenticia estimada, EE: error estándar. R² = Coeficiente De Determinación. Significancia: * = (p ≤ 0.05), ** = (p ≤ 0.01), *** = (p ≤ 0.001)