



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

INCLUSIÓN DE SEMILLA DE GIRASOL EN LA DIETA DE POLLOS DE ENGORDA: EFECTO EN LA CALIDAD DE LA CARNE

ANA ESTELA ARCOS HERNÁNDEZ

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

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2019

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

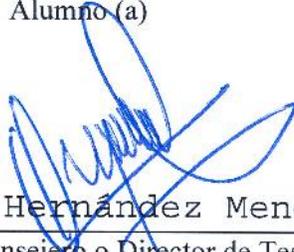
En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Ana Estela Arcos Hernández, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dr. Omar Hernández Mendo, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Inclusión de semilla de girasol en la dieta de pollos de engorda: efecto en la calidad de la carne

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 21 de Noviembre de 2018



Firma del
Alumno (a)



Dr. Omar Hernández Mendo
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **Inclusión de semilla de girasol en la dieta de pollos de engorda: efecto en la calidad de la carne** realizada por la alumna: **Ana Estela Arcos Hernández** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)



DR. OMAR HERNÁNDEZ MENDO

ASESOR (A)



DR. ARTURO PRO MARTÍNEZ

ASESOR (A)



DR. JAIME GALLEGOS SANCHEZ

ASESOR (A)



DRA. MA. CARMEN YBARRA MONCADA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, enero 2019

INCLUSIÓN DE SEMILLA DE GIRASOL EN LA DIETA DE POLLOS DE ENGORDA: EFECTO EN LA CALIDAD DE LA CARNE

Ana Estela Arcos Hernández, MC.

Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue sustituir parcialmente la pasta y aceite de soya por semilla de girasol descascarillada, en la dieta para pollos de engorda, y evaluar su efecto en las características fisicoquímicas, el contenido de ácidos grasos y la capacidad antioxidante de la carne de pechuga. Para ello, se utilizaron 280 pollos (Roos 308) de un día de edad que se distribuyeron en 28 unidades experimentales integradas por 10 pollos cada una. Se asignaron cuatro tratamientos experimentales en un diseño completamente al azar: dieta testigo (sorgo-pasta de soya) (DTPA); dieta con 5 % de semilla de girasol + aceite de soya (G5CA); dieta con 5 % de semilla de girasol sin aceite de soya (G5SA); y dieta con 10 % de girasol sin aceite de soya (G10SA). No se encontró efecto de los tratamientos en las características fisicoquímicas ($P>0.05$), pero sí en la composición de los ácidos grasos y capacidad antioxidante de la carne ($P<0.01$). Los ácidos grasos de las muestras de carne, provenientes de los tratamientos DTPA, G5CA y G10SA mostraron diferencia significativa contra el tratamiento G5SA ($P<0.01$). La capacidad antioxidante de la carne cruda y cocida se redujo a los 9 y 6 días ($P<0.05$), respectivamente, pero no hubo efecto significativo de los tratamientos ($P>0.05$). En conclusión, puede sustituirse diez por ciento la pasta de soya y completamente el aceite de soya por semilla de girasol descascarillada en la dieta de pollos de engorda porque la calidad de la carne resultante, es equivalente a la obtenida con una dieta convencional basada en sorgo-pasta de soya.

Palabras clave: semilla de girasol descascarillada, calidad de la carne, perfil de ácidos grasos, capacidad antioxidante.

**PARTIAL INCLUSION OF DEHULLED SUNFLOWER SEED IN BROILER DIETS:
EFFECT ON MEAT QUALITY**

Ana Estela Arcos Hernández, MC.

Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of substitute partially the soybean meal and oil soy by dehulled sunflower seeds, in the broilers diet, and evaluate physicochemical characteristics, fatty acids content, and antioxidant capacity of the breast meat. For it, we used 280, one-day-old broiler chicks (Roos 308), distributed into 28 experimental units of 10 chickens each. Four experimental treatments were assigned in a completely randomized design: control diet (sorghum-soybean meal) (DTPA); diet with 5% sunflower seeds and soy oil (G5CA); diet with 5% sunflower seeds without soy oil (D5SA); and diet with 10% sunflower seeds without soy oil (D10SA). There was no effect from the treatment on the physicochemical characteristics ($P>0.05$), but on the composition of fatty acids and antioxidant capacity of the meat ($P<0.01$). The fatty acids of the meat samples, from treatments DTPA, G5CA, and D10SA showed significant differences against the treatment D5SA ($P<0.01$). The antioxidant capacity of raw and cooked meat decreased at 9 and 6 days ($P<0.05$), respectively, but there was no significative effect from the treatment ($P>0.05$). In conclusion, soybean meal can be substituted by 10 percent and soy oil can be substituted completely by dehulled sunflower seeds in the diet of broilers since the resulting fatty acids in the meat are equivalent to those obtained through a conventional diet, based on sorghum-soybean meal.

Key words: dehulled sunflower seeds, meat quality, fatty acid profile, antioxidant capacity.

*Dedicada a la Gran Sierra Plegada,
a sus valles, collados, laderas, cañones y cimas.
Por nuestro grato encuentro y
por la dicha de recorrer,
sus sendas de enseñanzas.*

*A los hombres que inspiran mi vida,
mi padre Javier Arcos y mi abuelo Daniel Arcos.
A las mujeres que amo, mi madre Gloria Hernández
y mi hermana Yazmín Arcos.*

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada. Al Colegio de Postgraduados por brindarme la oportunidad de desarrollar mis estudios de maestría.

A mi consejo particular, en especial al Dr. Arturo Pro Martínez, por su sensibilidad hacia el pueblo mexicano, por su dedicación y esfuerzo para aportar conocimientos que mejoren la situación del agro mexicano. Al Dr. Omar Hernández Mendo por el acompañamiento y dirección en la etapa de investigación. Al Dr. Jaime Gallegos Sánchez por las observaciones que contribuyeron a mejorar este proyecto.

A la Dra. María Magdalena Crosby Galván y a la Ing. Elsa Margarita Crosby Galván por su colaboración durante la fase de análisis de laboratorio. A los Doctores, Arturo Hernández Montes y Gilberto Aranda Osorio, por las facilidades otorgadas para acceder a los laboratorios de la Universidad Autónoma Chapingo. A la Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada por el tiempo que dedicó para ayudarme a realizar los análisis estadísticos. Gracias al MC. Abraham Villegas de Gante, porque su pasión y entrega son ejemplo vivificante.

A mi amiga Martha Aurora Castro Sámano por sus cuidados y por ser parte esencial de mi vida desde hace catorce años. A mis apreciados amigos, Dr. Javier Suárez Espinosa, Dr. Teodoro Espinosa Solares, Dr. Lorenzo Danilo Granados Rivera y Dr. Julio Sánchez Escudero, por brindarme, todos los días, sabias palabras de aliento. A mi colega Francisco Javier Lazo Bustamante, porque en conjunto realizamos la primer etapa de investigación.

Gracias sinceras a mi querido Bernardo Marino, porque su generosidad, complicidad, honestidad y comprensión, hicieron emerger en mí, los más sublimes sentimientos de valía y esfuerzo, importantes para culminar esta etapa. Gracias mi norteño, por enseñarme a vislumbrar la libertad.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
Planteamiento del Problema	2
Objetivos.....	2
Hipótesis	3
REVISIÓN DE LITERATURA	3
La avicultura en México	3
Semilla de girasol en México.....	5
Semilla de girasol en la alimentación para pollos de engorda	6
Incremento de ácidos grasos poli insaturados en la carne de pollo	10
Metabolismo y deposición de ácidos grasos en pollos de engorda.....	11
Calidad de la carne de pollo alimentado con semilla de girasol	15
Capacidad antioxidante de la carne de pollo alimentado con semilla de girasol.....	19
Literatura citada	20
CAPITULO I. INCLUSIÓN PARCIAL DE SEMILLA DE GIRASOL DESCASCARILLADA EN DIETAS DE POLLOS DE ENGORDA: EFECTO EN LA CALIDAD DE LA CARNE. ...	27
1.1 RESUMEN	27
1.2 ABSTRACT.....	28
1.3 INTRODUCCIÓN	29
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS	30
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
1.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
1.7 LITERATURA CITADA	41
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	45

LISTA DE CUADROS

REVISIÓN DE LITERATURA

Cuadro 1. Composición química de la semilla de girasol.....	6
Cuadro 2. Perfil de aminoácidos de la semilla de girasol	7
Cuadro 3. Contenido de ácidos grasos en semillas de girasol	8
Cuadro 4. Principales metabolitos secundarios contenidos en la semilla de girasol	9
Cuadro 5. Efecto de los ingredientes de la dieta sobre el perfil de ácidos grasos de la pechuga de pollo.	13

CAPÍTULO I

Cuadro 1. Composición química de las dietas experimentales y la semilla de girasol descascarillada.	¡Error! Marcador no definido.1
Cuadro 2. Características físicas de la pechuga de pollo alimentado parcialmente con semilla de girasol descascarillada en la dieta.	¡Error! Marcador no definido.5
Cuadro 3. Composición química de la pechuga de pollo alimentado parcialmente con semilla de girasol descascarillada en la dieta.	¡Error! Marcador no definido.5
Cuadro 4. Composición de ácidos grasos de la pechuga de pollo alimentado parcialmente con semilla de girasol descascarillada en la dieta.....	¡Error! Marcador no definido.7

LISTA DE FIGURAS

REVISIÓN DE LITERATURA

Figura 1. Zonas potenciales donde se pueden desarrollar cultivos de girasol en México.	5
Figura 2. Composición de ácidos grasos de los principales aceites y grasas usados en alimentación animal (porcentaje del total de ácidos grasos).	122
Figura 3. Elongación y desaturación de ácidos grasos poliinsaturados n-3 y n-6.	143
Figura 4. Estados redox de la mioglobina en carne de pollo.	16
Figura 5. Interacción potencial entre las reacciones de oxidación de la mioglobina y de los ácidos grasos de los lípidos de las bicapas de la membrana celular.	17
Figura 6. Esquema del mecanismo y etapas de la oxidación lipídica.	19

CAPÍTULO II

Figura 1. Capacidad antioxidante en pechuga de pollo cruda, alimentado parcialmente con semilla de girasol descascarillada en la dieta.	¡Error! Marcador no definido.9
Figura 2. Capacidad antioxidante en pechuga de pollo cocida, alimentado parcialmente con semilla de girasol descascarillada en la dieta.	40

INTRODUCCIÓN GENERAL

La avicultura es un sector productivo clave que puede ayudar a garantizar la seguridad alimentaria y nutricional de la población mexicana, sobre todo para los grupos sociales más vulnerables que padecen pobreza, hambre, desnutrición y sobrepeso (FAO, 2014). Como muestra de ello, se ha observado en algunas comunidades rurales, que la crianza de pollos de engorda y gallinas de postura, aporta el único ingreso de las familias y la única fuente de alimentación saludable (FAO, 2013). La carne de pollo es la más consumida en el país, anualmente se producen 3.2 millones de toneladas y se estima que el consumo per cápita es de 32.3 kg (SIAP, 2017). Sin embargo, este panorama puede estar en riesgo porque la producción nacional de granos y semillas para la alimentación animal es insuficiente. En consecuencia, los costos de producción del sector avícola están supeditados a las importaciones de pasta de soya, provenientes de Estados Unidos, principalmente (SAGARPA, 2017). Para resolver esta problemática, a través de la investigación se busca evaluar ingredientes nacionales que puedan sustituir a la pasta de soya de las dietas de las aves, y que además, aporten compuestos bio-activos para mejorar la calidad nutricional y fisicoquímica de la carne. Ante esto, la semilla de girasol (*Helianthus annuus* L.) puede ser un ingrediente viable, porque aporta proteína de buena calidad y altas concentraciones de energía (Alagawany et al., 2015). Además, contiene compuestos fenólicos y ácidos grasos poli insaturados que pueden mejorar la calidad de la carne (Velasco y Ruiz-Méndez, 2015).

La presente investigación involucra dos capítulos. El primero incluye una revisión de literatura donde se discute el panorama de la avicultura en México, el uso de la semilla de girasol en la nutrición de pollos de engorda y su efecto en la calidad de la carne. El segundo capítulo incluye los resultados del proyecto de investigación, cuyo objetivo fue evaluar la calidad de la pechuga de pollo, cuando se reemplaza parcialmente la pasta y el aceite de soya de las dietas, por semilla de girasol descascarillada.

Planteamiento del Problema

La carne de pollo es la principal fuente de proteína saludable y económica en México. Su producción y consumo puede contribuir al mejoramiento de la alimentación y calidad de vida de las personas que viven en zonas rurales, donde se presentan los índices más altos de pobreza, hambre, desnutrición y sobrepeso. Sin embargo, la dependencia a la pasta y aceite de soya para la elaboración de alimentos balanceados es una limitante para el desarrollo de la avicultura familiar, porque su importación incrementa los costos de producción. Una alternativa de sustitución de la pasta y aceite de soya de las dietas para pollo de engorda, es la semilla de girasol (*Helianthus annuus* L.), particularmente porque es un cultivo nativo de México, que puede ayudar a incrementar la rentabilidad de las unidades productivas y además, porque contiene compuestos fenólicos y ácidos grasos que pueden mejorar la calidad de la carne.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el efecto en la calidad de la carne de pechuga al sustituir parcialmente, la pasta y aceite de soya por semilla de girasol descascarillada, de las dietas para pollo de engorda.

Objetivos particulares

1. Evaluar la respuesta en las características físico-químicas de la carne de pechuga de pollo, al incluir semilla de girasol descascarillada en las dietas.
2. Determinar el efecto de la semilla de girasol descascarillada de las dietas, en los ácidos grasos de la carne de pechuga de pollo.
3. Medir la influencia de las dietas, en la capacidad antioxidante de la carne de pechuga de pollo, cruda y cocida, almacenada durante nueve días en refrigeración (4°C).

Hipótesis

Reemplazar parcialmente la pasta y aceite de soya por semilla de girasol descascarada en las dietas para pollos de engorda mejorará la calidad de la carne de pechuga.

REVISIÓN DE LITERATURA

La avicultura en México

La agricultura tradicional y la avicultura de traspatio, que en los últimos años han estado desapareciendo, pueden conjugarse para aportar a las familias rurales, proteínas, carbohidratos y grasas de alta calidad, que paulatinamente podrían ayudar al mejoramiento de su alimentación, salud y calidad de vida, por ello muchas organizaciones y gobiernos han puesto especial interés en implementar nuevamente estas formas milenarias de producción (FAO, 2013).

La avicultura, desde sus inicios, fue una actividad que complementó a la agricultura, las aves se alimentaban de granos excedentes, cobertura vegetal y de insectos y gusanos del entorno, controlando así, algunas plagas de los cultivos y enriqueciendo al suelo con nutrientes a través de sus excretas. La avicultura de traspatio proveía carne y huevo a las familias y representaba una forma de ahorro (Pomboza-Tamaquiza et al., 2018), era un modelo ideal que aseguraba la alimentación. Sin embargo, con el crecimiento de la población y el incremento en la demanda de carne y huevo, la avicultura fue intensificándose hasta transformarse en una agroindustria demandante de grandes cantidades de cereales, semillas y subproductos oleaginosas de otras agroindustrias para la elaboración de alimento balanceado, como granos secos de destilería y pasta de soya (Pomboza-Tamaquiza et al., 2018). La avicultura intensiva también significó el uso de especies genéticamente mejoradas, con las cuales disminuyó el periodo de engorda, incrementó el rendimiento de la canal y en las gallinas, aumentó el porcentaje de postura (FAO, 2013).

En México, la avicultura de traspatio también cambió a causa de la industrialización; en las comunidades rurales, se han introducido especies de aves genéticamente mejoradas que, al

mezclarse con las aves criollas, desencadenaron problemas reproductivos por falta de cloaquez, erosión genética y disminución de las poblaciones autóctonas (Cuca-García et al., 2015). Aunado a esto, se han encontrado cambios en los hábitos alimenticios de la población, habiendo ahora preferencia por carne y huevo de especies mejoradas, afectando aún más la situación de la avicultura tradicional (Woolliams et al., 1998).

En la actualidad, prácticamente toda la agroindustria avícola mexicana continúa pagando a empresas estadounidenses el derecho al uso de material genético de aves mejoradas (Gutiérrez, 2017), toda vez que la crianza de aves depende de medicamentos, mezclas vitamínicas, colorantes, vacunas y alimentos balanceados (FAO, 2013). La dependencia a estos insumos se ha generado tanto para la agroindustria como para los campesinos, porque las aves “mejoradas” son más susceptibles a las enfermedades (Woolliams et al., 1998) y no están diseñadas para pastorear ni para consumir granos enteros (Dal Bosco et al., 2015).

Por otro lado, la insuficiente producción nacional de ingredientes para la alimentación animal, ha vuelto necesaria la importación intensiva de estos insumos, como lo demuestra el hecho de que, en el 2017, el 90 % de la pasta de soya requerida por el sector agropecuario fue importada de Estados Unidos (SAGARPA, 2017). Tal situación expone a la industria pecuaria a las fluctuaciones mercantiles que impactan los costos de producción y también, deja en evidencia la fuerte dependencia alimentaria de México con el exterior.

La pasta y el aceite de soya se han utilizado intensivamente en la formulación de alimentos balanceados para pollos de engorda porque proveen proteína y energía, pero son de los ingredientes más caros y, por ende, los responsables del incremento en los costos de producción, por lo que es imperante buscar alternativas de sustitución. Además, la soya producida por medio de la agricultura convencional, ocasiona degradación de la fertilidad y pérdida de suelo, emisión de gases de efecto invernadero, pérdida de la biodiversidad y ecosistemas (Van der Ploeg, 2014). Por ejemplo, en la sabana tropical de América del Sur, el Cerrado, alberga 5 % de todas las especies vivientes en la Tierra y actualmente su biodiversidad está siendo amenazada por la actividad ganadera y por la producción insostenible de soya (WWF, 2016). Por otro lado, Van der Goot et al. (2016), reportan que en el proceso de extracción de aceite de soya y la obtención de pasta como

subproducto, se utilizan solventes orgánicos tóxicos e inflamables, como el hexano, además del intensivo uso de agua y energía para los procesos de estabilización y fraccionamiento. Si a esto agregamos que la soya utilizada en México es transgénica y tiene elevada correlación con la incidencia de enfermedades como hipertensión, diabetes, obesidad, alzhéimer, párkinson, esclerosis múltiple, y diversos tipos de cáncer (Swanson et al., 2014), urge encontrar alternativas que la sustituyan en la alimentación avícola.

Semilla de girasol en México

La semilla de girasol (*Helianthus annuus* L.) puede ser una alternativa de solución para impulsar nuevamente la avicultura familiar y reducir la dependencia a la pasta y aceite de soya en alimentos balanceados. Particularmente porque hay evidencias que indican que México es el centro de origen de esta oleaginosa (Bye et al., 2009) y tiene potencial para desarrollarse en diversas regiones del país (Figura 1).

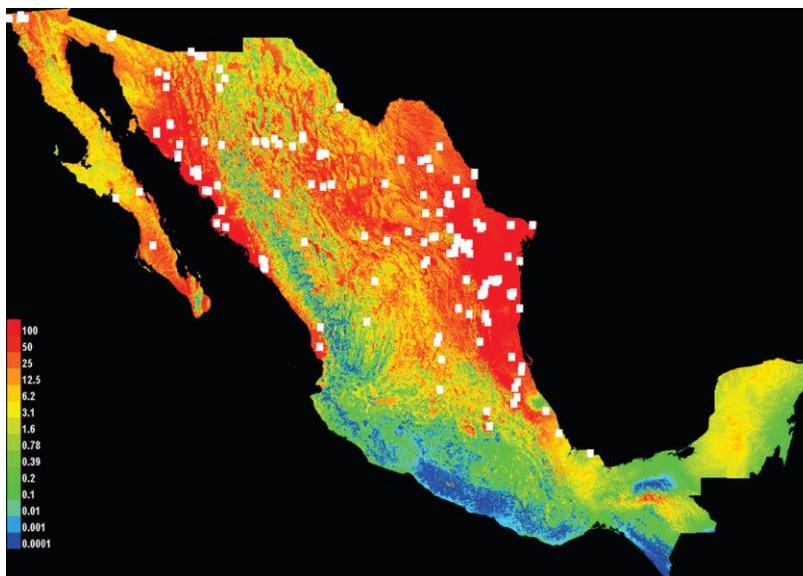


Figura 1. Zonas potenciales donde se pueden desarrollar cultivos de girasol en México. El color rojo indica mayor probabilidad de crecimiento. Los recuadros blancos indican la distribución actual de las poblaciones silvestres *Helianthus annuus*. Tomado de Lentz et al. (2008).

La planta se desarrolla en un período de 4 meses, permitiendo hasta tres cosechas al año en los trópicos. El cultivo se adapta a un amplio rango de condiciones climáticas, soportando sequías y heladas (2°C a 40°C), se desarrolla en diversos tipos de suelo (duro, arcilloso y preferentemente con buen drenaje, moderadamente salino) y a un pH que va de 5.7-8.0; puede sembrarse desde 0 a

2500 msnm y finalmente, el cultivo demanda pocos recursos hídricos (SAGARPA, 2017), atributos que hacen de la semilla de girasol un cultivo potencial en la alimentación avícola.

Semilla de girasol en la alimentación para pollos de engorda

La composición química de la semilla de girasol (Cuadro 1) y el efecto que produce en el metabolismo de los pollos de engorda determinará el nivel adecuado de inclusión en las formulaciones dietéticas, y está en función de la variedad, procesamiento, sea entera o descascarillada, o bien como residuo de la extracción de aceite (Alagawany et al., 2015). En el caso de semilla de girasol entera, el porcentaje de fibra es mayor debido a la cascarilla, y está compuesta por oligosacáridos indigestibles y polisacáridos libres de almidón (375 g de arabinosa y xilosa por kg de semilla de girasol) (San Juan y Villamide, 2001), que contribuyen a la viscosidad digestiva y reducen la asimilación de grasas, proteínas y carbohidratos en las aves. Este aspecto representa una restricción para el uso de la semilla de girasol entera en la dieta de pollos de engorda, pero la utilización de enzimas β -glucanasa y xilanasa (Mushtaq et al., 2009) o bien, el descascarillado, pueden aminorar este problema.

Cuadro 1. Composición química de la semilla de girasol

<i>Nutrientes (%)</i>	Tsuzuki et al. (2003)	Selvaraj y Purushothaman, (2004)	Rodríguez et al. (2005)	Nassiri et al. (2012)	Laudadio et al. (2014)
	SDG	SDGH	SDGH	PDG	PDG
Materia seca	93.1	NR	96.78	88.00	89.80
Proteína cruda	21.75	17.00	14.71	30.00	42.30
Extracto etéreo	39.89	38.50	36.26	2.50	2.90
Fibra cruda	15.51	14.90	10.28	21.20	10.30
FDN	NR	29.80	17.24	NR	16.80
FDA	NR	21.20	15.75	NR	13.00
Minerales	NR	3.50	2.54	NR	6.80
Calcio	0.33	0.34	NR	0.21	NR
Fósforo	0.72	0.22	NR	NR	NR
EM (kcal/kg)	4,925	5,162	NR	2,104	NR

SDG= Semilla de girasol entera; SDGH= semilla de girasol híbrida, enriquecida en ácido oleico; PDG= pasta de girasol; NR= no reportado; EM= Energía metabolizable.

Para el caso del uso de pasta de girasol, se debe considerar que es un subproducto de la extracción de aceite y que los procesos de trituración, presión y temperatura afectan a las proteínas porque se desnaturalizan, se producen nuevos enlaces con carbohidratos u otras biomoléculas, y se forman compuestos de Maillard (Pedroche, 2015), consecuentemente, se reduce la digestibilidad de las proteínas para los pollos de engorda (San Juan y Villamide, 2001). Esto significa, que el alto porcentaje de proteína de la pasta de girasol no es necesariamente mejor que el porcentaje de proteína que presenta la semilla de girasol entera, por lo que la decisión de usar una u otra depende de la calidad de la proteína, es decir, de la cantidad de aminoácidos esenciales que presente, de su digestibilidad y disponibilidad.

La formulación de dietas para pollos de engorda es tan especializada, que existen aminoácidos sintéticos que se adicionan directamente a las dietas. Por ejemplo, al utilizar pasta de girasol, deficiente en lisina, cistina y tirosina (Alagawany et al., 2015), es necesario complementar la dieta con estos aminoácidos sintéticos. La formulación debe realizarse de acuerdo a la concentración y digestibilidad de aminoácidos de cada ingrediente (Cuadro 2) y a los requerimientos nutricionales de las aves en cada etapa productiva.

Cuadro 2. Perfil de aminoácidos de la semilla de girasol

<i>Aminoácidos esenciales</i> (% del ingrediente)	Rama-Rao et al. (2006) SDG	Brenes et al. (2008) SDGH	Liu et al. (2015) PDG
Arginina	2.13	1.72	2.40
Histidina	NR	0.55	0.85
Isoleucina	1.05	0.90	1.23
Leucina	1.66	1.36	1.91
Lisina	0.99	0.59	1.35
Metionina	0.57	0.37	0.69
Fenilalanina	NR	1.02	1.27
Treonina	0.98	0.85	1.14
Triptófano	0.38	NR	0.34
Valina	1.28	0.94	1.61

SDG= Semilla de girasol entera; SDGH= semilla de girasol híbrida enriquecida en ácido oleico; PDG= pasta de girasol; NR= no reportado.

Adicionalmente al contenido de aminoácidos de la semilla de girasol, es importante su contenido de lípidos y perfil de ácidos grasos, donde la energía, medida como energía metabolizable (EM), es mayor en la semilla de girasol entera que en la pasta de girasol. En las aves, el exceso de EM incrementa la deposición de grasa abdominal en lugar de aprovecharse para el desarrollo de masa muscular (Salari et al., 2009), por lo que extraer aceite de la semilla de girasol cuando se usa entera o parcialmente descascarillada es una práctica necesaria, además que dicho aceite puede ser aprovechado para consumo humano.

El tipo de ácidos grasos contenido en las dietas también es de vital importancia en la nutrición avícola. En las semillas de girasol hasta ahora estudiadas (Cuadro 3.), hay alta concentración de ácidos grasos insaturados, lo que indica que serán eficientemente digeridos y aprovechados por las aves, porque al ser más hidrofílicos son mejor absorbidos en el intestino delgado (Ravindran et al., 2015), con la desventaja de ser más susceptibles a la oxidación lipídica (Kamal-Eldin y Pokorny, 2005).

Cuadro 3. Contenido de ácidos grasos en semillas de girasol

Ácidos grasos [†] /variedades	Regular	Enriquecida en ácido oleico	Enriquecida en ácido esteárico	Enriquecida en ácido palmítico
<i>Saturados</i>				
Palmítico (C16:0)	6.30	3.80	7.40	34.70
Esteárico (C18:0)	4.60	4.10	27.10	2.60
<i>Monoinsaturados</i>				
Oleico (C18:1n-9)	26.70	82.10	16.10	6.90
<i>Poliinsaturados</i>				
Linoleíco (C18:2n-6)	61.10	8.70	46.30	45.10
Araquidónico (C20:4n-6)	0.30	0.40	1.50	0.50
Behénico (C22:0)	0.90	0.90	1.60	1.10

Fuente: Adaptación de Salas et al. (2015). [†] g 100 g⁻¹ de aceite por cromatografía de gases.

Es pertinente mencionar que la semilla de girasol también contiene metabolitos secundarios (Cuadro 4), generados por las plantas durante su desarrollo para protegerse de plagas y enfermedades. Entre los metabolitos se encuentran derivados de ácidos fenólicos, flavonoides, tocoferoles y carotenoides, reconocidos como pontenes antioxidantes naturales (Velasco y Ruiz-Méndez, 2015), haciendo que la semilla de girasol se proteja a sí misma contra la oxidación lipídica

y tenga un efecto benéfico para la conservación del alimento balanceado durante su almacenamiento.

Pajak et al. (2014) reportaron que la capacidad antioxidante de la semilla de girasol (5.91 ± 0.42 DPPH[mg trólox g^{-1} m.s.]) es superior a la que presentan las semillas de rábano (3.10 ± 0.07 DPPH[mg trólox g^{-1} m.s.]), frijol mung (0.11 ± 0.00 DPPH[mg trólox g^{-1} m.s.]) y brocoli (1.41 ± 0.11 DPPH[mg trólox g^{-1} m.s.]), debido a los metabolitos secundarios que la integran.

Cuadro 4. Principales metabolitos secundarios contenidos en la semilla de girasol

Componente	[mg/100 g m.s.]	Componente	[mg/100 g m.s.]
<i>Ácidos Fenólicos</i>	3428.4	<i>Flavonoides</i>	0.92
Cafeoil	22.85	Quercetina	0.58
Ferúlico	30.525	Kaemferol	0.05
p-coumaroilquínico	9.425	Apigenina	0.29
Feruloilquínico	10.075	<i>Tocoferoles</i>	40.3-93.5
Cafeoilquínico	496.775	<i>Carotenoides</i>	0.65-1.53
Clorogénico	2433.65		
Dicafeoilquínico	425.125		

Fuente: Adaptación de Velasco y Ruiz-Méndez (2015), Pajak et al. (2014) y Weisz et al. (2012).

Los compuestos fenólicos que predominan en la semilla de girasol son los ácidos clorogénico, cafeoil y quínico que, en contraste con el efecto antioxidante que producen en la conservación y estabilidad del alimento, afectan la calidad de las proteínas, restringiendo el uso de la semilla de girasol en la nutrición avícola. Esto se explica porque durante la oxidación de los ácidos fenólicos, por acción de la enzima polifenol oxidasa, sus enlaces covalentes se unen al grupo NH_2 de la lisina, SH de la cisteína, SCH_3 de la metionina y al grupo indol del triptófano, reduciendo la digestibilidad de los aminoácidos en el sistema digestivo de los monogástricos (Weisz et al., 2012); sin embargo, la inclusión de aminoácidos sintéticos puede compensar esta limitación (Alagawany et al., 2015).

Respecto a la respuesta en producción animal, los resultados de la sustitución de la pasta de soya por pasta de girasol es variable. Por ejemplo, Rama-Rao et al. (2006) determinaron que se puede sustituir 67 % y 100 % de pasta de soya por pasta de girasol, en iniciación y finalización respectivamente, sin afectar los parámetros productivos de las aves, siempre y cuando se ajusten

los valores de EM con aceite y se complemente la dieta con lisina y metionina sintéticas. De la misma manera, Adejuno y Williams (2006) demostraron que la pasta de girasol puede reemplazar a la pasta de soya y a la pasta de cacahuete, en un 75 % sin presentar impactos negativos en el crecimiento de las aves. Aunque, Selvaraj y Purushothaman (2004) y Brenes et al. (2008) sugieren que no es factible incrementar los porcentajes de inclusión de semilla de girasol entera y descascarillada más allá del 15 % - 20 % porque la concentración de aceite aumentaría la EM, provocando una disminución en el consumo de alimento y un incremento en la grasa abdominal.

Incremento de ácidos grasos poli insaturados en la carne de pollo

Recientemente, se demostró que las principales causas de muerte en la población mexicana se deben a problemas de diabetes, enfermedades cardiovasculares y de circulación, hipertensión arterial, obesidad y malnutrición (Gómez-Dantés et al., 2016). Ante esta problemática, los estudios se han enfocado en mejorar la calidad nutricional de los alimentos, y en el caso de la carne, disminuyendo el porcentaje de ácidos grasos saturados (AGS) e incrementando los poli insaturados (AGPI), particularmente del tipo n3. La ingesta de alto contenido de ácidos grasos saturados y grasas *trans* está relacionada con problemas cardiovasculares, diabetes tipo 2 y cáncer de colon (Bordoni y Danesi, 2017), y se hallan mayormente en carnes rojas. La carne puede considerarse altamente saludable cuando contiene ácidos grasos de cadena larga del tipo omega 6 (n-6) y omega 3 (n-3) en una relación n-6:n-3 menor que 5/1 (Simopoulos, 2008) y cuando mantiene una relación AGPI:AGS mayor de 0.4 (Wood et al., 2003), como en el caso de la carne de pollo.

La dieta de los animales influye en la concentración y proporción de ácidos grasos que se depositan en la carne. En el caso de las especies monogástricas, si se suministran dietas concentradas en AGPI se obtendrá carne con mayores niveles de AGPI, porque durante el proceso de digestión, los monogástricos no degradan los AGPI como lo hacen los rumiantes, y por ende, grandes cantidades están disponibles para ser depositadas en los músculos (Wood y Enser, 2017). Consecuentemente, es fácil pensar que con el uso de semilla de girasol en las dietas de pollos de engorda, se puede obtener carne con alto contenido de AGPI, algunos de los cuales pueden dar la característica de alimento funcional. Por ejemplo, los ácidos linoleico, α -linolénico, eicosapentaenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA) que aporta la semilla de girasol, mantienen la fluidez de las membranas

celulares del cuerpo; son precursores de eicosanoides, responsables de regular la formación de trombos, agregación de las plaquetas e inflamación; y finalmente, participan en la transcripción nuclear y expresión genética de los procesos de coagulación de la sangre y activación del sistema inmune (Wood y Enser, 2017). Adicionalmente, la carne de pollo tiene menor contenido de AGS y colesterol en comparación con otras carnes, es fuente de aminoácidos esenciales, minerales y vitaminas como hierro, zinc, selenio y cianocobalamida (B₁₂), niacina (B₃), piridoxina (B₆), ácido pantoténico (B₅) y colina (Bordoni y Danesi, 2017), respectivamente.

Metabolismo y deposición de ácidos grasos en pollos de engorda

La acumulación de la grasa en los tejidos de los pollos, es el resultado de la absorción en el intestino delgado de los ácidos grasos provenientes de la alimentación, de la síntesis *de novo* en el hígado y de la oxidación de los ácidos grasos en el tejido adiposo y muscular (Smink et al., 2010). En el tejido muscular de los pollos de engorda se almacena del 1 % a 4 % de los lípidos totales del organismo y en el tejido adiposo del 60 % a 90 % (Wood y Enser, 2017). Los ácidos grasos se distribuyen en los tejidos como triacilgliceroles y fosfolípidos. En el tejido adiposo predominan los triacilgliceroles, conformados mayormente por AGS y AGM, mientras que en músculo hay mayor concentración de fosfolípidos, constituidos principalmente por AGPI (Betti et al., 2009). Esta estructura musculoesquelética y la distribución de los ácidos grasos en el cuerpo de las aves facilita el enriquecimiento de AGPI, aunque su capacidad de almacenamiento es reducida.

Las grasas y aceites son consumidas por las aves en forma de triacilgliceroles, moléculas conformadas por un glicerol y tres ácidos grasos, cuya insolubilidad en agua dificulta su transporte en medios acuosos. En el proceso de digestión, las grasas son emulsificadas dentro del intestino delgado por acción de las sales biliares para que sean miscibles en agua. Durante la emulsificación se forman micelas mixtas, moléculas que contienen un grupo polar exterior que interactúa con la fase acuosa, y un grupo no polar hidrófobo ubicado en el núcleo de la micela. Dos ácidos grasos son separados del triacilglicerol por acción de la enzima lipasa pancreática, dejando un monoglicérido libre. Los ácidos grasos y monoglicéridos son absorbidos por el lumen intestinal vía enterocitos, donde son re-esterificados y combinados con colesterol libre e incorporados como fosfolípidos y lipoproteínas dentro de los portomicrones. Los portomicrones se desplazan por el

torrente sanguíneo y se transportan a varios tejidos, principalmente hígado, donde son metabolizados como fuente de energía, o movilizados hacia los tejidos muscular y adiposo, para ser almacenados como depósitos de grasa (Ravindran et al., 2015).

Las lipoproteínas que provienen mayormente de la síntesis de *novo* de los hepatocitos y en menor porcentaje del intestino, están constituidas por AGPI, colesterol, triacilgliceroles y fosfolípidos. Cuando las lipoproteínas llegan al tejido muscular vía sanguínea, sus componentes se depositan en los adipositos del perimio para ser utilizados como energía a través de la β -oxidación cuando el organismo lo requiera (Betti et al., 2009). Por esta razón es posible incrementar el porcentaje de AGPI de las lipoproteínas a través de la dieta, utilizando ingredientes como aceite de girasol, aceite de linaza, aceite de canola o aceite de cártamo (Figura 2), y así incrementar el porcentaje de AGPI depositados en la carne como se muestra en el Cuadro 5.

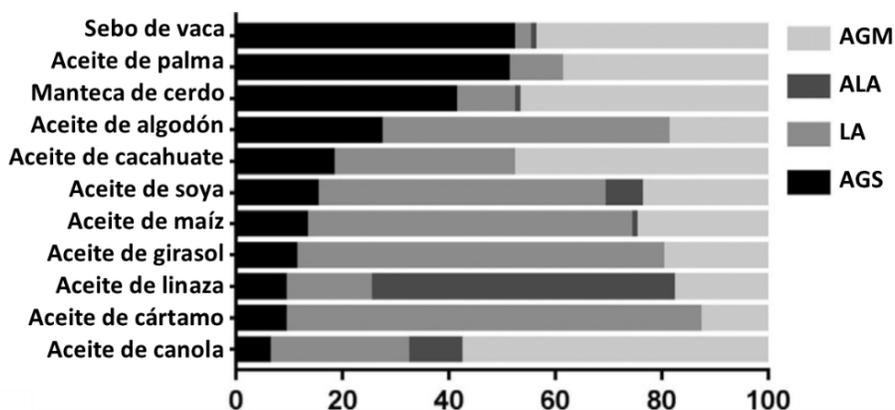


Figura 2. Composición de ácidos grasos de los principales aceites y grasas usados en alimentación animal (porcentaje del total de ácidos grasos). AGM, ácidos grasos monoinsaturados; ALA, α -linolénico (18:3n-3); LA, ácido linoleico (18:2n-6); AGS, ácidos grasos saturados. Tomado de Dugan et al. (2018).

Los ácidos palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0) son los principales AGS encontrados en el tejido adiposo porque son sintetizados a partir de los carbohidratos que suministra la dieta. Las aves son capaces de generar pequeñas cantidades de AGM en el hígado, mientras que otro pequeño porcentaje proviene de la síntesis de los AGS de la dieta. El principal AGM en la carne de pollo es el ácido oleico (C18:1n9). La formación de los AGPI (Figura 3) se lleva a cabo en el hígado, donde las enzimas desaturasas y elongasas Δ -5 y Δ -6, rompen ligaduras de los AGS e insertan dobles enlaces a las cadenas de los ácidos linoleico (18:2n-6, LA) y α -linolénico (18:3n-3, ALA).

En este proceso se producen los ácidos araquidónico (C20:4n-6, **AA**), eicosapentaenoico (20:5n-3, **EPA**), docosapentaenoico (C22:5n-3, **DPA**) y docosahexaenoico (C22:6n-3, **DHA**) (Wood y Enser, 2017).

Cuadro 5. Efecto de los ingredientes de la dieta sobre el perfil de ácidos grasos de la pechuga de pollo.

Ácido graso	ADG	ADS	ADM	ADL	ADP
Linoléico (C18:2n-6)	23.02	20.68	19.1	18.3	17.05
α -linolénico (C18:3n-3)	0.11	0.13	0.09	0.09	0.07
Araquidónico (C20:4n-6)	0.23	0.92	3.23	5.02	4.6
EPA (C20:5n-3)	0.17	0.25	0.63	1.74	2.72
DHA (C22:6n-3)	0.23	0.63	1.47	3.51	5.76
Σ AGS	43.91	43.96	43.39	39.84	37.65
Σ AGM	31.04	30.57	30.96	30.64	30.8
Σ AGPI	25.05	24.04	25.65	29.53	31.55
Σ n-6	23.49	21.23	19.41	18.56	17.37
Σ n-3	0.82	2.00	5.61	10.61	13.34
n6:n3	23.88	11.31	3.52	1.82	1.32

ADG= aceite de girasol; ADS= aceite de soya; ADM= aceite de mostaza; ADL= aceite de linaza; ADP= aceite de pescado; EPA= ácido eicosapentaenoico; DHA= ácido docosahexaenoico; AGS= ácidos grasos saturados; AGM= ácidos grasos monoinsaturados; AGPI= ácidos grasos poliinsaturados. Adaptado de Kalakuntla et al. (2017).

Los AGPI n-3 provienen del ácido α -linolénico (18:3n-3, ALA) y los AGPI n-6 se forman a partir del ácido linoleico (18:2n-6, LA) (Figura 3, Wood et al., 2003), razón por la cual, la carne de pollo, alimentado con semilla de girasol en la dieta, concentrada en LA, contiene mayor cantidad de AGPI del tipo n-6. Sin embargo, para lograr incrementar la proporción de AGPI LA y ALA existe la desventaja que compiten por las mismas enzimas, interfiriendo en los procesos de elongación y desaturación (Betti et al., 2009). Adicionalmente, ALA es el ácido graso mayormente utilizado como energía en el metabolismo muscular a través de la β -oxidación, disminuyendo la probabilidad de que se sintetice AGPI n-3 (Rymer y Givens, 2005), afectando así negativamente el perfil de ácidos grasos de la carne.

Elongación y desaturación de ácidos grasos poliinsaturados n-6 y n-3

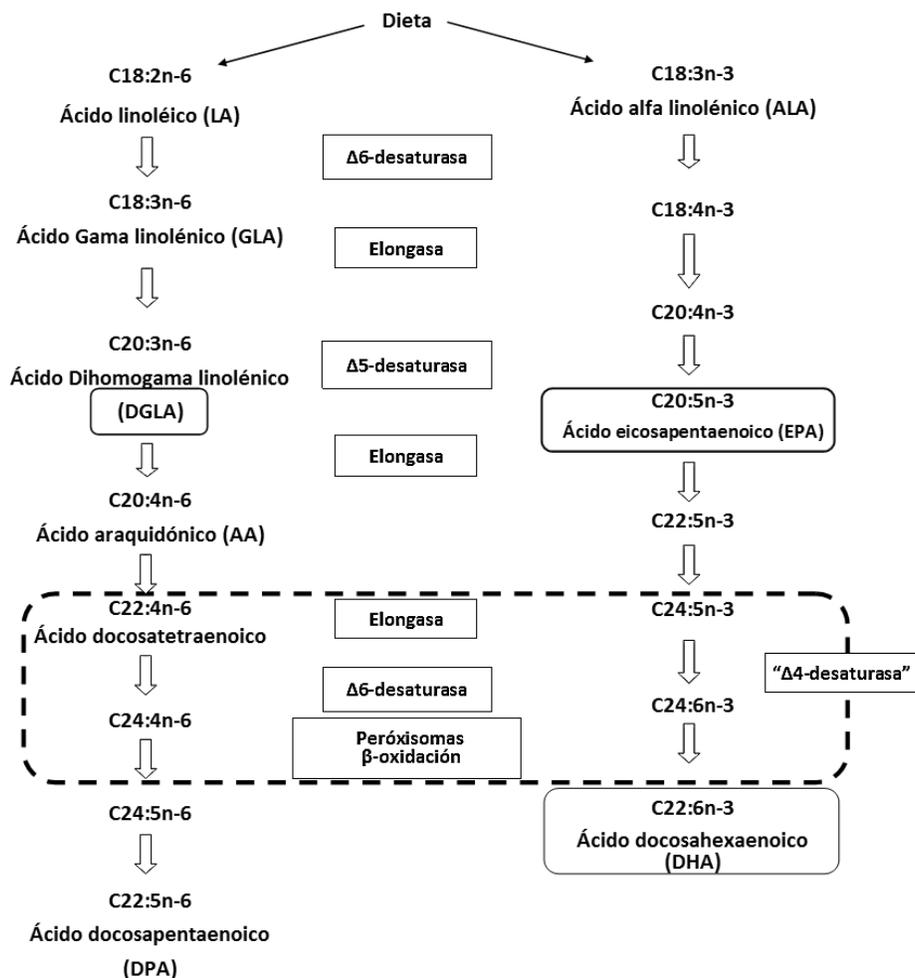


Figura 3. Elongación y desaturación de ácidos grasos poliinsaturados n-3 y n-6. Tomado de Simopoulos (2008).

El grado de saturación e insaturación de los ácidos grasos de la carne depende del balance de la dieta (origen exógeno) y de la síntesis endógena de los ácidos grasos. Generalmente, cuando las dietas contienen altos niveles de AGPI hay bajas concentraciones de AGS y AGM, debido a que los AGPI inhiben las enzimas lipogénicas (Δ^9 desaturasa) y reducen la síntesis *de novo* de ácidos grasos en las aves (Villaverde et al., 2006). Crespo y Esteve-García (2002) indican que los principales ácidos grasos que resultan de la lipogénesis hepática o *síntesis de novo* son AGS y AGM (16:0, 18:0, 18:1n9 y 16:1n7), principales constituyentes del tejido adiposo que, al disminuir su producción por el efecto inhibitorio de los AGPI, se reduce también la deposición de grasa abdominal en las aves. Otros factores que pueden intervenir en la concentración de ácidos grasos

en la carne es que los AGPI forman micelas más fácilmente que los AGS y que las proteínas encargadas de ligar los ácidos grasos durante la absorción, tienen más afinidad por los AGPI (Ravindran et al., 2015).

El porcentaje de extracto etéreo de la dieta también interviene en la proporción AGPI:AGS:AGM. A este respecto, Villaverde et al. (2006) observaron que las dietas con baja concentración de lípidos promueven la síntesis de ácidos grasos saturados y monosaturados en las aves, porque el organismo intenta mantener una proporción adecuada de ácidos grasos saturados:ácidos grasos insaturados en las membranas celulares, independientemente de que la dieta esté concentrada en AGPI.

Calidad de la carne de pollo alimentado con semilla de girasol

El incremento de ácidos grasos poli insaturados en la carne de pollo, a través de la semilla de girasol, puede modificar el color, la firmeza, la jugosidad, el olor y el sabor de la carne, debido principalmente, a sus implicaciones en los procesos de oxidación lipídica y descomposición. Los atributos de calidad de la carne desempeñan una importante función en la aceptación y decisión de compra del consumidor.

En el caso del *color* en la carne fresca, la Mioglobina (Mb) es el pigmento responsable y se define por sus 4 estados de óxido reducción (Figura 4): deoximioglobina (DeoxMb), oximioglobina (OxiMb), carboximioglobina (CoMb) y metmioglobina (MetMb). OxiMb y CoMb brindan coloraciones rojo cereza a rojo cuando sus 6 enlaces están ocupados por oxígeno y monóxido de carbono, respectivamente. DeoxMb se manifiesta en un tono rojo púrpura cuando ningún enlace está ligado con el hierro del grupo hemo y finalmente, la MetMb se presenta en un tono café, resultado de la oxidación del hierro que pasa de la forma ferrosa (Fe^{2+}) a férrica (Fe^{3+}) (Carvalho et al., 2017).

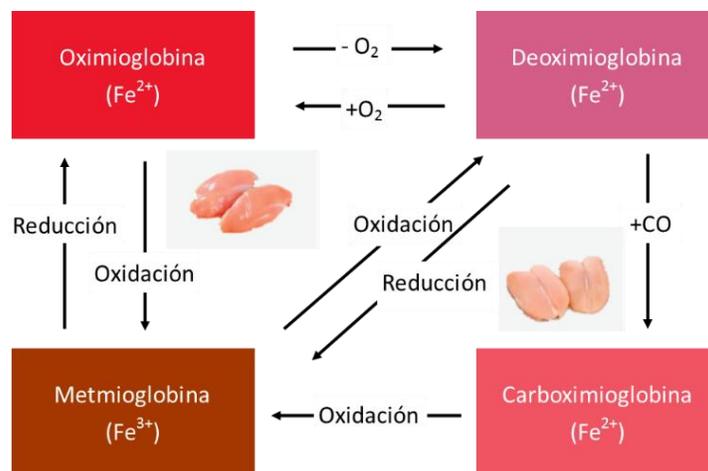


Figura 4. Estados redox de la mioglobina en carne de pollo. Tomado de Carvalho et al. (2017).

Faustman et al. (2010) sugieren que los productos que resultan de las reacciones bioquímicas de la oxidación lipídica aceleran la oxidación de la Mb y perjudican el color (Figura 5). Esto es evidente cuando han experimentado con antioxidantes naturales en dietas animales, y han observado una correlación positiva entre la capacidad antioxidante de la carne y la estabilidad del color a través del tiempo (Jang et al., 2008). De aquí la importancia de utilizar antioxidantes en la dieta, cuando la carne es enriquecida en AGPI a través de oleaginosas, por ejemplo, cuando se utiliza semilla de girasol, cártamo, soya o linaza, sobre todo en especies que tienen altas concentraciones de Mb como la carne de res (2-5 mgg⁻¹), borrego (3-7 mgg⁻¹), cerdo (3-6 mgg⁻¹) y pollo (0.1-5 mgg⁻¹) (Young y West, 2001).

Por otro lado, también se ha observado que incluir algunos tipos de ácidos grasos en la dieta de pollos de engorda, genera beneficios en la estabilidad del color de la carne. Por ejemplo, cuando se incluye ácido linoleico conjugado (ALC), se reduce la cantidad de ácidos grasos insaturados en la carne, y por ende, disminuye la susceptibilidad a la oxidación lipídica, la cual está directamente relacionada con las alteraciones del color (Jiang et al., 2014).

Soares et al. (2009) evidenciaron que el estrés calórico promueve la actividad de la enzima fosfolipasa mitocondrial A2 (PLA2) que hidroliza los fosfolípidos de la membrana celular, liberando altas cantidades de ácido araquidónico. Con dicho ácido graso pueden comenzar los procesos de oxidación lipídica y afectar el color (Figura 5). Entonces, la semilla de girasol, que

integra a la membrana celular altas concentraciones de ácido araquidónico, puede influir sobre el color si hay estrés calórico.

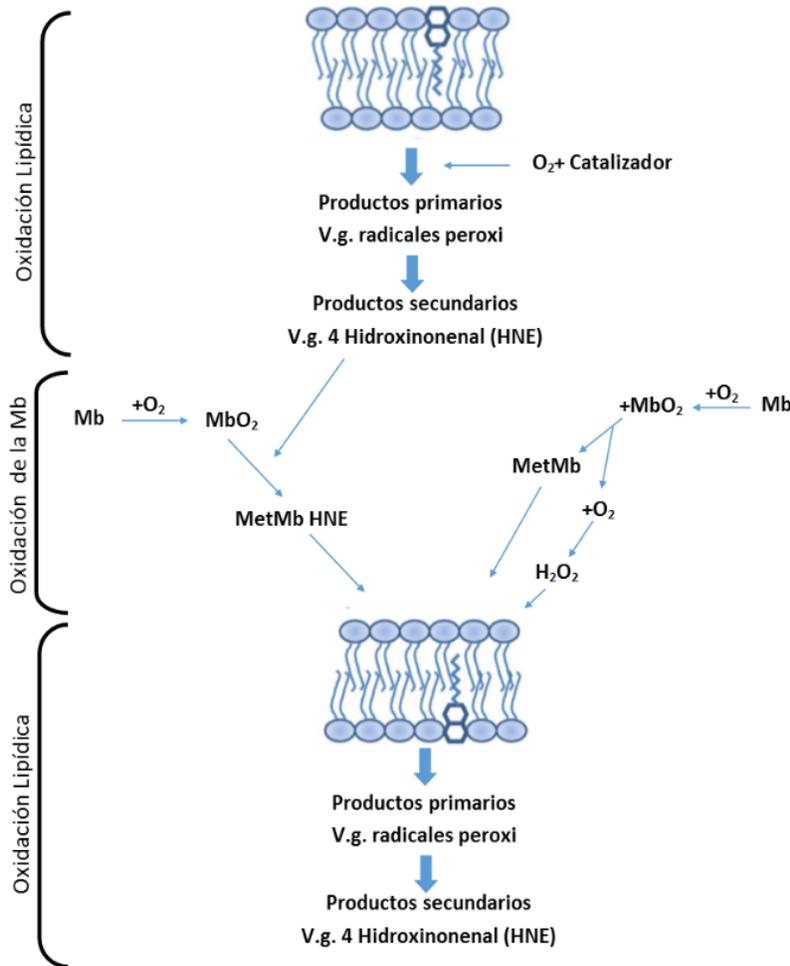


Figura 5. Interacción potencial entre las reacciones de oxidación de la mioglobina y de los ácidos grasos de los lípidos de las bicapas de la membrana celular.
Tomado de Faustman et al. (2010).

La *terneza o suavidad* es otro atributo de calidad de la carne relacionado con la facilidad de masticación y palatabilidad. Para determinar su escala, generalmente se mide la fuerza necesaria para realizar un corte transversal sobre las fibras musculares, mediante el método Warner-Bratzler (Morey y Owens, 2017). La *textura* de la carne está influenciada por diversos factores como edad de los animales, raza, manejo ante-mortem, enfriamiento post-mortem, tiempo de maduración, tipo de fibra muscular, cantidad de colágeno, porcentaje de humedad y nivel de grasa contenida en el músculo (Hopkins, 2017). Por ejemplo, la grasa ubicada dentro de las fibras musculares se

solidifica durante la refrigeración y previene el fenómeno de acortamiento por frío, confiriendo a la carne mejor firmeza durante su almacenamiento en crudo (Matarneh et al., 2017). En la cocción, la grasa produce menor rigidez estructural, debilita los enlaces del tejido conectivo, disminuye la pérdida de agua y ayuda a la separación de las fibras musculares durante la masticación (Wood, 1995).

López-Ferrer et al. (2001), encontraron que la fuerza de corte tiende a reducirse cuando se incrementa el porcentaje de aceite de linaza y se reduce el porcentaje de sebo en las dietas de pollos de engorda, resultado atribuido al incremento de AGPI en la dieta. Contrariamente, el uso de ALC en las dietas de pollos de engorda, incrementa la cantidad de ácidos saturados y resulta una carne más dura porque aumenta el punto de fusión de la grasa (Du y Ahn, 2002).

Es un hecho que el incremento de AGPI a través de la semilla de girasol u otras oleaginosas, mejora la suavidad de la carne, esto se constata con los experimentos de Panda et al. (2015) y Kalakuntla et al. (2017), quienes incrementaron la cantidad de AGPI en la carne de pollo, con aceite de linaza y aceite de girasol, y mejoró la percepción de los panelistas cuando evaluaron la firmeza.

Respecto a la *capacidad de retención de agua* (CRA), entendida como la posibilidad que tiene la carne para inmovilizar moléculas de agua dentro de las fibras musculares durante el transporte, procesamiento y cocción (Bowker, 2017), es importante porque está relacionada con la jugocidad de la carne y pérdida de rendimiento final, cuando la CRA es baja. De los factores que alteran la CRA, la desnaturalización y degradación de proteínas, acortamiento del sarcómero y enfriamiento de la canal, están relacionados con la caída de pH y la transformación de músculo a carne. No existe información precisa del efecto de los ácidos grasos en la CRA. Du y Ahn (2002) descubrieron que al incrementar los niveles de CLA en la dieta de pollos de engorda disminuía la jugocidad en la carne. Contrariamente, Jiang et al. (2014) no encontraron efecto en la pérdida por goteo en la carne de pollo cuando utilizaron CLA. Tampoco hubo diferencias en la jugocidad cuando han experimentado con aceite de linaza y sebo (López-Ferrer et al., 2001), con aceite de semilla de girasol y aceite de linaza (Panda et al., 2015) y con aceite de girasol, aceite de soya, aceite de mostaza, aceite de linaza o aceite de pescado (Kalakuntla et al., 2017).

Capacidad antioxidante de la carne de pollo alimentado con semilla de girasol

Los ácidos grasos contenidos en la semilla de girasol y transferidos a los músculos de las aves para mejorar los lípidos de la carne, están ligados a procesos de oxidación lipídica, porque en su mayoría son AGPI, cuyos dobles enlaces son más susceptibles a desencadenar las reacciones de óxido-reducción (Cortinas et al., 2005).

La oxidación lipídica en los ácidos grasos insaturados se explica de la siguiente manera: *iniciación*, los átomos de hidrógeno de los AGM y AGPI al ser más inestables, son abstraídos por radicales libres cuando la doble ligadura se encuentra adyacente a un átomo de carbono, generando radicales lipídicos. Estos a su vez son atraídos por una molécula de oxígeno para dar lugar a un radical peróxido. Esta reacción se *propaga* formando productos secundarios como hidroperóxidos y *finalmente*, cuando los radicales reaccionan entre sí forman productos terciarios de la oxidación, como cetonas, aldehídos, alcoholes y ésteres, que modifican negativamente el valor nutricional y las cualidades sensoriales de la carne, incluso, algunos compuestos secundarios y terciarios pueden ser tóxicos (Figura 6, Kamal-Eldin y Pokorny, 2005).

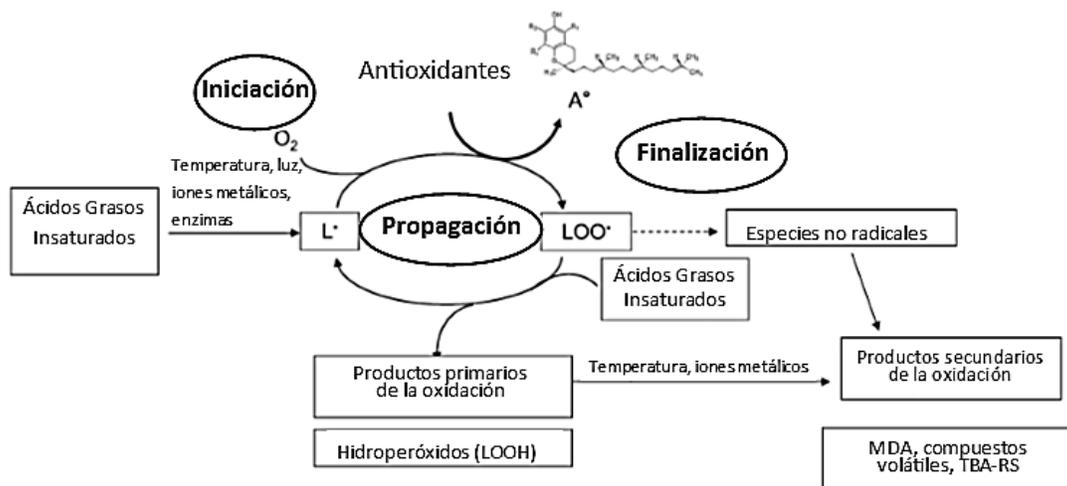


Figura 6. Esquema del mecanismo y etapas de la oxidación lipídica. Tomado de Guyon et al. (2016).

La estabilidad oxidativa de la carne depende de sus sistemas antioxidantes endógenos, como vitaminas E y C, enzimas como superóxido dismutasa, catalasa y glutatión peróxidasa, dipéptidos como carnosina y anserina; depende de agentes pro-oxidantes externos como luz, temperatura,

iones metálicos; y por último, esta en función de la composición de los sustratos propensos a la oxidación como AGPI, colesterol, proteínas y pigmentos (Serpen et al., 2012).

El proceso de cocción puede reducir la capacidad antioxidante de la carne porque produce cambios estructurales y funcionales: desnaturaliza las proteínas y enzimas, rompe la membrana celular y comienza la degradación de antioxidantes endógenos, como vitamina C y vitamina E (Tornberg, 2004), propiciando que la oxidación de los AGPI de la carne comience después de 96 h en refrigeración, en contraste con la carne cruda cuyo proceso oxidativo comienza hasta una semana después (Sampaio et al., 2012).

La oxidación de la carne, cruda o cocida, se puede retardar mediante el uso de antioxidantes exógenos y endógenos, que previenen la actividad de radicales libres, inhiben su propagación por reacciones en cadena, secuestran metales, reducen la concentración de oxígeno y descomponen peróxidos (Sacchetti et al., 2008). Recientemente, se han enfocado en estudiar antioxidantes exógenos naturales, contenidos en plantas y frutos, cuyos extractos arrojaron resultados positivos en la conservación de la calidad y vida de anaquel de la carne (Jang et al., 2008). A este respecto, la semilla de girasol contiene ácidos fenólicos, flavonoides, tocoferoles y carotenoides, reconocidos como antioxidantes naturales (Velasco y Ruiz-Méndez, 2015) y bien podrían funcionar como antioxidantes naturales en la carne de pollo.

Literatura citada

Adejuno, D., Williams, A. (2006). Effects of partial replacement of soybean meal or groundnut cake with sunflower seed meal in broiler chicken diets on performance and plasma metabolites. *Global Journal of Pure Applied Sciences*, 12(2), 159-164.

Alagawany, M., Farag, M., Abd El-Hack, M., Dhama, K. (2015). The practical application of sunflower meal in poultry nutrition. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 3(12), 634-648.

Betti, M., Zuidhof, M., Renema, R. (2009). Omega-3-enriched broiler meat: 3. Fatty acid distribution between triacylglycerol and phospholipid classes. *Poultry Science*, 88(8), 1740-1754.

Bordoni, A., Danesi, F. (2017). Poultry meat nutritive value and human health. En M. Petracci, & C. Berri (Edits.), *Poultry Quality Evaluation. Quality Attributes and Consumer Values*

- (págs. 279-290). Italia: Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition.
- Bowker, B. (2017). Developments in our understanding of water-holding capacity. En M. Petracci, C. Berri (Edits.), *Poultry Quality Evaluation. Quality Attributes and Consumer Values* (págs. 77-113). Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition.
- Brenes , A., Centeno, C., Viveros , A., Arija , I. (2008). Effect of enzyme addition on the nutritive value of high oleic acid sunflower seeds in chicken diets. *Poultry Science* , 87, 2300-2310.
- Bye, R., Linares, E., Lentz, D. (2009). México: centro de origen de la domesticación del girasol . *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 12(1), 5-12.
- Carvalho, R., Shimokomaki, M., Estévez, M. (2017). Poultry Meat Color and Oxidation. En M. Petracci, & C. Berri (Edits.), *Poultry Quality Evaluation. Quality Attributes and Consumer Values*. (págs. 133-157). España: Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition.
- Cortinas, L., Barroeta, A., Villaverde, C., Galobart, J., Guardiola, F., Baucells, M. (2005). Influence of the dietary polyunsaturation level on chicken meat quality: lipid oxidation. *Poultry Science*, 84, 48-55.
- Crespo, N., Esteve-García, E. (2002). Nutrient and fatty acid deposition in broilers fed different dietary fatty acid profiles. *Poultry Science*, 81, 1533-1542.
- Cuca-García, J., Gutiérrez-Arenas, D. A., López-Pérez, E. (2015). La avicultura de traspatio en México: Historia y caracterización. *Agroproductividad*, 8(4), 30-36.
- Dal Bosco, A., Mugnai , C., Mattioli, S., Rosati, A., Ruggeri, S., Ranucci, D., Castellini, C. (2015). Transfer of bioactive compounds from pasture to meat in organic free-range chickens. *Poultry Science* , 95, 2464-2471.
- Du, M., Ahn, D. (2002). Effect of Dietary Conjugated Linoleic Acid on the Growth Rate of Live Birds and on the Abdominal Fat Content and Quality of Broiler Meat. *Poultry Science*, 81, 428-433.
- Durgan, M., Mapiye, C., Vahmani, P. (2018). Polyunsaturated Fatty Acid Biosynthesis and Metabolism in Agriculturally Important Species. En G. Burdge (Ed.), *Polyunsaturated Fatty Acid Metabolism* (págs. 61-86). AOCS Press.
- FAO. (2013). *Revisión del desarrollo avícola*. FAO.
- FAO. (2014). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Recuperado el 04 de Junio de 2018, de <http://www.fao.org/alc/cursos/af/>
- Faustman, C., Sun, Q., Mancini, R., Suman, S. (2010). Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Science*, 86, 86-94.

- Gómez-Dantés, H., Fullman, N., Lamadrid-Figueroa, H., Cahuana-Hurtado, L., Darney, B., Avila-Burgos, L. (2016). Dissonant health transition in the states of Mexico, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet*, 388, 2386-2402.
- Gutiérrez, M. (2017). *AviNews*. Recuperado el 04 de 06 de 2018, de <https://avicultura.info/avicultura-mexicana-pilar-pecuario-mas-geneticamente-supeditado/>
- Guyon, C., Meyner, A., Lamballerie, M. (2016). Protein and lipid oxidation in meat: A review with emphasis on high-pressure treatment. *Trends in Food Science and Technology*, 50, 131-143.
- Hopkins, D. (2017). The Eating Quality of Meat:II-Tenderness. En F. Toldrá (Ed.), *Lawrie's Meat Science* (págs. 357-381). Australia: Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition.
- Jang, A., Liu, X., Shin, M., Lee, B., Lee, S., Lee, J., Jo, C. (2008). Antioxidative potential of raw breast meat from broiler chicks fed a dietary medicinal herb extract mix. *Poultry Science*, 87, 2382-2389.
- Jiang, W., Nie, S., Qu, Z., Bi, C., Shan, A. (2014). The effects of conjugated linoleic acid on growth performance, carcass traits, meat quality, antioxidant capacity, and fatty acid composition of broilers fed corn dried distillers grains with solubles. *Poultry Science*, 93, 1202-1210.
- Kalakuntla, S., Nagireddy, N., Panda, A., Jatoth, N., Thirunahari, R., Vangoor, R. (2017). Effect of dietary incorporation of n-3 polyunsaturated fatty acids rich oil sources on fatty acid profile, keeping quality and sensory attributes of broiler chicken meat. *Animal Nutrition*(3), 386-391.
- Kamal-Eldin, A., & Pokorny, J. (2005). *Analysis of Lipid Oxidation*. New York: AOCS.
- Laudadio, V., Ceci, E., Lastella, N., Tufarelli, V. (2014). Effect of feeding low-fiber fraction of air-classified sunflower (*Helianthus annuus* L.) meal on laying hen productive performance and egg yolk cholesterol. *Poultry Science*, 93, 2864-2869.
- Lentz, D., Bye, R., Sánchez-Cordero, V. (2008). Ecological niche modeling and distribution of wild sunflower (*Helianthus annuus* L.) in México. *International Journal of Plant Sciences*, 169(4), 541-549.
- Liu, J., Li, Q., Zeng, Z., Li, P., Xu, X., Wang, H., Piao, X. (2015). Determination and prediction of the amino acid digestibility of sunflower seed meals in growing pigs. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences*, 28, 86-94.
- López-Ferrer, S., Baucells, M., Barroeta, A., Galobart, J., Grashorn, M. (2001). n-3 enrichment of chicken meat. 2. Use of precursors of long-chain polyunsaturated fatty acids: linseed oil. *Poultry Science*, 80, 753-761.

- Matarneh, S., England, E., Scheffler, T., Gerrard, D. (2017). The conversión of muscle to meat. En F. Toldrá (Ed.), *Lawrie´s Meat Science* (págs. 159-185). USA: Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition.
- Morey, A., Owens, C. (2017). Methods for measuring meat texture. En M. Petracchi, & C. Berri (Edits.), *Poultry Quality Evaluation* (págs. 115-132). USA: Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition.
- Mushtaq, T., Sarwar, M., Ahmad, G., Noreen, U., Mushtaq, M., Kamran, Z. (2009). Influence of sunflower meal based diets supplemented with exogenous enzyme and digestible lysine on performance, digestibility and carcass response of broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 149, 275-286.
- Nassiri, M., Salari, S., Arshami, J., Golian, A., Maleki, M. (2012). Evaluation of the nutritional value of sunflower meal and its effect on performance, digestive enzyme activity, organ weight, and histological alterations of the intestinal villi of broiler chickens. *The Journal of Applied Poultry Research*, 21, 293-304.
- Pajak, P., Socha, R., Galkowska, D., Roznowski, J., Fortuna, T. (2014). Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. *Food Chemistry*, 143, 300-306.
- Panda, A., Sridhar, k., Lavanya, G., Prakash, B., Rama Rao, S., Raju, M. (2015). Growth performance, carcass characteristics, fatty acid composition and sensory attributes of meat of broiler chickens fed diet incorporated with linseed oil. *Indian Journal of Animal Sciences*, 85(12), 1354-1357.
- Pedroche, J. (2015). Utilization of Sunflower Proteins. En E. Martínez-Force, N. Turgut Dunford, & J. Salas (Edits.), *Sunflower. Chemistry, Production, Processing, and Utilization* (págs. 395-439). Illinois: AOCS Press.
- Pomboza-Tamaquiza, P., Guerrero-López, R., Guevara-Freire, D., Rivera, V. (2018). Granjas avícolas y autosuficiencia de maíz y soya: caso Tungurahua-Ecuador. *Estudios sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional.*, 28(51), 1-25.
- Rama-Rao R., S., Raju, M., Panda, A., Reddy, M. (2006). Sunflower seed meal as a substitute for soybean meal in commercial broiler chicken diets. *British Poultry Science*, 47(5), 592-598.
- Ravindran, V., Tanchaorenrat, P., Zaefarian, F., Ravindran, G. (2015). Fats in poultry nutrition: digestive physiology and factors influencing their utilisation. *Animal Feed Science and Technology*, 213, 1-21.
- Rodríguez, M., Ortiz, L., Alzueta, C., Rebolé, A., Treviño, J. (2005). Value of high-oleic acid sunflower seed for broiler chickens. *Poultry Science*, 84, 395-402.
- Rymer, C., Givens, D. (2005). n-3 Fatty Acid Enrichment of Edible Tissue of Poultry: A Review. *Lipids*, 40(2), 121-130.

- Sacchetti, G., Di Mattia, C., Pittia, P., Martino, G. (2008). Application of a radical scavenging activity test to measure the total antioxidant activity of poultry meat. *Meat Science*, 80, 1081-1085.
- SAGARPA. (11 de Septiembre de 2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017 - 2030*. Recuperado el 08 de Mayo de 2018, de <https://www.gob.mx/sagarpa/documentos/planeacion-agricola-nacional-2017-2030>
- Salari, S., Nassiri Moghaddam, H., Arshami, J., Golian, A. (2009). Nutritional evaluation of full-fat sunflower seed for broiler chickens. *Asian-Australian Journal Animal Science*, 22(4), 557-564.
- Sampaio, G., Saldanha, T., Soares, R., Torres, E. (2012). Effect of natural antioxidant combinations on lipid oxidation in cooked chicken meat during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 135, 1383-1390.
- San Juan, L.D. Villamide, M. J. (2001). Nutritional evaluation of sunflower products for poultry as affected by the oil extraction process. *Poultry Science*, 80, 431-437.
- Selvaraj, R., Purushothaman, M. (2004). Nutritive value of full-fat sunflower seeds in broiler diets. *Poultry Science*, 83, 441-446.
- Serpen, A., Gökmen, V., Fogliano, V. (2011). Total antioxidant capacities of raw and cooked meats. *Meat Science*, 90, 60-65.
- SIAP. (2017). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. Recuperado el 23 de 05 de 2018, de <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>
- Simopoulos, A. (2008). The importance of the omega-6/omega-3 fatty acid ratio in cardiovascular disease and other chronic diseases. *Experimental Biology and Medicine*, 233(6), 674-688.
- Smink, W., Gerrits, W., Hovenier, R., Geelen, M., Verstegen, M., Beynen, A. (2010). Effect of dietary fat sources on fatty acid deposition and lipid metabolism in broiler chickens. *Poultry Science*, 89, 2432-2440.
- Soares, A., Marchi, D., Matsushita, M., Guarnieri, P., Droval, A., Ida, E., Shimokomaki, M. (2009). Lipid oxidation and fatty acid profile related to broiler breast meat color abnormalities. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 52(6), 1513-1518.
- Swanson, N., Leu, A., Abrahamson, J., Wallet, B. (2014). Genetically engineered crops, glyphosate and the deterioration of health in the United States of America. *Journal of Organic Systems*, 9(2), 6-37.
- Tornberg, E. (2004). Effects of heat on meat proteins – Implications on structure and quality of meat products. *Meat Science*, 70, 493-508.
- Tsuzuki, E., García, E., Murakami, A., Sakamoto, M., Galli, J. (2003). Utilization of sunflower seed in laying hen rations. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 5, 179-182.

- Van der Goot, A., Pelgrom, P., Berghout, J., Geerts, M., Jankowiak, L., Hardt, N., Nikiforidis, C. (2016). Concepts for further sustainable production of foods. *Journal of Food Engineering*, 168, 42-51.
- Van der Ploeg, J. (2014). Crecimiento agrícola dirigido por el campesinado y la soberanía alimentaria. En S. Borrás (Ed.), *Soberanía Alimentaria: un diálogo crítico* (págs. 13-27). La Haya: International Institute of Social Studies.
- Velasco, L., Ruiz-Méndez, M. (2015). Sunflower Oil Minor Constituents. En E. Martínez-Force, N. Turgut Dunford, & J. Salas (Edits.), *Sunflower. Chemistry, Production, Processing, and Utilization* (págs. 297-329). Illinois: AOCS Press.
- Villaverde, C., Baucells, M., Cortinas, L., Barroeta, A. (2006). Effects of dietary concentration and degree of polyunsaturation of dietary fat on endogenous synthesis and deposition of fatty acids in chickens. *British Poultry Science*, 47(2), 173-179.
- Weisz, G., Carle, R., Kammerer, D. (2012). Sustainable sunflower processing-II. Recovery of phenolic compounds as a by-product of sunflower protein extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 17, 169-179.
- Wood, J. (1995). The influence of carcass composition on meat quality. En S. Morgan Jones (Ed.), *Quality and grading of carcasses of meat animals* (págs. 51-83). Canada: CRC.
- Wood, J., Enser, M. (2017). Manipulating the Fatty acid composition of meat to improve nutritional value and meat quality. *News Aspects of meat quality*, 501-535.
- Wood, J., Richardson, R., Nute, G., Fisher, A., Campo, M., Kasapidou, E., Enser, M. (2003). Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*(66), 21-32.
- Woolliams, J., Gwaze, D., Meuwissen, T., Planchenault, D., Renard, J., Thibier, M., Wagner, H. (1998). *Segundo documento de líneas directrices para la elaboración de planes nacionales de gestión de los recursos genéticos de animales de granja. Gestión de pequeñas poblaciones en peligro*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- WWF. (2016). *Living Planet Report 2016. Risk and resilience in a new era*. Gland, Switzerland: WWF International .
- Young, O., West, J. (2001). Meat Color. En Y. Hui, W.-K. Nip, & R. Rogers (Edits.), *Meat Science and Applications* (págs. 1-31). Nueva Zelanda: CRC Press.

CAPITULO I. INCLUSIÓN PARCIAL DE SEMILLA DE GIRASOL DESCASCARILLADA EN DIETAS DE POLLOS DE ENGORDA: EFECTO EN LA CALIDAD DE LA CARNE.

1.1 RESUMEN

Se reemplazó parcialmente la pasta de soya y el aceite de soya por semilla de girasol descascarillada en dietas para pollos de engorda, con el objetivo de evaluar la calidad de la carne. Se utilizaron 280 pollos (Roos 308) de un día de edad que se distribuyeron en 28 unidades experimentales integradas por 10 pollos cada una. Se asignaron cuatro tratamientos experimentales en un diseño completamente al azar: dieta testigo (sorgo-pasta de soya) (DTPA); dieta con 5 % de semilla de girasol + aceite de soya (G5CA); dieta con 5 % de semilla de girasol sin aceite de soya (G5SA); y dieta con 10 % de girasol sin aceite de soya (G10SA). Se evaluó las características fisicoquímicas, perfil de ácidos grasos y capacidad antioxidante de la carne. No hubo efecto de tratamiento en las características fisicoquímicas ($P>0.05$), pero sí en la composición de los ácidos grasos y capacidad antioxidante de la carne ($P<0.01$). Los ácidos grasos de las muestras de carne, provenientes de los tratamientos DTPA, G5CA y D10SA, no mostraron diferencia significativa y en todos los casos predominaron los ácidos grasos poli insaturados ($P<0.01$). La capacidad antioxidante de la carne cruda y cocida se redujo a los 9 y 6 días ($P<0.05$), respectivamente, pero no hubo diferencias entre tratamientos. Sustituir en diez por ciento la pasta de soya y completamente el aceite de soya por semilla de girasol descascarillada en la dieta de pollos de engorda no genera diferencias en calidad de la carne comparada con aquella obtenida con una dieta basada en sorgo-pasta de soya.

Palabras clave: semilla de girasol descascarillada, pechuga de pollo, calidad de la carne, perfil de ácidos grasos, capacidad antioxidante.

1.2 ABSTRACT

Soybean meal and soy oil were partially replaced with dehulled sunflower seeds in broiler diets in order to evaluate meat quality. We used 280, one-day-old chickens (Roos 308), distributed into 28 experimental units of 10 chickens each. Four experimental treatments were assigned in a completely randomized design: control diet (sorghum- 30% soybean meal) (DBSS); diet with 26% soybean meal, 5% sunflower seeds and soy oil (D5S0); diet with 26% soybean meal, 5% sunflower seeds without soy oil (D5WO); and diet with 23% soybean meal, 10% sunflower seeds without soy oil (D10WO). We evaluated physicochemical characteristics, fatty acid profile, and antioxidant capacity of the meat. There was no effect from the treatment on the physicochemical characteristics ($P>0.05$), but on the composition of fatty acids and antioxidant capacity of the meat ($P<0.01$). The fatty acids of the meat samples, from treatments DBSS, D5S0, and D10WO showed significant differences with D5WO ($P<0.01$). The antioxidant capacity of raw and cooked meat decreased at 9 and 6 days ($P<0.05$), respectively; however, it was not because of the treatment effect. Substituting soybean meal by 10% and soy oil completely with dehulled sunflower seeds in broiler diets generated no differences in meat quality, compared against meat obtained with a diet based on sorghum-soybean meal.

Key words: dehulled sunflower seeds, breast meat, meat quality, fatty acid profile, antioxidant capacity.

1.3 INTRODUCCIÓN

La producción de pollo de engorda en México es fundamental para coadyuvar con la seguridad alimentaria de la población, debido a que es la carne que más se consume; además, es económica y de alto valor nutricional en comparación con la de otras especies. Sin embargo, la insuficiente producción nacional de ingredientes, ha hecho necesaria la importación intensiva de soya para la obtención de aceite y elaboración de alimentos balanceados (SAGARPA, 2017), incrementando los costos de la crianza de pollo de engorda. En este contexto, la semilla de girasol (*Helianthus annuus* L.), debido a su composición nutricional y a recientes evidencias que apuntan a México como su centro de origen (Bye et al., 2009; Lentz et al., 2008), puede ser una alternativa de sustitución de la pasta y aceite de soya. Ante esta posibilidad, se han realizado diversas investigaciones sobre el uso de la semilla y pasta de girasol en el comportamiento productivo de pollos de engorda, encontrando resultados positivos (Adejuno y Williams, 2006; Rama R. et al., 2006; Brenes et al., 2008). Asimismo, debido a que la semilla de girasol tiene alto contenido de ácidos grasos poli insaturados (Salas et al., 2015), se ha investigado su efecto en el metabolismo de pollos de engorda, concluyendo que puede disminuir la proporción de ácidos grasos saturados en la grasa abdominal (Newman et al., 2002) y en músculos de pechuga y muslo (Kalakuntla et al., 2017), lo que hace hipotetizar que el uso de semilla de girasol descascarillada y el aceite que aporta, puede mejorar la composición de ácidos grasos en la carne de pollo. Sin embargo, es pertinente mencionar que la vida de anaquel de la carne se afecta negativamente, debido a que los ácidos grasos poli insaturados son altamente susceptibles a la oxidación (Kamal-Eldin y Pokorny, 2005) por lo que es necesaria la adición de antioxidantes. Con base en estos antecedentes, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la semilla de girasol parcialmente descascarillada en las dietas, en los atributos de calidad, perfil de ácidos grasos, composición química y capacidad antioxidante de la carne de pechuga de pollo.

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y duración

La engorda de los pollos se llevó a cabo durante 49 días en el módulo avícola de la granja experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Los análisis de las muestras de carne se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal del Programa de Ganadería de la misma Institución, y en el Laboratorio de Análisis de Alimentos del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo. Ambas ubicadas en Texcoco, Estado de México.

Aves, manejo y dietas

Se utilizaron 280 pollos (Roos 308) de un día de edad, los cuales se distribuyeron en 28 unidades experimentales integradas por 10 pollos cada una. Cuatro tratamientos fueron asignados aleatoriamente a las 28 unidades experimentales con siete repeticiones por tratamiento. Los tratamientos fueron: DTPA, dieta testigo a base de sorgo-soya; G5CA, dieta con 5 % de semilla de girasol descascarillada + aceite de soya; G10SA, dieta con 10 % de semilla de girasol descascarillada sin aceite de soya; G5SA, dieta con 5% de semilla de girasol descascarillada sin aceite de soya. La semilla de girasol se descascarilló para mejorar su digestibilidad (San Juan y Villamide 2001). Las características de las dietas y la semilla de girasol descascarillada se presentan en el Cuadro 1. Los pollos tuvieron acceso al alimento y agua ad libitum.

Preparación de la carne, empackado y almacenamiento

Se seleccionaron aleatoriamente 14 pollos de cada tratamiento (n=56) y se les restringió el alimento después de 49 días. Se sacrificaron acorde a la Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995 (Diario Oficial de la Federación [DOF]), y colectaron las pechugas (Pectoralis major), las cuales se conservaron en bolsas de polietileno selladas herméticamente a -10°C para su posterior análisis de laboratorio.

Cuadro 6. Composición química de las dietas experimentales y la semilla de girasol descascarillada.

	DTPA	G5CA	G10SA	G5SA	SDGD
Materia seca	93.44	93.06	93.45	93.51	97.69
Energía metabolizable ^δ (kcal)	3149	3148	3158	3019	4250
Proteína cruda	21.68	21.69	21.70	21.69	28.34 ^Y
Extracto etéreo	5.96	4.46	6.30	3.67	48.72
Cenizas	5.71	5.33	6.01	5.82	4.69
FDN	14.72	15.99	16.64	15.79	34.03
FDA	14.39	15.28	16.32	15.60	29.09
Perfil de ácidos grasos (g 100 g ⁻¹ de aceite)					
Ácido caproico (C6:0)	8.72	0.59	0.37	NI	NI
Ácido tridecanoico (C13:0)	5.32	NI	NI	NI	NI
Ácido palmítico (C16:0)	11.40	11.27	13.86	7.61	5.83
Ácido esteárico (C18:0)	2.60	3.55	2.52	3.71	6.88
Ácido oleico (C18:1n9)	22.13	26.72	27.58	21.04	21.52
Ácido linoleico (C18:2n6)	45.62	56.86	52.03	51.14	63.90
Ácido araquidónico (C20:4n6)	NI	NI	NI	NI	0.42
Ácido linolénico (C18:3n3)	NI	0.81	3.62	NI	NI
Ácido eicosenoico (C20:1n9)	NI	NI	NI	16.48	NI
DGLA (20:3n6)	4.17	NI	NI	NI	NI
Ácido behénico (C22:0)	NI	NI	NI	NI	0.98
Ácido lignocérico (C24:0)	NI	NI	NI	NI	0.26
ΣAGS	28.07	15.44	16.75	11.32	13.97
ΣAGM	22.13	26.77	27.58	37.52	21.56
ΣAGPI	49.79	57.78	55.65	51.14	64.45
Σn-3	NI	0.81	3.62	NI	NI
Σn-6	49.79	56.97	52.03	51.14	64.45
Capacidad antioxidante					
mmol Trólox Eq/kg muestra	15.24	13.93	23.07	21.20	9.45 [†]

DTPA= dieta testigo a base de sorgo-soya; G5CA= dieta con 5% de semilla de girasol descascarillada + aceite de soya; G10SA= dieta con 10% de semilla de girasol descascarillada sin aceite de soya; G5SA=dieta con 5% de semilla de girasol descascarillada sin aceite de soya; SDGD= semilla de girasol descascarillada; FDN=fibra detergente neutro; FDA=fibra detergente ácido; NI= no identificado. DGLA= ácido dihomo-gamma linolénico; AGS= ácidos grasos saturados; AGM= ácidos grasos mono insaturados; AGPI= ácidos grasos poli insaturados; n-3=ácidos omega 3; n-6= ácidos omega 6. ^δ Calculado de acuerdo a NRC (1994). ^Y Dato proporcionado por EVONIK. [†] Semilla tratada con BHA (butilhidroxianisol) y BHT (butilhidroxitolueno) a razón de 1g/kg de semilla de girasol.

pH y color

El pH de la pechuga se midió después de 30 minutos del período de desangrado, insertando el electrodo del potenciómetro portátil HANNA HI 9916, a un centímetro de profundidad del

músculo. Inmediatamente después, se midió el color en la parte interna de las muestras de pechuga, usando un colorímetro Konica-Minolta (CR-410 Sensing Inc., Japón). Los resultados se reportaron usando el sistema de color de la Comisión Internacional en Iluminación (CIE) para las coordenadas tricromáticas luminosidad (L^*), índice de rojos (a^*) e índice de amarillos (b^*).

Textura

La textura de la pechuga cruda y cocida se midió a través de la fuerza de corte usando una cuchilla Warner-Bratzler y el analizador de Textura TA-XT2i Stable Micro Systems, Godalming, England (Honikel, 1998). Para ello se cortaron 10 prismas rectangulares (4.0 x 2.0 x 0.7 cm) paralelos a las fibras musculares por cada muestra de pechuga, de los cuales, cinco prismas se conservaron crudos y los otros cinco se colocaron en bolsas de plástico herméticamente cerradas y se cocieron inmersas en agua a 75°C durante 30 min. Las muestras de carne se conservaron en refrigeración a 4°C hasta su análisis. Las condiciones de evaluación fueron, velocidad de pre-ensayo 4.0 mm s⁻¹, velocidad de ensayo 1.0 mm s⁻¹, velocidad post-ensayo 5.0 mm s⁻¹ y distancia 30 mm. Los resultados se expresaron en newton (N).

Capacidad de retención de agua

Se colocaron 5 g de carne finamente picada en un tubo de centrifuga con 8 mL de solución de cloruro de sodio 0.6 M. Los tubos se colocaron en hielo durante 30 minutos y posteriormente se centrifugaron (Beckman Coulter J2-HS) durante 15 min a 10,000 r.p.m. El volumen del sobrenadante se decantó y la diferencia se reportó como mililitros de solución de NaCl 0.6M retenidos por 100 g de carne.

Análisis proximal

El contenido de proteína, grasa, humedad y colágeno de cada muestra de pechuga se determinó utilizando el espectrofotómetro de infrarrojo cercano (NIR) FOSS FoodScan™ Analytical AB Suecia, de acuerdo al Método Oficial 2007.04 de la AOAC (Anderson, 2007). Se molieron y homogenizaron 200 g de carne en un procesador de alimentos durante 30 s para que la grasa, el

tejido conectivo y las fibras musculares se distribuyeran uniformemente. La muestra de carne molida se colocó dentro de la copa de vidrio del FoodScan y ésta a su vez, se insertó dentro del soporte del instrumento y se procedió a realizar tres lecturas por muestra.

Perfil de ácidos grasos

Para la medición del perfil de ácidos grasos de las muestras de pechuga liofilizadas (Labconco FreeZone 6) se utilizó la técnica de metilación propuesta por Palmquist and Jenkins (2003), en el cual los ácidos grasos se presentan en forma de metil ésteres. Los ácidos grasos en forma de metil ésteres se determinaron con el cromatógrafo de gases Hewlett-Packard 6890 con inyector automático y una columna capilar (100 m × 0.25 mm × 0.20 µm width, Sp-2560, Supelco). Para identificar los ácidos grasos se comparó el tiempo de retención del estándar (Supelco 37 FAME Components) con el de la muestra. Los resultados se expresaron en g de ácidos grasos contenidos en 100 g de aceite.

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de la carne de pechuga de pollo cruda y cocida se determinó usando el método convencional de DPPH descrito por Brand-Williams et al. (1995). Se evaluaron a los días 0, 3, 6 y 9. Todas las muestras se conservaron a 4°C dentro de bolsas de polietileno selladas herméticamente. La cantidad de DPPH (2,2-difenil-1-picryl-hidrazyl, Sigma Aldrich Chemistry) se determinó por espectrofotometría (Espectrofotómetro visible Varian Cary 1E UV) a 517 nm, y para determinar la actividad de los radicales libres (ARL) se utilizó una curva estándar, elaborada de la reacción de Trólox ((S)-(-)-6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic, Sigma Aldrich Chemistry) y DPPH. Los resultados se expresaron como mg Trólox Eq/kg muestra.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente mediante un ANOVA con un diseño experimental completamente al azar (SAS, 2004). Se realizó la prueba de comparación de medias

de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0.05$. Los resultados de la capacidad antioxidante se analizaron con el procedimiento PROC MIXED de SAS 9.4.

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características fisicoquímicas de la carne

Las características de calidad de las muestras de pechuga no se modificaron ($P > 0.05$) por efecto de los tratamientos (Cuadro 2). La textura de la carne cruda se clasificó como “muy suave” (11.2 N) a “moderadamente suave” (24.5 N), y en carne cocida de “extremadamente suave” (≤ 25.5 N) a “muy suave” (25.5-44.4 N) (Cavitt et al. 2005; Yu et al. 2005), valores positivos por su relación con la facilidad de masticación y palatabilidad (Jiang et al., 2018). El color, cuyo promedio de L^* y a^* fue de 45.5 y 5.94, respectivamente, de acuerdo con la clasificación de Soares et al. (2009) y Oda et al. (2009), corresponden a una carne oscura, concordante también con Wattanachant et al. (2004) quienes indican que la carne oscura resulta de un pH alto, como el promedio obtenido de 6.23, aunque también es importante considerar que color puede estar influenciado por la composición de la dieta (Wideman et al., 2016). Por ejemplo, los valores b^* obtenidos en esta investigación, fueron elevados en comparación con otros resultados (Wideman et al., 2016; Wattanachant et al., 2004), lo cual pudo deberse al contenido de flavonoides, tocoferoles, carotenoides y ácido clorogénico que contiene la semilla de girasol (Velasco y Ruiz-Méndez, 2015; Pajak et al., 2014 y Weisz et al., 2012), compuestos que disminuyen la oxidación de la mioglobina y activan mecanismos que modifican la distribución de los pigmentos en los tejidos animales, tal como sucede con el aceite esencial de orégano (Jang et al., 2008). Wildermuth et al. (2016) señala que los compuestos resultantes de la oxidación del ácido clorogénico, reaccionan con las proteínas formando coloraciones verdes, lo que nos hace hipotetizar que puede afectar el color de la carne, aunque no hay evidencias claras de esto. Los valores de CRA son menores a propuestos por Barbin et al. (2015), 57.90% como mínimo y 77.44% como máximo, indicando que la carne se clasificaría como seca, probablemente porque las aves estuvieron sometidas a estrés.

Cuadro 7. Características físicas de la pechuga de pollo alimentado parcialmente con semilla de girasol descascarillada en la dieta.

Atributo	Tratamientos				EEM	P
	DTPA	G5CA	G10SA	G5SA		
Fuerza de corte carne cocida (N)	27.07	27.66	28.15	23.54	0.163	0.079
Fuerza de corte carne cruda (N)	19.81	21.48	19.12	18.05	0.384	0.210
Color valor L*	45.17	44.57	45.88	46.38	7.296	0.317
Color valor a*	6.09	5.97	5.67	6.04	1.526	0.817
Color valor b*	19.70	18.41	18.33	18.10	3.74	0.169
pH	6.26	6.28	6.17	6.23	0.03	0.404
CRA (%)	25.10	31.65	30.19	32.46	1.161	0.323

DTPA= dieta testigo a base de sorgo-soya; G5CA= dieta con 5% de semilla de girasol descascarillada + aceite de soya; G10SA= dieta con 10% de semilla de girasol descascarillada sin aceite de soya; G5SA=dieta con 5% de semilla de girasol descascarillada sin aceite de soya; EEM= error estándar dela media. CRA= Capacidad de retención de agua; L*=luminosidad; a*= índice de rojos; b*= índice de amarillos.

La composición química de las muestras de pechuga (Cuadro 3) no fue diferente por efecto de las dietas experimentales ($P > 0.05$). Este comportamiento de debe a que los pollos tienen la capacidad de regular el consumo de alimento y por tanto de nutrientes, específicamente de energía, cuyos niveles de consumo se igualan cuando el acceso es ad libitum y, consecuentemente, la deposición de proteína y grasa en el músculo tienden a ser similares, independientemente de la dieta (Crespo y Esteve-García, 2002; Leeson y Summers, 2001). A este respecto, Crespo y Esteve-García (2001) y Kalakuntla et al. (2017) evaluaron dietas que contenían diferentes concentraciones de energía y diferentes fuentes de grasas y no observaron diferencias en la composición química de los muslos y pechugas de pollo, lo que es concordante con el hecho de que la inclusión de semilla de girasol descascarillada no modificó la composición química de la carne.

Cuadro 8. Composición química de la pechuga de pollo alimentado parcialmente con semilla de girasol descascarillada en la dieta.

Fracción (%)	Tratamientos				EEM	P
	DTPA	G5CA	G10SA	G5SA		
Colágeno	0.75	0.70	0.71	0.68	0.007	0.229
Proteína	23.20	23.35	23.31	22.92	0.772	0.534
Grasa	2.00	2.10	2.09	2.00	0.008	0.727
Humedad	74.80	74.88	74.81	74.99	0.625	0.919
Cenizas*	1.19	1.02	1.24	0.96	0.021	0.315

DTPA= dieta testigo a base de sorgo-soya; G5CA= dieta con 5% de semilla de girasol descascarillada + aceite de soya; G10SA= dieta con 10% de semilla de girasol descascarillada sin aceite de soya; G5SA=dieta con 5% de semilla de girasol descascarillada sin aceite de soya. EEM= error estándar dela media. * Determinado conforme a AOAC (1995).

Composición de ácidos grasos

La composición de ácidos grasos, de las muestras de pechuga de pollo estuvieron influenciadas por las dietas experimentales ($P < 0.01$), tal como se muestra en el Cuadro 4. Las muestras de pechuga de los tratamientos DTPA, G5CA y G10SA presentaron el mismo contenido de los ácidos grasos C14:0, C16:0, C16:1n7, C18:1n9 y C18:2n6, pero fueron diferentes a las muestras de pechuga del tratamiento G5SA ($P > 0.01$), las cuales tuvieron mayor concentración en ácidos grasos saturados y mono insaturados, así como menores niveles de ácidos grasos poliinsaturados, omega 3 y omega 6. Por consiguiente, estas muestras de carne presentaron menor proporción de AGPI:AGS y mayor índice n-6:n-3, en comparación con aquellos de los tratamientos DTPA y G5CA. Se encontró mayor concentración del ácido C18:3n3 en las muestras de pechuga del tratamiento DTPA, seguidas por las muestras de pechuga del tratamiento G5CA y finalmente, las muestras de pechuga de los tratamientos G10SA y G5SA mostraron menor concentración ($P < 0.01$).

El C18:3n3 es el ácido graso mayormente utilizado como energía en la β -oxidación muscular (Smink et al., 2010), razón por la cual posiblemente afectó su concentración final en la carne, tal como se observa en estos resultados. Los tratamientos no tuvieron efecto en la concentración de los ácidos grasos C18:0, C20:4n6, C20:2n6 y 20:3n6 de las muestras de pechuga ($P > 0.05$). El ácido C18:2n6 fue el más abundante en las muestras de pechuga de los tratamientos DTPA, G5CA y G10SA ($P < 0.05$), debido a que el aceite de soya (Kalakuntla et al., 2017) y el aceite de girasol (Crespo y Esteve-Garcia, 2001) aportan altas cantidades de ácidos grasos poli insaturados, principalmente C18:2n6. Los ácidos grasos omega-3 resultan del alargamiento y desaturación del ácido 18:3n-3, de la misma manera que los ácidos grasos omega-6 se forman a partir del ácido 18:2n-6 (Wood et al., 2003), por esta razón hubo mayor cantidad de ácidos grasos omega-6 que omega-3 en las muestras de pechuga de los pollos de todos los tratamientos.

Cuadro 9. Composición de ácidos grasos de la pechuga de pollo alimentado parcialmente con semilla de girasol descascarillada en la dieta.

Ácidos grasos (g 100 g ⁻¹ de aceite)	Tratamientos				EEM	P
	DTPA	G5CA	G10SA	G5SA		
Ácido mirístico (C14:0)	0.44 ^b	0.45 ^b	0.43 ^b	0.53 ^a	0.003	0.001
Ácido palmítico (C16:0)	18.59 ^b	19.22 ^b	19.10 ^b	22.73 ^a	0.001	0.001
Ácido palmitoléico (C16:1n7)	1.90 ^b	2.62 ^b	2.53 ^b	4.32 ^a	0.689	0.001
Ácido esteárico (C18:0)	7.17	7.04	7.85	7.54	1.606	0.406
Ácido oleico (C18:1n9)	25.35 ^b	27.68 ^b	27.71 ^b	32.25 ^a	5.84	0.001
Ácido linoleico (C18:2n6)	34.83 ^a	34.56 ^a	34.77 ^a	26.00 ^b	8.30	0.001
Ácido α -linolénico (C18:3n3)	3.30 ^a	1.78 ^b	0.56 ^c	0.53 ^c	0.158	0.001
Ácido araquidónico (C20:4n6)	2.80	3.27	3.55	2.77	1.791	0.403
Ácido eicosadienoico (C20:2n6)	0.60	0.68	0.68	0.50	0.042	0.108
DGLA (20:3n6)	0.52	0.53	0.52	0.60	0.043	0.740
Σ AGS	27.53 ^b	27.38 ^b	28.22 ^b	31.56 ^a	4.540	0.001
Σ AGM	28.44 ^b	30.92 ^b	30.85 ^b	37.33 ^a	7.510	0.001
Σ AGPI	44.01 ^a	41.68 ^{ab}	40.91 ^b	31.10 ^c	6.50	0.001
Σ n-3	3.45 ^a	1.82 ^b	0.58 ^c	0.54 ^c	0.152	0.001
Σ n-6	40.55 ^a	39.86 ^a	40.33 ^a	30.55 ^b	6.30	0.001
AGPI:AGS	1.60 ^a	1.52 ^a	1.46 ^a	0.98 ^b	0.024	0.001
n-6:n-3	12.03 ^b	24.27 ^b	69.15 ^a	55.90 ^a	1.86	0.001

DTPA= dieta testigo a base de sorgo-soya; G5CA= dieta con 5% de semilla de girasol descascarillada + aceite de soya; G10SA= dieta con 10% de semilla de girasol descascarillada sin aceite de soya; G5SA=dieta con 5% de semilla de girasol descascarillada sin aceite de soya; EEM= error estándar dela media; AGS= ácidos grasos saturados; DGLA= ácido dihomo-gamma linolénico AGM= ácidos grasos mono insaturados; AGPI= ácidos grasos poliinsaturados; n-3=ácidos omega 3; n-6= ácidos omega 6. Medias con distinta letra en la misma línea indican diferencias.

El orden de concentración de los ácidos grasos en las muestras de pechuga de pollo de los tratamientos DTPA, G5CA y G10SA fue: poli insaturados > mono insaturados > saturados, y para las muestras de pechuga del tratamiento G5SA: mono insaturados > saturados > poli insaturados. Es posible que tal deposición y distribución de los ácidos grasos en la carne se deban a la absorción, síntesis de novo y β -oxidación de los ácidos grasos, procesos que a su vez dependen de la concentración y tipo de ácidos grasos que contenga la dieta (Villaverde et al., 2006). Al respecto, Smink et al. (2010) observaron que las dietas concentradas en ácidos grasos poli insaturados inhiben enzimas lipogénicas ($\Delta 9$ desaturasa) y reducen la síntesis de novo de los ácidos grasos saturados y mono insaturados en los pollos. Adicionalmente, durante la absorción, hay mayor afinidad de las proteínas ligadoras de ácidos grasos de las células intestinales por los ácidos grasos poli insaturados (Ravindran et al., 2015). En contraste, el bajo porcentaje de ácidos grasos poli insaturados de las muestras de pechuga en el tratamiento G5SA, pudo ser causado por la reducida

concentración de ácidos grasos saturados de la dieta, puesto que las enzimas desaturasas y elongasas Δ -5 y Δ -6, encargadas de romper ligaduras de los ácidos grasos saturados, insertar dobles enlaces y alargar las cadenas de los ácidos 18:2n-6 y 18:3n-3 (Wood y Enser, 2017), no tuvieron suficiente sustrato para realizar sus funciones. Adicionalmente, los ácidos 18:3n-3 y 18:2n-6 compiten por las mismas enzimas e interfieren en los procesos de elongación y desaturación (Betti et al., 2009), al mismo tiempo que el proceso de β -oxidación reduce su disponibilidad (Smink et al., 2010; Wood et al., 2003). Por otro lado, es importante mencionar que la dieta del tratamiento G5SA tenía menor concentración de energía metabolizable, en comparación con los demás tratamientos, y de acuerdo con los resultados de Villaverde et al. (2006), esto promueve la síntesis de ácidos grasos saturados y mono saturados en los pollos para mantener una proporción adecuada de ácidos grasos saturados:ácidos grasos insaturados en las membranas celulares, a pesar de que el aceite de la semilla de girasol tenga alta concentración de ácidos grasos poli insaturados. Este hecho también fue confirmado por Crespo y Esteve-García (2002) al encontrar que los principales ácidos grasos que resultan de la lipogénesis hepática son 16:0, 18:0, 18:1n9 y 16:1n7, razones por las cuales las pechugas del tratamiento G5SA tuvieron mayor cantidad de ácidos grasos mono insaturados y saturados que poli insaturados. Comparando los resultados de las muestras de pechuga de pollo del tratamiento G5CA contra G5SA, se deduce que el aceite de soya mezclado con el aceite de la semilla de girasol puede influir en el grado de saturación final de la carne, esta puede ser la razón por la cual los ácidos grasos saturados fueron menores en las muestras de carne del tratamiento G5CA que en el tratamiento G5SA (27.38 vs 31.56), mientras que los ácidos grasos poli insaturados fueron mayores en las muestras del tratamiento G5CA que en el tratamiento G5SA (41.68 vs 31.10). La dieta del tratamiento G5SA, que contenía mayor cantidad de ácidos grasos mono saturados en relación a las demás dietas, pudo intervenir para que las muestras de carne tuvieran los niveles más altos de ácidos grasos mono insaturados.

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de las muestras de pechuga de pollo cruda o cocida (Figura 1 y 2) no fue diferente entre los tratamientos ($P > 0.05$), pero varió a lo largo del tiempo ($P < 0.01$). Este comportamiento puede deberse a que la semilla de girasol utilizada en las dietas experimentales fue tratada con el antioxidante BHA (butilhidroxianisol) y BHT (butilhidroxitolueno) a razón de

1g/kg de semilla de girasol, como lo fue el aceite de soya comercial que contenía antioxidantes sintéticos. Esto sugiere que las dietas contribuyeron significativamente a la actividad antioxidante de la carne por su aporte de antioxidantes exógenos (Sampaio et al., 2012; Jang et al., 2008), y por el tipo de ácidos grasos que aporta (Delles et al., 2014). La semilla de girasol contiene ácidos fenólicos, flavonoides, tocoferoles y carotenoides, que funcionan como potentes antioxidantes naturales (Velasco y Ruiz-Méndez, 2015), aunque su efecto en carne de pollo es aún desconocido.

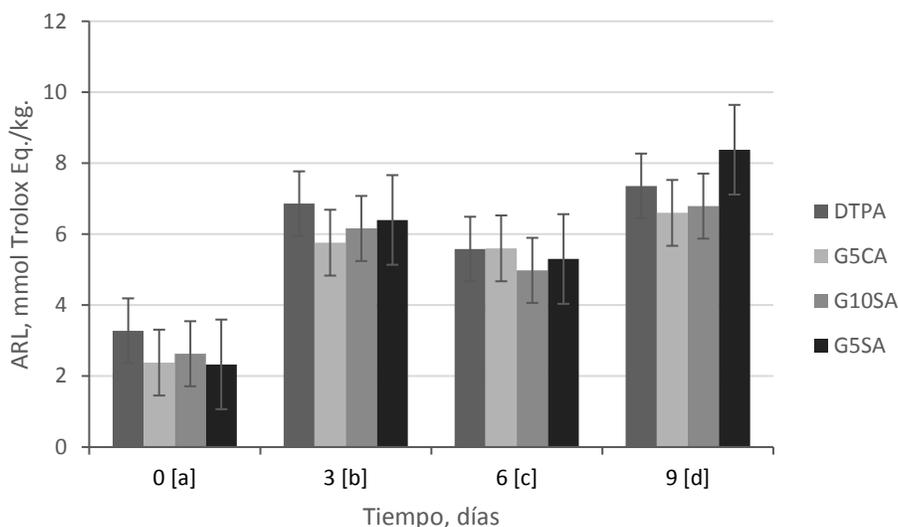


Figura 7. Capacidad antioxidante en pechuga de pollo cruda, alimentado parcialmente con semilla de girasol descascarillada en la dieta.

DTPA= dieta testigo a base de sorgo-soya; G5CA= dieta con 5% de semilla de girasol descascarillada + aceite de soya; G10SA= dieta con 10% de semilla de girasol descascarillada sin aceite de soya; G5SA=dieta con 5% de semilla de girasol descascarillada sin aceite de soya; ARL= actividad de los radicales libres. Medias con distinta letra indican diferencias en el tiempo ($P<0.01$).

La rancidez oxidativa es una de las principales causas de deterioro de los alimentos, su medición a través de la actividad de radicales libres (ARL) en mmol Trolox Eq. Kg-1 es una técnica para predecir el tiempo óptimo de almacenamiento o vida de anaquel (Sacchetti et al., 2008). De acuerdo con los resultados del presente estudio, la carne cruda pierde su estabilidad oxidativa el día 9 y la carne cocida el día 6, ambas almacenadas en condiciones de refrigeración (4°C), independientemente del tratamiento. Esta diferencia se presenta porque el tratamiento térmico produce cambios estructurales y funcionales en la carne; desnaturaliza las proteínas, rompe la membrana celular, comienza la degradación de antioxidantes endógenos, como vitamina C y vitamina E (Sampaio et al., 2012; Serpen et al., 2011) y de manera general, cuando la carne

contiene altos niveles de ácidos grasos poli insaturados, la inestabilidad de sus dobles enlaces la hace más susceptible a desarrollar oxidación lipídica (Kamal-Eldin y Pokorny, 2005). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Serpen et al. (2011), quienes encontraron cambios en la capacidad antioxidante de la carne de pollo por efecto del tratamiento térmico. Conforme el tiempo transcurre, disminuye la concentración de ácidos grasos en la carne (Sampaio et al., 2012) e incrementan los compuestos secundarios y terciarios por efecto de los procesos de oxidación (Guyon et al., 2016) y por ende, incrementa la ARL. La carne cocida, en contraste con la carne cruda (Figura 1 y 2), presenta menor ARL a lo largo del tiempo porque el calor afecta la cantidad inicial de ácidos grasos (Serpen et al., 2011).

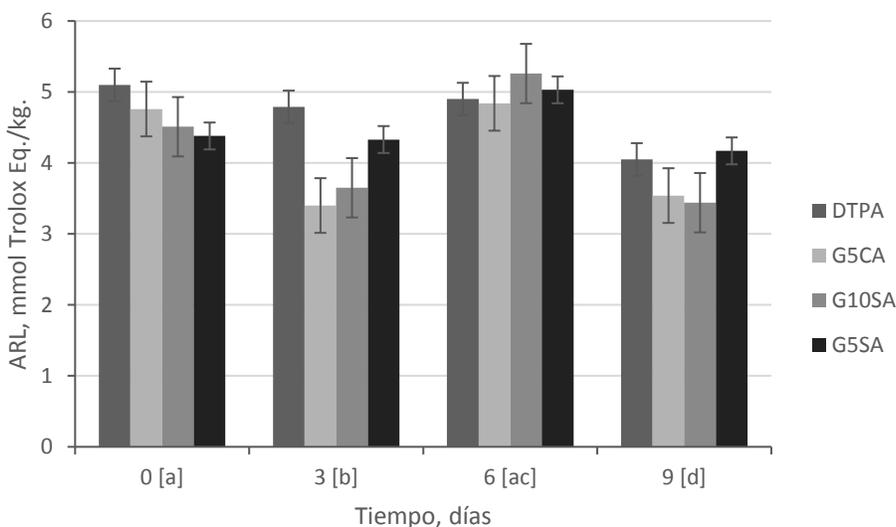


Figura 8. Capacidad antioxidante en pechuga de pollo cocida, alimentado parcialmente con semilla de girasol descascarillada en la dieta.

DTPA= dieta testigo a base de sorgo-soya; G5CA= dieta con 5% de semilla de girasol descascarillada + aceite de soya; G10SA= dieta con 10% de semilla de girasol descascarillada sin aceite de soya; G5SA=dieta con 5% de semilla de girasol descascarillada sin aceite de soya; ARL= actividad de los radicales libres. Medias con distinta letra indican diferencias en el tiempo ($P < 0.01$).

1.6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sustituir parcialmente pasta de soya y eliminar el aceite de soya de las dietas de pollos de engorda, no modificó las características fisicoquímicas de la carne, pero influye en la distribución de ácidos grasos. Se puede sustituir en diez por ciento la pasta de soya y completamente el aceite de soya por semilla de girasol descascarillada, en la dieta de pollos de engorda, porque los ácidos grasos resultantes en la carne, son equivalentes a los obtenidos a través de una dieta convencional, basada en sorgo-pasta de soya. Es recomendable evaluar el efecto de los compuestos fenólicos que

contiene la semilla de girasol en los procesos de oxidación lipídica y su influencia en el color de la carne, incluyendo diferentes niveles de semilla de girasol descascarillada mayor al usado en este estudio.

Agradecimientos

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de maestría otorgada al primer autor.

1.7 LITERATURA CITADA

- Adejuno, D., & Williams, A. (2006). Effects of partial replacement of soybean meal or groundnut cake with sunflower seed meal in broiler chicken diets on performance and plasma metabolites. *Global Journal of Pure Applied Sciences*, 12(2), 159-164.
- Anderson, S. (2007). Determination of fat, moisture, and protein in meat and meat products by using the FOSS FoodScan™ near-infrared spectrophotometer with FOSS artificial neural network calibration model and associated database: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 90(4), 1073-1083.
- Barbin, D., Kaminishikawahara, C., Soares, A., Mizubuti, I., Grespan, M., Shimokomaki, M., & Hirooka, E. (2015). Prediction of chicken quality attributes by near infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 168, 554-560.
- Betti, M., Zuidhof, M., & Renema, R. (2009). Omega-3-enriched broiler meat: 3. Fatty acid distribution between triacylglycerol and phospholipid classes. *Poultry Science*, 88(8), 1740-1754.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- Brenes, A., Centeno, C., Viveros, A., & Arija, I. (2008). Effect of enzyme addition on the nutritive value of high oleic acid sunflower seeds in chicken diets. *Poultry Science*, 87, 2300-2310.
- Bye, R., Linares, E., & Lentz, D. (2009). México: centro de origen de la domesticación del girasol. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 12(1), 5-12.
- Cavitt, L., Meullenet, J., Xiong, R., & Owens, C. (2005). The relationship of razor blade shear, Allo-Kramer shear, Warner-Bratzler shear and sensory tests to changes in tenderness of broiler breast fillets. *Journal of Muscle Foods*, 16, 223-242.

- Crespo, N., & Esteve-García, E. (2001). Dietary fatty acid profile modifies abdominal fat deposition in broiler chickens. *Poultry Science*, *80*, 71-78.
- Crespo, N., & Esteve-García, E. (2002). Nutrient and fatty acid deposition in broilers fed different dietary fatty acid profiles. *Poultry Science*, *81*, 1533-1542.
- Delles, R., Xiong, Y., True, A., Ao, T., & Dawson, K. (2014). Dietary antioxidant supplementation enhances lipid and protein oxidative stability of chicken broiler meat through promotion of antioxidant enzyme activity. *Poultry Science*, *93*, 1561-1570.
- Guyon, C., Meyner, A., & Lamballerie, M. (2016). Protein and lipid oxidation in meat: A review with emphasis on high-pressure treatment. *Trends in Food Science and Technology*, *50*, 131-143.
- Honikel, K. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, *49*, 447-457.
- Jang, A., Liu, X., Shin, M., Lee, B., Lee, S., Lee, J., & Jo, C. (2008). Antioxidative potential of raw breast meat from broiler chicks fed a dietary medicinal herb extract mix. *Poultry Science*, *87*, 2382-2389.
- Jiang, H., Yoon, S., Zhuang, H., Wang, W., Lawrence, K., & Yang, Y. (2018). Tenderness classification of fresh broiler breast fillets using visible and near-infrared hyperspectral imaging. *Meat Science*, *139*, 82-90.
- Kalakuntla, S., Nagireddy, N., Panda, A., Jatho, N., Thirunahari, R., & Vangoor, R. (2017). Effect of dietary incorporation of n-3 polyunsaturated fatty acids rich oil sources on fatty acid profile, keeping quality and sensory attributes of broiler chicken meat. *Animal Nutrition*(3), 386-391.
- Kamal-Eldin, A., & Pokorny, J. (2005). *Analysis of Lipid Oxidation*. New York: AOCS.
- Leeson, S., & Summers, J. (2001). *Nutrition of the chicken* (4th ed.). Ontario, Canadá: University books.
- Lentz, D., Bye, R., & Sánchez-Cordero, V. (2008). Ecological niche modeling and distribution of wild sunflower (*helianthus annuus* l.) in México. *International Journal of Plant Sciences*, *169*(4), 541-549.
- Newman, E., Bryden, W., Fleck, E., Ashes, J., Buttemer, W., Storlien, L., & Downing, J. (2002). Dietary n-3 and n-6 fatty acids alter avian metabolism: metabolism and abdominal fat deposition. *British Journal of Nutrition*, *88*, 11-18.
- NRC. (1994). *Nutrient Requirements of Poultry* (9th ed.). Washington, DC.: National Academy Press.
- Oda, S., Nepomuceno, A., Ledur, M., Oliveira, M., Marin, S., Ida, E., & Shimokomaki, M. (2009). Quantitative differential expression of alpha and beta ryanodine receptor genes in PSE

- (pale, soft, exudative) meat from two chicken lines: broiler and layer. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, 52, 1519-1525.
- Pajak, P., Socha, R., Galkowska, D., Roznowski, J., & Fortuna, T. (2014). Phenolic profile and antioxidant activity in selected seeds and sprouts. *Food Chemistry*, 143, 300-306.
- Palmquist, D., & Jenkins, T. (2003). Challenges with fats and fatty acid methods. *Journal of Animal Science*, 81(12), 3250 - 3254.
- Rama R., S., Raju, M., Panda, A., & Reddy, M. (2006). Sunflower seed meal as a substitute for soybean meal in commercial broiler chicken diets. *British Poultry Science*, 47(5), 592-598.
- Ravindran, V., Tancharoenrat, P., Zaefarian, F., & Ravindran, G. (2015). Fats in poultry nutrition: digestive physiology and factors influencing their utilisation. *Animal Feed Science and Technology*, 213, 1-21.
- Sacchetti, G., Di Mattia, C., Pittia, P., & Martino, G. (2008). Application of a radical scavenging activity test to measure the total antioxidant activity of poultry meat. *Meat Science*, 80, 1081-1085.
- SAGARPA. (11 de Septiembre de 2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017 - 2030*. Recuperado el 08 de Mayo de 2018, de <https://www.gob.mx/sagarpa/documentos/planeacion-agricola-nacional-2017-2030>
- Salas, J., Bootello, M., & Garcés, R. (2015). Food uses of sunflower oils. En E. Martínez-Force, N. Dunford, & J. Salas (Edits.), *Sunflower. Chemistry, production, processing and utilization* (págs. 441-464). Sevilla, España: AOCS PRESS.
- Sampaio, G., Saldanha, T., Soares, R., & Torres, E. (2012). Effect of natural antioxidant combinations on lipid oxidation in cooked chicken meat during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 135, 1383-1390.
- San Juan, & L.D. Villamide, M. J. (2001). Nutritional evaluation of sunflower products for poultry as affected by the oil extraction process. *Poultry Science*, 80, 431-437.
- SAS. (2004). *SAS/STAT User's Guide (Release 9.1)*. Cary NC, USA. . Carolina. USA: SAS Institute Inc. Cary North .
- Serpen, A., Gökmen, V., & Fogliano, V. (2011). Total antioxidant capacities of raw and cooked meats. *Meat Science*, 90, 60-65.
- Smink, W., Gerrits, W., Hovenier, R., Geelen, M., Verstegen, M., & Beynen, A. (2010). Effect of dietary fat sources on fatty acid deposition and lipid metabolism in broiler chickens. *Poultry Science*, 89, 2432-2440.
- Soares, A., Marchi, D., Matsushita, M., Guarnieri, P., Droval, A., Ida, E., & Shimokomaki, M. (2009). Lipid oxidation and fatty acid profile related to broiler breast meat color abnormalities. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 52(6), 1513-1518.

- Velasco, L., & Ruiz-Méndez, M. (2015). Sunflower Oil Minor Constituents. En E. Martínez-Force, N. Turgut Dunford, & J. Salas (Edits.), *Sunflower. Chemistry, Production, Processing, and Utilization* (págs. 297-329). Illinois: AOCS Press.
- Villaverde, C., Baucells, M., Cortinas, L., & Barroeta, A. (2006). Effects of dietary concentration and degree of polyunsaturation of dietary fat on endogenous synthesis and deposition of fatty acids in chickens. *British Poultry Science*, 47(2), 173-179.
- Wattanachant, S., Benjakul, S., & Ledward, D. (2004). Composition, color, and texture of the indigenous and broiler chicken muscles. *Poultry Science*, 83, 123-128.
- Weisz, G., Carle, R., & Kammerer, D. (2012). Sustainable sunflower processing-II. Recovery of phenolic compounds as a by-product of sunflower protein extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 17, 169-179.
- Wideman, N., O'bryan, C., & Crandall, P. (2016). Factors affecting poultry meat colour consumer preferences. *World's Poultry Science Journal*, 72, 353-366.
- Wildermuth, S., Young, E., & Were, L. (2016). Chlorogenic acid oxidation and its reaction sunflower proteins to form green-colored complexes. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 15, 829-843.
- Wood, J., & Enser, M. (2017). Manipulating the Fatty acid composition of meat to improve nutritional value and meat quality. *News Aspects of meat quality*, 501-535.
- Wood, J., Richardson, R., Nute, G., Fisher, A., Campo, M., Kasapidou, E.,...Enser, M. (2003). Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science*(66), 21-32.
- Yu, L., Lee, E., Jeong, J., Paik, H., Choi, J., & Kim, C. (2004). Effects of thawing temperature on the physicochemical properties of pre-rigor frozen chicken breast and leg muscles. *Meat Science*, 71, 375-382.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

La semilla de girasol puede ser cultivo prolífico en México, sobre todo en zonas áridas y semi-áridas, lo que facilitaría su disponibilidad para utilizarla en la nutrición de pollos de engorda. Esta alternativa de alimentación podría ayudar a optimizar la producción avícola en las comunidades rurales y coadyuvaría a mejorar la seguridad alimentaria y nutricional de las personas más vulnerables. En términos productivos, para mejorar la digestibilidad de la semilla de girasol en pollos de engorda, se requiere descascarillarla, complementar las dietas con aminoácidos sintéticos y extraer un porcentaje de aceite. El aceite puede ser aprovechado para el consumo humano. La semilla de girasol puede reemplazar a la pasta y aceite de soya de las dietas de pollos de engorda, sin comprometer el comportamiento productivo animal. Al respecto, actualmente surge también la necesidad de evaluar el efecto de la semilla de girasol descascarillada en el comportamiento productivo y en la calidad de la carne de aves criollas mexicanas.

Por otro lado, es factible sustituir 10 % de pasta de soya y completamente el aceite de soya por semilla de girasol descascarillada, en las dietas para pollos de engorda, porque se comprobó que las características de calidad de la carne de pechuga de pollo son equivalentes a las obtenidas a través de una dieta convencional, basada en sorgo-pasta de soya. Sin embargo, se necesita más trabajo de investigación para evaluar niveles de semilla de girasol descascarillada que rebasen los aquí estudiados. Finalmente, es recomendable evaluar el efecto de los compuestos fenólicos que contiene la semilla de girasol en los procesos de oxidación lipídica y su influencia en el color de la carne.