



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

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

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA METABOLIZABLE DE SEMILLA DE GIRASOL MOLIDO Y TAMIZADO Y SU UTILIZACIÓN COMO FUENTE DE PROTEÍNA EN DIETA PARA GALLINAS DE POSTURA

DANIEL SALVADOR LÓPEZ VELASCO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2017



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe, "**DANIEL SALVADOR LÓPEZ VELASCO**", 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. ARTURO PRO MARTÍNEZ**", por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis "**DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA METABOLIZABLE DE SEMILLA DE GIRASOL MOLIDO Y TAMIZADO Y SU UTILIZACIÓN COMO FUENTE DE PROTEÍNA EN DIETA PARA GALLINAS DE POSTURA**", 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.

Campus Montecillo, a 7 de noviembre de 2017.


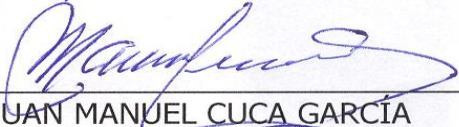


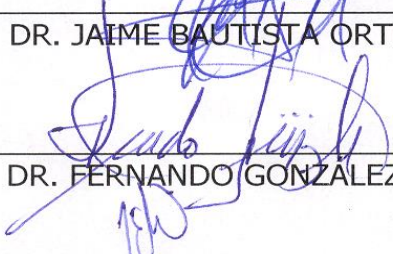
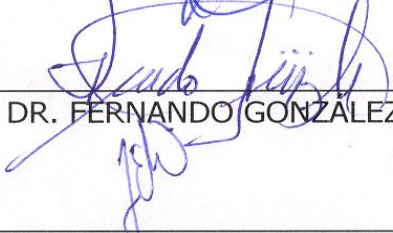
Daniel Salvador López Velasco

Vo. Bo. Dr. Arturo Pro Martínez

La presente tesis titulada: "DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA METABOLIZABLE DE SEMILLA DE GIRASOL MOLIDO Y TAMIZADO Y SU UTILIZACIÓN COMO FUENTE DE PROTEÍNA EN DIETA PARA GALLINAS DE POSTURA" realizada por el alumno: DANIEL SALVADOR LÓPEZ VELASCO bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO	 _____
	DR. ARTURO PRO MARTÍNEZ
ASESOR	 _____
	DR. JUAN MANUEL CUCA GARCÍA
ASESOR	 _____
	DR. JAIME GALLEGOS SÁNCHEZ
ASESOR	 _____
	DR. JAIME BAUTISTA ORTEGA
ASESOR	 _____
	DR. FERNANDO GONZÁLEZ CERÓN
ASESORA	 _____
	DRA. ELVIA LÓPEZ PÉREZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, noviembre de 2017

DETERMINATION OF METABOLIZABLE ENERGY OF SIEVED SUNFLOWER SEED AND HIS USE AS SOURCE OF PROTEIN IN DIET FOR LAYING HENS

Daniel Salvador López Velasco, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017

ABSTRACT

Two experiments were carried out to evaluate soybean meal (SM) substitution by sieved sunflower seed (SSS) in laying hen diets. In experiment 1, thirty 30-d-old male broilers Ross-308 were used to estimate metabolizable energy nitrogen-corrected (AMEn) in SSS. In experiment 2, sixty Bovans-White hens were randomized into two treatments. The treatments were: SM diet [17% crude protein (CP), 2800 kcal/kg AMEn and 2.53% crude fiber (CF)] and SSP diet (17% CP, 3416 kcal/kg AMEn and 6.26% CF). Egg quality, digestive system development, apparent ileal digestibility of dry matter (DM), CP and gross energy, and productive variables were evaluated. The SSS contained 4436.1 kcal/kg AMEn. Hens fed SM diet showed better ($P < 0.05$) feed intake, egg production, egg weight, egg mass and feed conversion. The SSS diet increased ($P < 0.05$) relative gizzard weight, and small-intestine and cecum lengths. The ileal digestibility of DM and CP was higher ($P < 0.05$) in SM diet; while that of energy was higher ($P < 0.05$) in the SSS diet. In conclusion, SM substitution by SSS produced similar effects on egg quality; however, reduced productive variables. More research is needed to find an optimal level of SSS to improve productive performance.

Keywords: Sunflower seed, productive performance, egg quality, metabolizable energy, laying hens.

DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA METABOLIZABLE DE SEMILLA DE GIRASOL MOLIDO Y TAMIZADO Y SU UTILIZACIÓN COMO FUENTE DE PROTEÍNA EN DIETA PARA GALLINAS DE POSTURA

Daniel Salvador López Velasco, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017

RESUMEN

Se realizaron dos experimentos para evaluar la sustitución de la pasta de soya (PS) por semilla de girasol integral molida y tamizada (SGIMT) en dietas de gallinas de postura. En el experimento 1, se utilizaron 30 pollos machos de 30 días de edad Ross-308, para determinar la energía metabolizable aparente corregida por nitrógeno (EMAn) en la SGIMT. En el experimento 2, se utilizaron 60 gallinas Bovans White distribuidas aleatoriamente en dos tratamientos. Los tratamientos fueron: dieta PS o testigo [17% de proteína cruda (PC), 2800 kcal/kg de EMAn y 2.53% de fibra cruda (FC)] y dieta SGIMT (17% de PC, 3416 kcal/kg de EMAn y 6.26% de FC). Se evaluaron, la calidad del huevo, el desarrollo del sistema digestivo, la digestibilidad ileal aparente de la materia seca (MS), la PC y la energía bruta, y las variables productivas. La SGIMT contenía 4436.1 kcal/kg de EMAn. Las gallinas alimentadas con la dieta PS mostraron un mejor ($P < 0.05$) consumo de alimento, porcentaje de postura, peso de huevo, masa de huevo y conversión alimenticia. La dieta SGIMT aumentó ($P < 0.05$) el peso relativo de la molleja y la longitud del intestino delgado y del ciego. La digestibilidad ileal aparente de la MS y PC fue mayor ($P < 0.05$) en la dieta PS; mientras que el de la energía fue mayor ($P < 0.05$) en la dieta SGIMT. En conclusión, la sustitución de PS por SGIMT produjo efectos similares en la calidad del huevo; sin embargo, redujo las variables productivas. Se necesita más investigación para encontrar un nivel óptimo de sustitución de SGIMT para mejorar las variables productivas.

Palabras clave: semilla de girasol, variables productivas, calidad de huevo, energía metabolizable, gallinas de postura.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la vida que he tenido hasta ahora, la oportunidad seguir siendo parte de ella y por la familia que me ha apoyado incondicionalmente.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, por el apoyo otorgado y la oportunidad de seguir con los sueños de superarme personal y académicamente.

Al Colegio de Postgraduados por recibirme con las puertas abiertas y brindarme los medios necesario para que sean realizados los trabajos propuestos en esta instancia.

A los miembros del jurado y consejo particular que me apoyo durante el transcurso de mis estudios en esta institución, Dr. Arturo Pro Martínez, Dr. Eliseo Sosa Montes, Dr. Juan Manuel Cuca García, Dr. Fernando González Cerón, Dr. Jaime Gallegos Sánchez, Dr. Jaime Bautista Ortega, Dra. Elvia López Pérez, Dr. Omar Hernández Mendo.

A cada uno de los compañeros que me apoyaron durante la fase de campo, gabinete y moralmente , a cada uno de ellos gracias, Artemio, Fredy, Francisco, Anabel, Cárcamo, Frinet, Diego, Yolanda, Hugo, Uriel, Guadalupe, Gerardo, Benito y otros más.

DEDICATORIA

A Dios, por ser parte importante en la familia.

A mi hija Marjorie Daniela López Montalvo, el pequeño motor que impulsa mis días.

A mi esposa Graciela Montalvo Montalvo, por ser pieza clave para poder lograr cada uno de nuestros sueños compartidos.

A la familia que me vio nacer y crecer, a cada uno de ellos dedico cada uno de mis logros.

Padre: Andrés Simón López López

Madre: Isabel Velasco López

Hermanos: Andrés López Velasco, Florentina M. López Velasco, Adelina A. López Velasco, Jesús López Velasco e Isabel López Velasco.

A cada uno de ellos, dedico un logro más en esta etapa de vida...

CONTENIDO

ABSTRACT	iv
RESUMEN	v
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
CHAPTER 1. INTRODUCTION.....	1
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1. Períodos fenológicos.....	2
2.2. Descripción de la planta.....	4
2.3. Requerimientos edafocimáticos	6
2.4. Prácticas agronómicas.....	7
2.5. Plagas y enfermedades.....	9
2.6. Importancia del girasol y su producción mundial.....	11
2.7. Producción nacional de girasol	12
2.8. El girasol en la alimentación de las aves	13
2.9. REFERENCIAS.....	16
CAPÍTULO 3. OBJETIVOS	19
CAPÍTULO 4. HIPÓTESIS	19
CHAPTER 5. INCLUSION OF WHOLE GROUND SUNFLOWER SEED IN DIETS FOR LAYING HENS	20
5.1. MATERIALS AND METHODS.....	20
5.1.1. Experiment I.....	20
5.1.2. Experiment II	22
5.1.3. Statistical analysis	25
5.2. RESULTS	26
5.2.1. Experiment I.....	26
5.2.2. Experiment II	26
5.3. DISCUSSION	33
5.4. CONCLUSIONS	36
5.5. REFERENCES	37
CAPÍTULO 6. ANEXOS	41

LISTA DE CUADROS

CAPITULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

Cuadro 1. Taxonomía de la especie <i>Helianthus annuus</i> L.	2
Cuadro 2. Principales plagas en el cultivo de girasol.	9
Cuadro 3. Perfil de ácidos grasos (%) del aceite de semilla de girasol.....	11
Cuadro 4. Producción mundial de girasol durante el periodo de 2010-2014 (miles de toneladas).	12
Cuadro 5. Producción nacional de girasol durante el periodo de 2010-2016 (toneladas). ...	12
Cuadro 6. Composición proximal y Van-Soest de la semilla de girasol integral y de soya. 14	
Cuadro 7. Composición proximal y Van-Soest de la pasta de girasol y la pasta de soya. ...	14
Cuadro 8. Composición proximal y Van-Soest de la cascarilla de girasol integral y la cascarilla de soya.....	15

CHAPTER 5. INCLUSION OF WHOLE GROUND SUNFLOWER SEED IN DIETS FOR LAYING HENS

Table 1. Composition (%) of basal diet used for estimation of apparent metabolizable energy nitrogen-corrected in broilers of 38-d-old.	21
Table 2. Composition (%) of experimental diets fed to 23-wk-old Bovans-White laying hens.....	23
Table 3. Proximate composition, apparent metabolizable energy nitrogen-corrected and amino acid profile of sieved sunflower seed (SSS).....	26
Table 4. Egg quality variables of Bovans-White laying hens fed with SM or SSS diets....	27
Table 5. Productive variables of Bovans-White laying hens fed with SM or SSS diets, during 20 wk.....	30
Table 6. Relative weight (%) and length of the different sections of the digestive system and accessory organs of Bovans-White laying hens fed with SM or SSS diets.....	31
Table 7. Apparent ileal digestibility (%) of SM and SSS diets fed to Bovans-White laying hens.....	32
Table 8. Proximal composition of the whole sunflower seed (<i>Heliantus annuus</i> L. var. Victoria).	41
Table 9. Proximal composition of sunflower husk.....	41

LISTA DE FIGURAS

CAPITULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- Figura 1. Períodos fenológicos del ciclo del cultivo de girasol en los que se definen los componentes de rendimiento y la calidad del aceite. Las líneas negras indican el período crítico para cada componente de rendimiento y calidad de aceite (Schneiter y Miller 1981; Figura adaptada de Albeiro 2015)..... 3
- Figura 2. Tiempo (días) de la siembra a la madurez fisiológica, para los ciclos de cultivo de girasol corto, medio y largo en fechas de siembra temprana, media y tardía en Argentina (Pedraza et al. 2000; Figura adaptado de Albeiro 2015)..... 4

CHAPTER 3. INCLUSION OF WHOLE GROUND SUNFLOWER SEED IN DIETS FOR LAYING HENS

- Figure 1. Feed intake during 20 weeks of experimentation of Bovans-White laying hens fed with SM or SSS diets. ^{ab}Different letters within each week are different, $P < 0.05$. SM = Soybean meal; SSS = Sieved sunflower seed. 28
- Figure 2. Egg production during 20 weeks of experimentation of Bovans-White laying hens fed with SM or SSS diets. ^{ab}Different letters within each week are different, $P < 0.05$. SM = Soybean meal; SSS = Sieved sunflower seed. 28
- Figure 3. Egg weight during 20 weeks of experimentation of Bovans-White laying hens fed with SM or SSS diets. ^{ab}Different letters within each week are different, $P < 0.05$. SM = Soybean meal; SSS = Sieved sunflower seed. 29
- Figure 4. Egg mass during 20 weeks of experimentation of Bovans-White laying hens fed with SM or SSS diets. ^{ab}Different letters within each week are different, $P < 0.05$. SM = Soybean meal; SSS = Sieved sunflower seed. 29
- Figure 5. Feed conversion ratio during 20 weeks of experimentation of Bovans-White laying hens fed SM or SSS diets. ^{ab}Different letters within each week are different, $P < 0.05$. SM = Soybean meal; SSS = Sieved sunflower seed. 30

CHAPTER 1. INTRODUCTION

Protein is a very expensive ingredient (Cuca-García et al. 2009), since is mostly imported. Mexico buys 95% of soybean seed (Echanove 2016), for this reason it is necessary to look for alternative sources of protein locally produced to substitute soybean meal. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) is a crop that has a great environmental adaptation worldwide (Berglund 2007; FAOSTAT 2017). In Mexico it is mainly produced in Zacatecas, San Luis Potosí, Jalisco, Durango and Guanajuato (SIAP 2017). This crop has a short vegetative period (120 days) and has a wide adaptation to different climates and soils. Small farmers grow it rustically and harvest the seeds as own food and for raising domestic animals (Gallegos & Velazco 1970; Escalante & Rodríguez 2008). However, the main limitation of whole sunflower seed is its high fiber and lignin contents (Blas et al. 2010). Whole sunflower seed in diets (25% inclusion) for chickens from 4 to 21-d-old reduce weight gain and feed intake, and increase feed conversion (Brenes et al. 2008). Controversially, Arija et al. (2000) found that the use of whole sunflower seed in diets (17% inclusion) for chickens from 1 to 21-d-old increases weight gain, feed intake and feed conversion. However, it was not found information about substitution of soybean meal (SM) by sieved sunflower seed (SSS) in hen diets. It was hypothesized that the total substitution of SM by SSS in the diet could improve egg quality without affecting productive variables in laying hens. Therefore, the objective of this research was to evaluate the effect of SM substitution by SSS on egg quality (shell resistance, shell thickness, albumin height, Haugh units, lightness, redness and yellowness) and productive variables (feed intake, egg production, feed conversion, egg weight and egg mass) in laying hens.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

El girasol *Helianthus annuus* L., es originario del norte de México y sur de Estados Unidos, donde más de 40 especies del mismo género crecen de manera silvestres. En los años 1960, los programas de cultivo y desarrollo del girasol comenzaron a desarrollar variedades híbridas (Heiser 1978; Bye et al. 2009; Vear 2011).

Cuadro 1. Taxonomía de la especie *Helianthus annuus* L.

Taxonomía	
Reino:	<i>Plantae</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida</i>
Orden:	<i>Asterales</i>
Familia:	<i>Asteraceae</i>
Subfamilia:	<i>Asteroideae</i>
Tribu:	<i>Heliantheae</i>
Subtribu:	<i>Helianthinae</i>
Género:	<i>Helianthus</i>
Especie:	<i>Helianthus annuus</i> L.

2.1. Períodos fenológicos

Se describen los periodos fenológicos de acuerdo a la clasificación de Schneiter y Miller (1981):

Aparición vegetativa: VE. Una vez germinada la semilla, la planta muestra la primera hoja más allá de los cotiledones, la planta es menor de 4 cm de largo (Figura 1).

Etapas vegetativas: V. Estas etapas se determinan en la planta contando el número de hojas verdaderas en al menos 4 cm de longitud, comenzando como V1, V2, V3, V4, etc. Si hay senescencia de las hojas inferiores, se cuentan las cicatrices foliares (excluyendo donde se unieron los cotiledones) para determinar la etapa adecuada (Figura 1).

Etapas reproductivas: R1: el botón terminal forma una cabeza floral pequeña en lugar de las hojas. Cuando se ve directamente desde arriba, las brácteas inmaduras forman una apariencia estrellada puntiaguda. R2: la yema inmadura se alarga 0.5 a 2 cm por encima de la hoja más cercana unido al vástago. Hacer caso omiso de las hojas unidas directamente a

han creado variedades híbridas, consideradas de ciclo corto, medio y largo (Pedraza et al. 2000; Vear 2011).

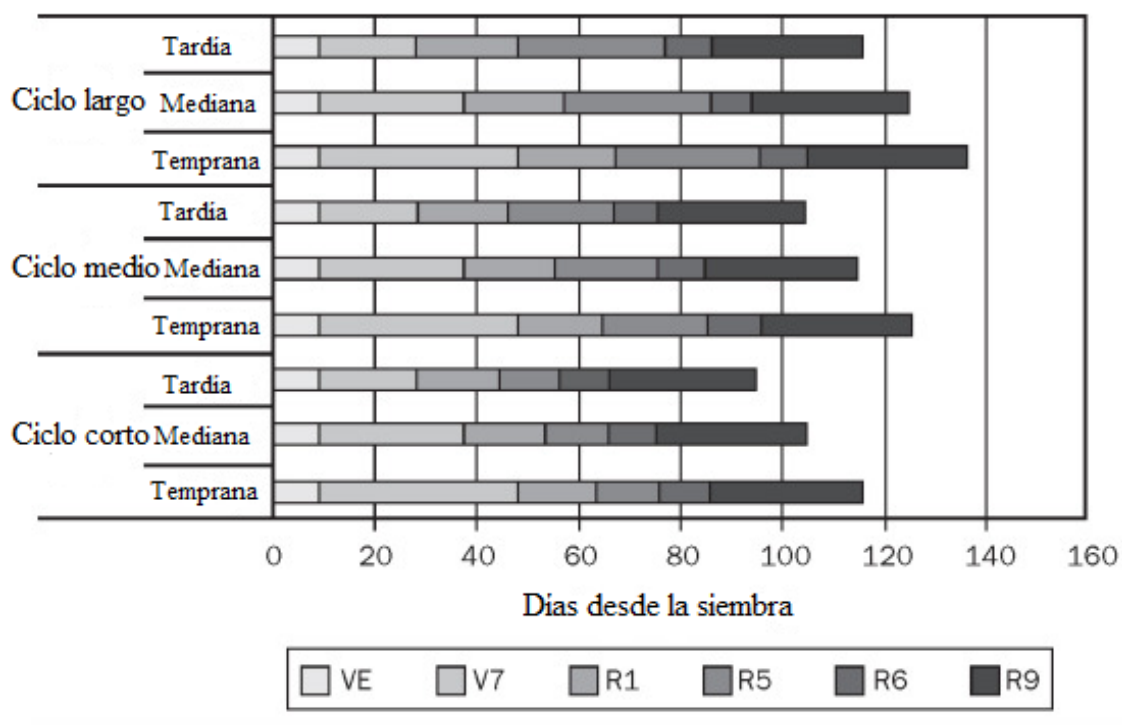


Figura 2. Tiempo (días) de la siembra a la madurez fisiológica, para los ciclos de cultivo de girasol corto, medio y largo en fechas de siembra temprana, media y tardía en Argentina (Pedraza et al. 2000; Figura adaptado de Albeiro 2015).

2.2. Descripción de la planta

Raíz: la raíz es de tipo pivotante, en la fase de aparición vegetativa (VE) la raíz tiene un rápido desarrollo, alcanza de 4 a 8 cm de largo. En la fase de 4 a 5 pares de hojas puede alcanzar una profundidad de 50 a 70 cm y durante la floración se da el máximo crecimiento, puede alcanzar 4 metros, dependiendo de las condiciones, si hay sequía llega a mayor profundidad, si hay humedad se acerca a la superficie del suelo. La longitud de la raíz sobrepasa la altura del tallo (Aguirrezábal et al. 2001; Martínez et al. 2017).

Tallo: posee un tallo único, la parte externa es rugosa y vellosa (varía de acuerdo a la variedad), la parte interna está formado por un tejido conocido como esclerenquima, con alta capacidad de almacenamiento de agua y nutrientes. El diámetro varía de 2 a 6 cm, con mayor grosor en la parte inferior del tallo. La altura del tallo puede alcanzar hasta 220 cm

de altura. Sin embargo, la altura ideal es de alrededor de los 170 y 200 cm, para favorecer la cosecha (Aguirrezábal et al. 2001; Martínez et al. 2017).

Hojas: las hojas de los dos o tres primeros pares de la base del tallo son opuestas y las demás alternas, son trinervadas, pecioladas de formas variables, con vellosidades ásperas en el haz y el envés. El número de hojas varía entre 12 y 40, dependiendo de la variedad y las condiciones ambientales (Aguirrezábal et al. 2001; Martínez et al. 2017).

Inflorescencia: llamada capítulo, es la estructura reproductora donde se forman los granos o aquenios, está conformada por flores que varían entre 500 y 1500. Está compuesta por un receptáculo carnoso cóncavo o convexo en donde se insertan las flores en la cara superior y las brácteas en el borde. Presenta dos tipos de flores:

- a) Flores liguladas o estériles. Son estériles y se compone de un ovario, un cáliz rudimentario y una corola semejante a un pétalo, que miden de 6 a 10 cm de longitud y de 2 a 3 cm de ancho, se ubican en la periferia del capítulo, su coloración es muy llamativa, que permite atraer a los insectos polinizadores.
- b) Flores tubulosas o fértiles. Son flores fértiles, se compone de cáliz, corola, androceo y gineceo; se ubican en el centro del capítulo y se distribuyen concéntricamente hacia el punto central, cada una posee un ovario y un sólo óvulo, que después de la fecundación dá origen al fruto (Aguirrezábal et al. 2001; Martínez et al. 2017).

El girasol es una planta alógama y debido a la diferencia en que ocurre la maduración de los estambres y los pistilos, se produce su autoincompatibilidad, es decir que el polen casi nunca poliniza el capítulo de donde proviene. Esto origina una polinización cruzada, normalmente entomófila, que realizan principalmente las abejas, los cuales son atraídos por la coloración y el néctar de las flores. La mayor cantidad de néctar se produce cuando la temperatura nocturna no baja de 18 °C y cuando la diurna se mantiene alrededor de 25 °C (Heiser 1978; Aguirrezábal et al. 2001; Martínez et al. 2017).

Fruto: una vez fecundada la flor, el ovario se convierte en fruto y el ovulo en semilla. Es un fruto seco e indehisciente (aquenio), se compone por el pericarpio (cáscara) y la semilla (almendra). El pericarpio, es seco, fibroso y está separado de la semilla a la cual envuelve. El color puede ser blanco, negro o una mezcla de ambos en forma estriada. En la semilla se

encuentra almacenado el aceite, el cual es utilizado por la planta como reserva de energía para la germinación de la semilla. Por lo general, las semillas de variedades aceiteras son negras y tiene aproximadamente un 25% de cascara. La semilla mide de 4 a 6 mm de ancho por 8 a 12 mm de largo. El contenido de aceite oscila entre 40 y 50% según la variedad y las condiciones del cultivo. El tamaño de la semilla varía debido a la posición que tengan dentro del capítulo, las grandes se encuentran en la periferia y las pequeñas en el centro. Generalmente, las semillas banas se encuentran en el centro ya que no presenta formación o llenado de la semilla. El peso de 1,000 semillas varía entre 40 y 80 gramos (Aguirrezábal et al. 2001; Martínez et al. 2017).

2.3. Requerimientos edafocimáticos

Suelos: para la siembra de girasol, se recomiendan suelos que tengan de moderada a alta fertilidad, suelos arcillo-arenoso y ricos en materia orgánica, es importante que el suelo tenga un buen drenaje y la capa freática se encuentre a poca profundidad. El girasol es poco tolerante a la salinidad, provocando que el contenido de aceite disminuya. En suelos neutros o alcalinos la producción de girasol no se ve afectada (se consideran ideales), la planta no presentan problemas nutrimentales (Aguirrezábal et al. 2001; Martínez et al. 2017).

Temperatura: Tiene un amplio margen en temperatura de adaptación, va desde 13-17 a 25-30 °C, si la temperatura es alta durante la floración, se afecta el llenado del grano, que representaría una pérdida importante en la producción. La temperatura del suelo para la siembra varía entre 8 y 10 °C (Aguirrezábal et al. 2001; Martínez et al. 2017).

Fotoperiodo y luz: La aparición de hojas, la fecha de floración y la duración de los períodos fenológicos de crecimiento y desarrollo son atribuidos al fotoperiodo. Durante la fase reproductiva el fotoperiodo deja de tener influencia, pero, la intensidad y la calidad de la luz son las más importantes. El sombreado de plantas jóvenes produce un alargamiento del tallo y reduce la superficie foliar (Aguirrezábal et al. 2001; Martínez et al. 2017).

Humedad: El agua es importante en la producción de girasol, el exceso de humedad es perjudicial, puede aumentar las probabilidades de acame y la incidencia de enfermedades.

Los requerimientos de agua son de 600 a 650 mm durante todo el ciclo vegetativo (Aguirrezábal et al. 2001; Martínez et al. 2017).

2.4. Prácticas agronómicas

Las prácticas agronómicas son todas aquellas labores o estrategias en las etapas del cultivo que contribuyen al desarrollo y puede proporcionar un alto rendimiento de aguenuos y aceite en el grano. Para el inicio de la siembra se deben considerar los siguientes aspectos: preparación de suelos, densidades, épocas de siembra, fertilización, control de plagas, enfermedades, malezas y cosecha (Aguirrezábal et al. 2001; Martínez et al. 2017).

Preparación de suelos: una buena preparación del suelo, debe proporcionar a la semilla una óptima cama para su germinación y un adecuado anclaje de las raíces. La tolerancia del cultivo a la sequía se basa en el desarrollo de un sistema de raíces profundas. A mayor profundidad de suelos mayor es la posibilidad de obtener altos rendimientos. No es recomendable cultivar en suelos con espesores inferiores a 40 cm. Se recomienda que el barbecho que se extienda por los menos unos 45 días antes de la siembra para permitir una adecuada acumulación de agua y oferta de nutrimentos (Aguirrezábal et al. 2001; Gómez 2011; Martínez et al. 2017).

Siembra: para su desarrollo, es importante una adecuada distribución de las semillas en el terreno y colocarla en contacto con la humedad del suelo, para que inicie la fase de germinación como el “hinchado” o inhibición de la semilla, se debe proporcionar humedad a la plántula, ya que en esta etapa no posee un adecuado sistema de raíces. Se puede realizar de dos formas: manual y mecánica. En México, en general es conveniente la siembra a primeras horas del día, tomando en cuenta la temperatura en el suelo (8 a 10 °C), para lograr un cultivo en óptimas condiciones (radiación, oferta de agua y nutrientes) durante los 60 días alrededor de floración (Aguirrezábal et al. 2001; Gómez 2011; Martínez et al. 2017).

Densidad de siembra: La densidad depende de la precipitación, fertilidad del suelo, variedad del cultivo y distancia entre surcos. En zonas áridas se recomienda aumentar la distancia entre surcos (80-100 cm) para garantizar el agua disponible durante los periodos de floración y maduración, con una población de 45,000-50,000 plantas por hectárea. Con

sistema de riego la densidad de siembra puede ser hasta 80,000-100,000 plantas por hectárea. Poblaciones mayores tienden a aumentar la competencia entre plantas y favorecer el acame. Por otro lado, poblaciones menores pueden producir un aumento del diámetro de capítulo y el peso de los aquenios, lo cual compensa el menor número de plantas (Aguirrezábal et al. 2001; Gómez 2011; Martínez et al. 2017).

Época de siembra: uno de los aspectos a tomar en cuenta para realizar la siembra, es la fecha. En condiciones de riego se puede realizar en primavera y en condiciones de temporal en verano, al inicio de la temporada de lluvias para que el girasol pueda disponer de agua suficiente para su desarrollo y durante la floración.

Fertilización: El cultivo de girasol no es muy exigente a la fertilización, debido a la elevada capacidad del sistema radicular para extraer nutrimentos. Las dosis de fertilización se ajustarán en función de los elementos nutritivos del suelo y del régimen de precipitaciones. La absorción de nutrientes se concentra en los primeros estadios de desarrollo de la planta. El girasol es un cultivo muy sensible a la toxicidad por aluminio, dificultando su desarrollo radicular y como consecuencia en la parte aérea aparecen síntomas de estrés hídrico o carencia de otros nutrimentos como fósforo o magnesio (Aguirrezábal et al. 2001; Gómez 2011; Martínez et al. 2017).

Cosecha: la cosecha se realizará cuando la parte anterior del capítulo cambie de coloración, primero de verde a amarillo y finalmente a marrón, esto será después de la caída de las flores de la periferia, que indicará una disminución en el crecimiento de la planta. El principal problema de la cosecha es el contenido de humedad, la semilla puede tener un contenido de 14% de humedad, pero los capítulos se encuentran con 60% o más de humedad, lo que dificulta el trabajo de la cosecha, ya que, los granos se humedecen y no pueden ser limpiados correctamente. Si se espera que los capítulos pierdan humedad en el campo, se puede perder gran parte de la producción por acame de la planta o ataque de los pájaros (pérdida de capítulos y desgrane). Se recomienda hacer la cosecha cuando la semilla tenga entre 14 y 16% de humedad, momento que un 80 a 90% de los capítulos se encuentran de color amarillo pardo (Aguirrezábal et al. 2001; Gómez 2011; Martínez et al. 2017).

2.5. Plagas y enfermedades

Plagas del girasol: Debido a las diferentes regiones en donde se desarrolla el girasol hay una gran diversidad de insectos que se encuentra asociados al cultivo. La diversidad, cantidad de insectos y plagas se incrementan a medida que se incrementa la superficie sembrada. Se recomienda revisar por lo menos cinco sitios por cada hectárea para determinar la magnitud y distribución de la infestación (Gallegos y Velazco 1970; Ortegón 1993).

Cuadro 2. Principales plagas en el cultivo de girasol.

Nombre común	Nombre científico
Gusano trozador negro	<i>Agrotis ipsilon</i>
Gusano de alambre	<i>Melatus sp.</i>
Picudo cortador	<i>Heplorhynchites aeneus</i>
Picudo de tallo y raíz	<i>Rhynchites mexicanus</i>
Gusano de espigas	<i>Vanessa cardui</i>
Escarabajo del girasol	<i>Zygogramma esclamationis</i>
Frailecillo	<i>Macroductylus mexicanus</i>
Mayate	<i>Euphoria basalis</i>
Palomilla del capítulo	<i>H. electellum</i>
Gusano soldado	<i>Spodoptera sp.</i>
Gusano minador	<i>Liriomyza sp.</i>
Palomilla de la harina de maíz	<i>Plodia interpunctella</i>
Gorgojo aserrado de los granos	<i>Oryzaephilus surinamensis</i>
Gorgojo rojo de la harina	<i>Tribolium castaneum</i>
Pájaros	

Fuente: Gallegos y Velazco 1970; Ortegón 1993.

Enfermedades del girasol: Actualmente se conocen más de 35 enfermedades en el cultivo de girasol, la mayoría causadas por hongos; sin embargo, la importancia dependen de la variedad, la temporada y la región donde se cultive el girasol (Gallegos y Velazco 1970; Ortegón 1993).

Mancha por alternaria (*Alternaria helianthi*): conocida como tizón o mancha negra por alternaria. El hongo causal puede desarrollarse lentamente en cultivos comunes (maíz y frijol). Los síntomas de la enfermedad, son manchas de color café o negro rodeadas por un

halo clorótico, y cuando la humedad relativa es alta, el centro de la mancha toma un color gris a causa de la esporulación del hongo, las manchas tienen un diámetro de 3 a 6 mm.

Para el control es recomendable realizar prácticas de cultivo como arado profundo, destrucción de la planta para evitar la propagación, y el uso de semilla limpia para la siembra, actualmente la única manera de combatir la mancha por alternaría es mediante la aplicación de fungicidas (Gallegos y Velazco 1970; Ortegón 1993).

Cenicilla (*Oidium mangiferae*): conocida como mildiu polvoriento del girasol. Los primeros síntomas de la enfermedad aparecen durante la etapa de floración. Al principio, en las hojas primarias de la planta aparecen pequeñas manchas con un polvillo blanquecino, característica del estado asexual del hongo. Estas manchas crecen y se juntan hasta cubrir toda la superficie de la hoja, posteriormente se torna clorótica y muere. Hasta ahora la única forma de combatir la cenicilla es mediante la aplicación de fungicidas como (Gallegos y Velazco 1970; Ortegón 1993).

Pudrición sureña (*Erwinia carotovora*): Inicialmente el hongo presenta un micelio blanco, algodonoso con hifas compactas a los cuatro días empieza a producir esclerosis, que terminan por formarse en una semana. Al principio son de color blanco y al madurar de color café, son esféricos de 2 a 5 mm de diámetro. La infección en las plantas se manifiesta con un marchitamiento general, y en la base del tallo y la raíz presenta una pudrición por lo que al final la planta muere.

Las medidas de prevención deben enfocarse en la destrucción de los residuos de cosecha, mediante prácticas como la quema de plantas infectadas o el arado profundo, además la aplicación de herbicidas (Gallegos y Velazco 1970; Ortegón 1993).

Roya (*Puccinia helianthi*): este hongo posee una amplia variabilidad patogénica y continuamente da origen a nuevas poblaciones, lo que produce cambios en la susceptibilidad de los genotipos. Los síntomas comunes de la enfermedad consisten en pústulas pequeñas circulares, que contienen un polvillo de color naranja o negro y pueden estar presentes en cualquier parte de la hoja (Gallegos y Velazco 1970; Gómez 2006).

2.6. Importancia del girasol y su producción mundial

El girasol es uno de los principales cultivos utilizados para la producción de aceite a nivel mundial, el aceite de girasol es uno de los aceites con mayores beneficios a la salud humana, por su alto contenido de grasas poliinsaturadas (Cuadro 3). Del girasol a parte de la extracción de aceite, se pueden obtener otros productos, como la pasta de girasol y la cascarilla de girasol, ambas son utilizadas en la industria de alimentos para animales, ya que, el contenido de proteína de la pasta de girasol oscila entre el 40 y 50%, lo que la hace importante para la alimentación animal, por otra parte, la cascarilla de girasol es de gran importancia para la alimentación de los rumiantes, representa una fuente de fibra. Otros usos de la semilla de girasol son la elaboración de jabones, cosméticos, detergentes y combustibles en algunos países.

Cuadro 3. Perfil de ácido grasos (%) del aceite de semilla de girasol.

Ácidos grasos	Aceite de girasol
Saturados	
C 8:0	0.03 ± 0.01
C10:0	0.03 ± 0.01
C 11:0	0.06 ± 0.03
C 12:0	0.03 ± 0.01
C 14:0	0.07 ± 0.02
C 15:0	0.03 ± 0.01
C 16:0	6.32 ± 0.11
C 17:0	0.05 ± 0.01
C 18:0	4.66 ± 0.13
C 20:0	0.78 ± 0.07
C 22:0	0.88 ± 0.06
Monoinsaturados	
C 16:1 (7)	0.09 ± 0.02
C 17:1 (11)	0.03 ± 0.01
C 18:1 (9)	37.73 ± 0.53
C 18:1 (7)	0.55 ± 0.23
C 20:1 (11)	1.16 ± 0.06
C 20:1 (5)	0.04 ± 0.01
C 20:1 (7)	0.04 ± 0.01
C 22:1 (13)	0.33 ± 0.03
Poliinsaturados	
C 16:2 (7,10)	0.03 ± 0.01
C 18:2 (9,12)	45.49 ± 0.73
C 18:3 (9,12,15)	1.54 ± 0.09
C 20:2 (11,14)	0.03 ± 0.01

C 20:3 (11,14,17)	0.07 ± 0.02
Ácidos grasos saturados	12.9
Ácidos grasos monoinsaturados	39.95
Ácidos grasos poliinsaturados	47.15

Fuente: Nehdi et al. (2013).

Los principales países productores de girasol en el mundo son Ucrania, Rusia, Argentina y China. En el mundo se producen 41,329 miles de toneladas de girasol (Cuadro 3, FAOSTAT (2017)).

Cuadro 4. Producción mundial de girasol durante el periodo de 2010-2014 (miles de toneladas).

País	2010	2011	2012	2013	2014
Ucrania	6771.50	8670.50	8387.00	11050.00	10133.00
Rusia	5344.82	9697.45	7993.00	10534.00	9033.00
Argentina	2220.71	3671.75	3341.00	3104.00	2063.00
China	1710.00	1700.00	2369.00	2380.00	2380.00
Francia	1633.11	1882.45	1573.00	1582.00	1559.00
Bulgaria	1596.10	1439.70	1388.00	1937.00	2010.00
Turquía	1320.00	1335.00	1370.00	1523.00	1637.00
Rumania	1262.93	1789.33	1398.00	2196.00	2189.00
Estados Unidos	1240.83	924.55	1264.00	922.00	1004.00
Hungría	969.72	1374.78	1317.00	1470.00	1597.00
México	3.79	2.83	1.00	5.00	16.00
Resto	6338.22	7717.85	7135.00	8049.00	7708.00
Total	30411.735	40206.186	37536.00	44752.00	41329.00

2.7. Producción nacional de girasol

En el Cuadro 4 se presentan los principales estados productores de girasol en México, siendo Zacatecas, San Luís Potosí, Jalisco y Durango los estados con mayor producción. México en el 2016 produjo un total de 8,968.98 toneladas (SIAP 2017).

Cuadro 5. Producción nacional de girasol durante el periodo de 2010-2016 (toneladas).

Estado	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Zacatecas	0.00	178.00	152.00	1076.00	2647.65	4265.53	2184.00
San Luis Potosí	0.00	414.40	0.00	0.00	795.04	2052.50	1515.49

Jalisco	544.00	183.18	104.92	73.20	2509.00	1938.41	1447.41
Durango	358.34	403.92	824.51	1735.80	1475.53	457.50	1278.94
Guanajuato	201.05	17.00	0.00	564.00	77.00	1241.31	825.41
México	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	988.94	620.79
Tamaulipas	10.80	20.00	0.00	0.00	5862.22	2479.16	597.50
Baja California Sur	2683.00	1609.00	0.00	1096.2	2810.30	56.00	232.00
Total	3797.19	2826.48	1308.01	4545.8	16558.93	14338.65	8968.98

2.8. El girasol en la alimentación de las aves

Los subproductos de girasol en la avicultura son de moderada a alta palatabilidad. Se han encontrado factores antinutricionales como el ácido clorogénico y un factor inhibidor de tripsina de girasol (SFTI-1), que pueden reducir la actividad de algunas enzimas digestivas (Luckett et al. 1999; Blas et al. 2010). La principal limitante para el uso de girasol es el alto contenido de fibra y lignina (Blas et al. 2010). Por tal motivo deben tomarse en cuenta estos factores para el uso en la avicultura. En gallinas de postura autores recomiendan restricciones debido al efecto negativo sobre la calidad del huevo: mayor porcentaje de huevos sucios y presencia de manchas grisáceas en el cascarón. Por otro lado, algunos autores han observado una disminución de la densidad de albúmina, aunque no está claramente confirmado (Karunajeewa et al. 1989). Debido al alto contenido de aceite (40%) y fibra (17.6%) de la semilla de girasol integral debe considerarse al incorporarse en la dieta de las aves, al igual que la coloración oscura del ingrediente, al incorporar altas cantidades en la dieta confiere al alimento una coloración oscura que no es muy aceptada por las aves.

La proteína de la semilla de girasol tiene una elevada digestibilidad en todas las especies, cuando esta no se encuentra ligada a la pared celular, la digestibilidad de la proteína y los aminoácidos tienden a disminuir a medida que incrementa el contenido en fibra (Roberts et al. 2007; Stein et al. 2014). La proteína es deficiente en lisina pero rica en aminoácidos azufrados y triptófano (Arija et al. 1999; Blas et al. 2010), por lo que se complementaría bien con las leguminosas, que son altas en contenido de lisina. La composición proximal del girasol y los subproductos son variables y va de acuerdo a la variedad utilizada, el

método de extracción de aceite (solvente o presión) y de la región cultivada, considerando que al extraer el aceite de girasol al aplicar calor y presión mecánica hay daños en la proteína (San Juan y Villamide 2001).

Al alimentar pollitas reproductoras de pollos de engorda, a menudo se usa la restricción de alimento para evitar que las pollitas se vuelvan obesas, o en el caso de sistemas de producciones a elevadas altitudes para prevenir el síndrome ascítico, Zecek et al. 2003, han mostrado que el uso de dietas altas en fibra producen el mismo efecto sin la necesidad de una restricción alimenticia. En este contexto, la semilla de girasol se puede utilizar como fuente de fibra en estas condiciones.

A continuación se presentan la composición proximal de la semilla de girasol comparado con la semilla de soya (Cuadro 5). Por otra parte los subproductos que se obtienen después de la extracción de aceite como son la pasta de girasol comparada con la pasta de soya (Cuadro 7), y la cascarilla de girasol comparado con la cascarilla de soya (Cuadro 8). La composición proximal, muestra el alto contenido de fibra y lignina que son los factores limitantes para el uso de la semilla integral en la dieta de aves, aunado a esto el alto contenido de extracto etéreo en la semilla. Pero, es importante resaltar que el contenido de proteína es bueno y dependerá del proceso al que se someta la semilla.

Cuadro 6. Composición proximal y Van-Soest de la semilla de girasol integral y de soya.

Fracciones (%)	Semilla de girasol	Semilla de soya
Proteína Cruda	17.60	36.80
Extracto Etéreo	42.10	19.20
Fibra Cruda	17.60	6.10
FDN	26.20	11.30
FDA	17.60	6.80
LDA	5.50	0.20

Fuente: FEDNA 2010.

Cuadro 7. Composición proximal y Van-Soest de la pasta de girasol y la pasta de soya.

Fracciones (%)	Pasta de girasol	Pasta de soya
Proteína Cruda	41.70	47.00
Extracto Etéreo	1.80	1.90
Fibra Cruda	18.30	6.20

FDN	33.10	9.10
FDA	21.00	5.40
LDA	5.00	0.30

Fuente: FEDNA 2010.

Cuadro 8. Composición proximal y Van-Soest de la cascarilla de girasol integral y la cascarilla de soya.

Fracciones (%)	Cascarilla girasol	Cascarilla de soya
Proteína Cruda	5.70	11.80
Extracto Etéreo	3.00	2.50
Fibra Cruda	48.70	32.70
FDN	72.20	57.50
FDA	57.00	43.30
LDA	20.10	1.80

Fuente: FEDNA 2010.

2.9. REFERENCIAS

- Alberio C, Izquierdo NG, Aguirrezábal LAN. 2015. Sunflower Crop Physiology and Agronomy, in: Martinez-Force, E., Nurhan, T. D. y Joaquin, J. S. (Eds.), Sunflower. Chemistry, Production, Processing, and Utilization. pp 53-91.
- Alfredo OM.1993.El girasol. Editorial Trillas. México. pp 82-145.
- Aguirrezábal LAN, Orioli GA, Hernández LF, Pereyra VR, Miravé JP. 2001. Girasol Aspectos fisiológicos que determinan el rendimiento. INTA Balcarce-Mercantil Andina: Balcarce, y Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Mar del Plata. Buenos Aires, Argentina.
- Arija I, Viveros A, Canales R, Brenes A. 1999. Estudio del valor nutritivo de la semilla de girasol entera descascarillada en raciones de pollos broiler y su efecto sobre la concentración de ácidos grasos en la grasa. Arch. Zootec. 48:249-259.
- Blas De C, Mateos GG, García RP. 2010. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (3ª edición). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid. 502 pág.
- Bye R, Linares E, Lentz DL. 2009. México: centro de origen de la domesticación del girasol. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 12:5-12.
- FAOSTAT: Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. 2017. Food and Agriculture Organization. [accessed 2017 Sep 22]. <http://www.fao.org/faostat/en/#home>.
- Gallegos BCC, Velazco ET. 1970. El cultivo del girasol en la mesa central. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Sagarpa. México. Circular CIB. No. 30. 16 pp.
- Gómez MR, Hernández MM, Gómez MR, Martínez CE, Zarazúa DMA, Ramos PF. 2011. Tecnología para la producción de girasol en el estado de hidalgo. Obtenido de Fundación Hidalgo Produce.

http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4082/01020884900050740_CIRCE.pdf?sequence=1

- Heiser CBJR. 1978. Taxonomy of *Helianthus* and Origin of Domesticated Sunflower, in: Jack F. C. (Ed.), *Sunflower Science and Technology*. Agronomy Monograph 19. pp. 31-53.
- Karunajeewa H, Tham SH, Abu-Serewa S. 1989. Sunflower Seed Meal, Sunflower Oil and Full-fat Sunflower Seeds, Hulls and Kernels for Laying Hens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 26:45-54.
- Luckett S, Garcia RS, Barker JJ, Konarev AV, Shewry PR, Clarke AR, Brady RL. 1999. High resolution structure of a potent cyclic proteinase inhibitor from sunflowers. *J. Mol. Biol.* 90:525-533.
- Martínez MBA, Escamilla FG, Rodríguez OA, Gómez MR, Melina YBR. 2017. Evaluación de híbridos de girasol (*Helianthus annuus* L.) en régimen de temporal en el Valle del Mezquital, Hidalgo. Universidad Politécnica de Francisco I. Madero Ingeniería en Agrotecnología, Hidalgo, México. pp 61.
- Nehdi IA, Sbihi H, Tan CP, Al-Resayes SI. 2013. Evaluation and characterisation of *Citrullus colocynthis* (L.) Schrad seed oil: Comparison with *Helianthus annuus* (sunflower) seed oil. *Food Chem.* 136: 348–353
- Pedraza MV, Pereyra VR, Aguirrezábal L, Laurlund A. 2000. Manual de estimación de pérdidas de rendimiento en girasol. Efectos de reducciones en el área foliar, en la densidad de plantas y en el número de capítulos. INTA Balcarce-Mercantil Andina: Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- Roberts SA, Xin H, Kerr BJ, Russell JR, Bregendahl K. 2007. Effects of Dietary Fiber and Reduced Crude Protein on Nitrogen Balance and Egg Production in Laying Hens. *Poultry Sci.* 86:1716-1725
- San Juan LD, Villamide MJ. 2001. Nutritional evaluation of sunflower products for poultry as affected by the oil extraction method. *Poultry Sci.* 80:431–437.

- Schneiter AA, Miller JF. 1981. Description of Sunflower Growth Stages. *Crop Sci.* 21: 901-903.
- SIAP: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2017. Cierre de la producción agrícola por estado. [accessed 2017 Sep 22]. <https://www.gob.mx/siap/>.
- Stein HH, Gibson ML, Pedersen C, Boersma MG. 2006. Amino acid and energy digestibility in ten samples of distillers dried grain with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 84:853-860.
- Vear F. 2011. Helianthus, in: Chittaranja, K. (Ed), *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*. Oil seeds. pp 161-170.
- Zacek V, Jones EKM, Macleod MG, Hocking PM. 2003. Dietary fiber improves the welfare of female broiler breeders. *British Poultry Science.* 44:30-31.

CAPÍTULO 3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

1. Evaluar el efecto de la sustitución de la pasta de soya como fuente de proteína en la dieta para gallinas de postura.

3.2. Objetivos específicos

1. Evaluar la respuesta productiva en gallinas de postura, al sustituir la pasta de soya por semilla de girasol integral molida y tamizada en la dieta.
2. Evaluar la calidad del huevo en gallinas de postura, al sustituir la pasta de soya por semilla de girasol integral molida y tamizada en la dieta.

CAPÍTULO 4. HIPÓTESIS

1. La sustitución total de la soya por semilla de girasol integral molida y tamizada en la dieta no afecta el comportamiento productivo en gallinas de postura.
2. La sustitución total de la pasta de soya por semilla de girasol integral molida y tamizada no afecta las variables de calidad de huevo.

CHAPTER 5. INCLUSION OF WHOLE GROUND SUNFLOWER SEED IN DIETS FOR LAYING HENS

Daniel S. López-Velasco^a, Arturo Pro-Martínez^a, Fernando González-Cerón^c, Eliseo Sosa-Montes^c, Juan M. Cuca-García^a, José A. S. Escalante-Estrada^a, Josué J. Arroyo-Villegas^d, Artemio J. Vargas-Galicia^a, Jaime Gallegos-Sánchez^a, Jaime Bautista-Ortega^b, María M. Crosby-Galván^a, Elvia López-Pérez^c.

^a*Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Mexico State, Mex., 56230;*

^b*Colegio de Postgraduados, Campus Campeche, Champotón, Campeche State, Mex., 24450;* ^c*Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Mexico State, Mex., 56230;* ^d*Trouw Nutrition, México SA de CV, Zapopan, Jalisco State, Mex., 45145.*

5.1. MATERIALS AND METHODS

This research was carried out at the experimental poultry farm of Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Mexico State, located at 19° 29' N, 98° 53' O and 2250 m altitude; the climate was classified as temperate sub-humid with summer rainfall. Average annual precipitation and temperature are 710 mm and 15°C, respectively, with frequent freezing temperatures from November to January and winds reaching 7 m/s in the dry season (García 1998).

The proximate composition and Van-Soest analysis of whole sunflower seed were determined.

5.1.1. Experiment I

The sunflower seed (*Helianthus annuus* L., Victoria) was grinded in a manual mill (Estrella, Mexico) and subsequently sieved with a 1 mm² stainless steel mesh to obtain the sieved sunflower seed (SSS). The apparent metabolizable energy nitrogen-corrected was

determined (Nalle et al. 2012). Proximate (AOAC 1990) and Van Soest (Van-Soest et al. 1991) analysis were performed, and amino acids profile of SSS was determined by liquid chromatography (Evonik Industries de México, SA de CV).

5.1.1.1. Apparent metabolizable energy nitrogen-corrected (AMEn)

This variable was estimated according to Nalle et al. (2012), using a yellow corn-soybean meal basal diet (control diet; Table 1), from which, 25% w/w was replaced by SSS. Thirty 30-d-old Ross 308 male chickens were randomly divided into two groups (15 birds per diet; one chicken per cage of 30 x 60 x 40 cm). The birds received feed and water *ad libitum* in a gutter feeder and in an automatic-cup drinker, respectively.

Table 1. Composition (%) of basal diet used for estimation of apparent metabolizable energy nitrogen-corrected in broilers of 38-d-old.

Ingredients	Inclusion
Yellow corn	59.36
Soybean meal	35.18
Soybean oil	1.78
Dicalcium phosphate	2.17
Calcium carbonate	0.78
Salt	0.20
Sodium bicarbonate	0.23
Pre-mix of vitamins and minerals*	0.30

*Contributes per kilogram of feed: vitamin A, 12,000 IU; vitamin D3, 1,000 IU; vitamin E, 60 IU; vitamin K, 5.0 mg; vitamin B2, 8.0 mg; vitamin B12, 0.030 mg; pantothenic acid, 15 mg; niacin, 50 mg; folic acid, 1.5 mg; choline, 300 mg; biotin, 0.150 mg; and thiamine, 3.0 mg. Minerals: Fe, 50.0 mg; Zn, 110 mg; Mn, 100 mg; Cu, 12.0 mg; Se, 0.3 mg; and I, 1.0 mg.

The total excreta collection method was used to determine AMEn. From 38 to 41-d-old, feed intake and excreta of each chicken were collected and weighed. Excreta were carefully collected avoiding contamination with feathers, scales and feed debris. Samples of excreta (one per day) from each bird were homogenized. A pooled sample (60 g) was taken and stored at -20°C for subsequent lyophilization. The dry excreta and feed samples were grinded with a mortar and sieved using a 0.5 mm² stainless steel mesh and stored in sealed bags for further analysis of dry matter, gross energy and nitrogen content. Gross energy or heat of combustion was determined using an isoperibolic calorimeter (No. 1266, Parr instruments, Moline, IL). The nitrogen content was measured by the Kjeldahl method (AOAC 1990).

5.1.2. Experiment II

To evaluate the effect of total substitution of soybean meal (SM) by sieved sunflower seed (SSS), 60 Bovans-White laying hens 23-wk-old were randomly assigned into two treatments, 30 replicates each (one laying hen per cage of 30 x 60 x 40 cm). The experimental diets (Table 2) were: control or SM diet (yellow corn-SM) and SSS diet (yellow corn-SSS). Diets were formulated to meet or exceed the nutritional requirements for layer hens reported by NRC (1994). The experimental period lasted 20 wk. The birds received feed and water *ad libitum* in a gutter feeder and in an automatic-cup drinker, respectively.

Table 2. Composition (%) of experimental diets fed to 23-wk-old Bovans-White laying hens.

Ingredients	SM diet	SSS diet
Soybean meal	24.14	-
Yellow corn	61.10	38.21
SSS	-	48.64
Calcium carbonate	9.96	10.00
Soybean oil	2.65	-
Dicalcium phosphate	1.15	1.45
Pigment	0.15	0.15
Pre-mix of vitamins and minerals*	0.30	0.30
Salt	0.30	0.30
Biolys 70	-	0.57
DL-Methionine	0.25	0.23
L-Threonine	-	0.11
Total	100	100
Calculated chemical composition		
AMEn (kcal/kg)	2800.00	3416.00
Crude protein (%)	17.00	17.00
Calcium (%)	4.00	4.10
Available phosphorus (%)	0.30	0.35
Lysine (%)	0.80	0.84
Methionine (%)	0.49	0.53
Methionine + cystine (%)	0.78	0.83
Ether extract (%)	4.98	12.63
Crude fiber (%)	2.53	6.26
Neutral detergent fiber (%)	11.12	17.47
Acid detergent fiber (%)	6.65	16.08
Crude lignin (%)	2.32	7.93

SSS = Sieved sunflower seed. SM = Soybean meal. AMEn = Apparent metabolizable energy nitrogen-corrected. *Contribution per kilogram of feed: vitamin A, 9,000 IU; vitamin D3, 2500 IU; vitamin E, 20 IU; vitamin K, 3.0 mg; vitamin B2, 8.0 mg; vitamin B12, 0.015 mg; pantothenic acid, 10 mg; niacin, 40 mg; folic acid, 0.5 mg; choline, 300 mg; biotin, 0.055 mg; and thiamine, 2.0 mg. Mineral premix: Fe, 65.0 mg; Zn, 100 mg; Mn, 100 mg; Cu, 9.0 mg; Se, 0.3 mg; and I, 0.9 mg.

5.1.2.1. Egg quality variables

At 18, 19 and 20 weeks of experimentation, 15 eggs per treatment were randomly selected to evaluate: shell resistance (kg/cm²), shell thickness (mm), albumin height (mm), Haugh

units, lightness (L*), redness (a*) and yellowness (b*) of egg yolk. Shell resistance was measured using a weight indicator (Model Ids440, IDS USA). To measure shell thickness, the internal egg membrane was removed and three measurements were performed (upper, middle and lower poles) using a millimeter digital caliper (Model CALDI-6MP, Mexico) with a precision of ± 0.01 mm. The albumin height was assessed using a standard 25 mm digital indicator (Sylvac S_Dial ONE, Swiss), taking the measurement in the middle part of the dense albumin (1 cm of the yolk). Haugh units (HU) were calculated using the formula: $HU = 100 \log (H + 7.51 - 1.7W^{0.37})$; where H is the albumin height and W is the egg weight (Yimenu et al. 2017). A Minolta Chroma Meter CR-410 instrument (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan) was used to measure yolk color (L*: lightness, a*: redness and b*: yellowness).

5.1.2.2. Productive variables

Feed intake (g/bird/d), egg production (%), egg weight (g), egg mass (g/bird/d) and feed conversion (g/g) were determined weekly from week 23 of age until the end of the experimental period. Eggs were weighed with an electronic scale (Model L-EQ-5/10, Torrey, Mexico). Egg mass was calculated as follow: $(\text{egg production} \times \text{egg weight})/100$.

5.1.2.3. Digestive system development and apparent ileal digestibility

At the end of the experimental period, nine birds per treatment were randomly selected and humanely killed with an electric stunning knife (model VS-200, input power 120 V- 1A, output power 50 V-0.1 A, Midwest Processing Systems, Minneapolis, MN, USA), according to the Norma Oficial Mexicana (2015). The small-intestine and cecum lengths were measured on a wet cloth to avoid shrinkage, using a tape. The fatty and mesentery

tissues attached to each section of the digestive system were removed and the full weight of the proventriculus, gizzard, small intestine, cecum, liver, spleen and pancreas were recorded.

The titanium dioxide marker (TiO_2 ; 3 g/kg diet) was used to calculate ileal digestibility of dry matter (DM), crude protein (CP) and gross energy. The ileum of each bird was removed and transversely dissected into two halves and the digesta was collected from the lower half towards the ileo-caecal junction (Nalle et al. 2012; Kaczmarek et al. 2016). The diet and digesta were lyophilized for determination of DM, CP, gross energy and TiO_2 . The determination of DM and CP was performed according to the methods of AOAC (1990). Gross energy was determined in an isoperibolic calorimeter (No. 1266, Parr instruments, Moline, IL). Titanium dioxide was determined according to Myers et al. (2004).

This study was conducted according to the guide for care and use of experimental animals approved by the General Academic Council of the Colegio de Postgraduados.

5.1.3. Statistical analysis

Data were analyzed under a completely randomized experimental design using the GLM procedure of SAS (SAS Institute Inc. 2011). For productive and digestive system development variables, and apparent ileal digestibility; each laying hen was considered the experimental unit. For egg quality variables, each egg was considered the observational unit. Differences were considered to be statistically significant when the *P* value was < 0.05. Means were separated using the Tukey's test. The results are presented as mean \pm standard error.

5.2. RESULTS

5.2.1. Experiment I

It was found that SSS contains 26.93% crude protein, 4436.1 kcal/kg AMEn and 10.89% crude fiber. Among the essential amino acids, arginine had the highest concentration in the SSS, while lysine was the most limiting (Table 3).

Table 3. Proximate composition, apparent metabolizable energy nitrogen-corrected and amino acid profile of sieved sunflower seed (SSS).

Nutriments, %	SSS
Dry matter	93.06
Crude protein	26.93
Ether extract	23.19
Crude fiber	10.89
Ash	4.81
AMEn (kcal/kg)	4436.10
Total amino acids profile (g/16gN)	
Methionine	1.69
Cysteine	1.65
Lysine	3.16
Threonine	3.13
Tryptophan	ND
Arginine	9.22
Isoleucine	4.17
Leucine	6.02
Valine	4.98
Histidine	2.24
Phenylalanine	4.59

AMEn = Apparent metabolizable energy nitrogen-corrected.

ND = not determined.

5.2.2. Experiment II

5.2.2.1. Egg quality variables

There were not differences ($P > 0.05$) between treatments for egg quality variables (Table 4).

Table 4. Egg quality variables of Bovans-White laying hens fed with SM or SSS diets.

Variables	Diets		<i>P value</i>	
	SM	SSS	SEM	Diet
Shell resistance (kg/cm ²)	3.99	3.98	0.12	0.8946
Shell thickness (mm)	0.35	0.34	0.01	0.1992
Albumin height (mm)	7.36	7.70	0.13	0.1199
Haugh units (HU)	99.20	101.41	0.55	0.0517
Lightness (L*)	53.53	53.66	0.17	0.5247
Redness (a*)	-1.10	-1.10	0.05	0.9926
Yellowness (b*)	42.21	41.99	0.39	0.6386

SM = Soybean meal.

SSS = Sieved sunflower seed.

SEM = Standard error of mean.

5.2.2.2. Productive variables

Feed intake (Figure 1), egg production (Figure 2), egg weight (Figure 3) and egg mass (Figure 4) were higher ($P < 0.05$) in birds fed the SM diet in comparison with birds fed the SSS diet. Feed conversion (Figure 5) was lower ($P < 0.05$) in birds fed the SM diet than in those fed the SSS diet.

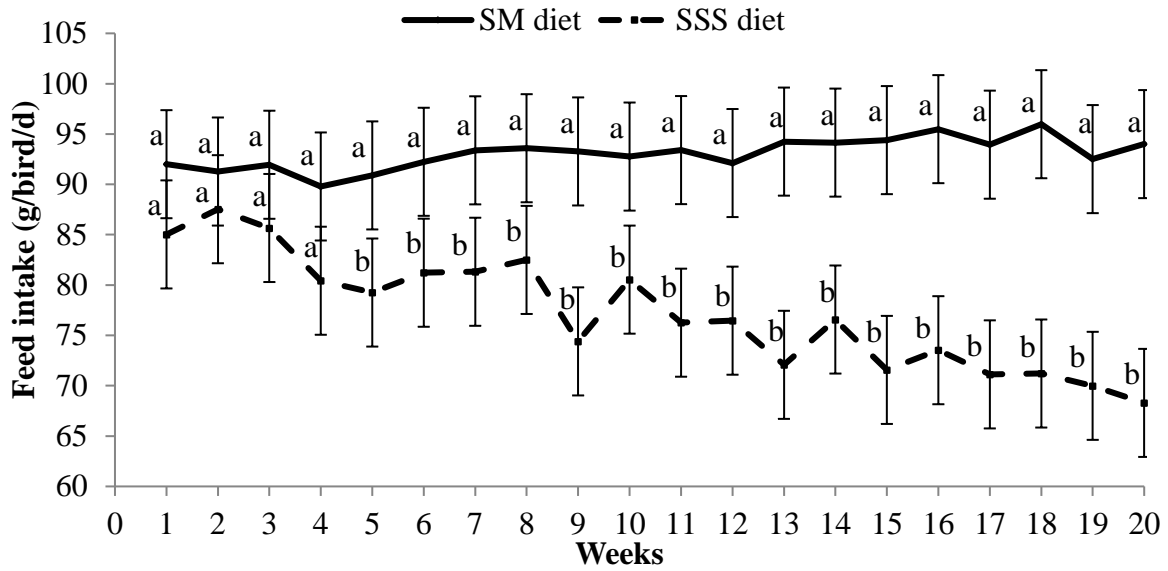


Figure 1. Feed intake during 20 weeks of experimentation of Bovans-White laying hens fed with SM or SSS diets. ^{ab}Different letters within each week are different, $P < 0.05$. SM = Soybean meal; SSS = Sieved sunflower seed.

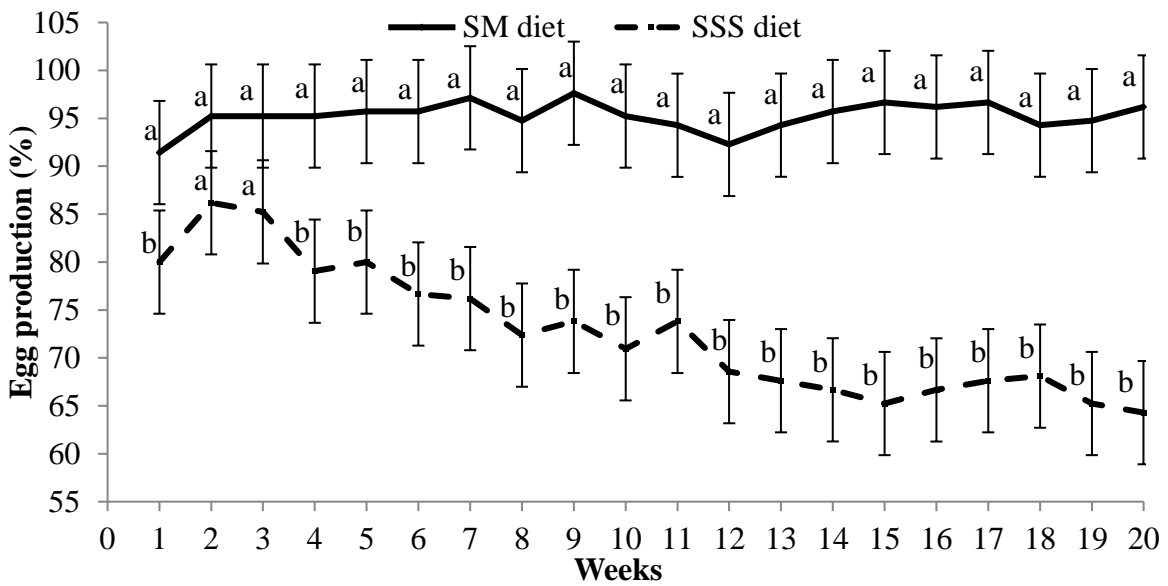


Figure 2. Egg production during 20 weeks of experimentation of Bovans-White laying hens fed with SM or SSS diets. ^{ab}Different letters within each week are different, $P < 0.05$. SM = Soybean meal; SSS = Sieved sunflower seed.

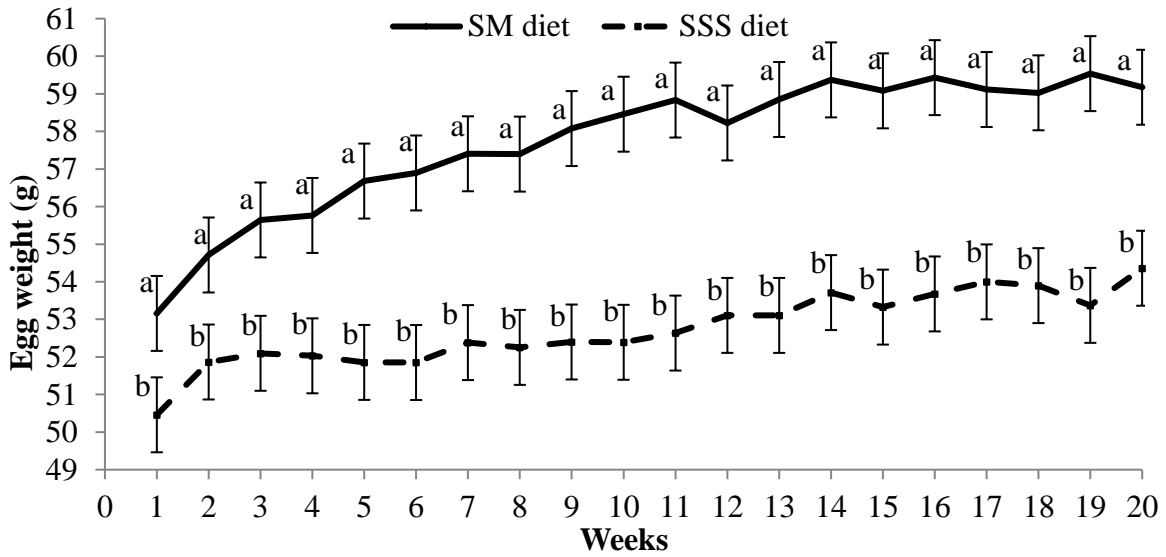


Figure 3. Egg weight during 20 weeks of experimentation of Bovans-White laying hens fed with SM or SSS diets. ^{ab}Different letters within each week are different, $P < 0.05$. SM = Soybean meal; SSS = Sieved sunflower seed.

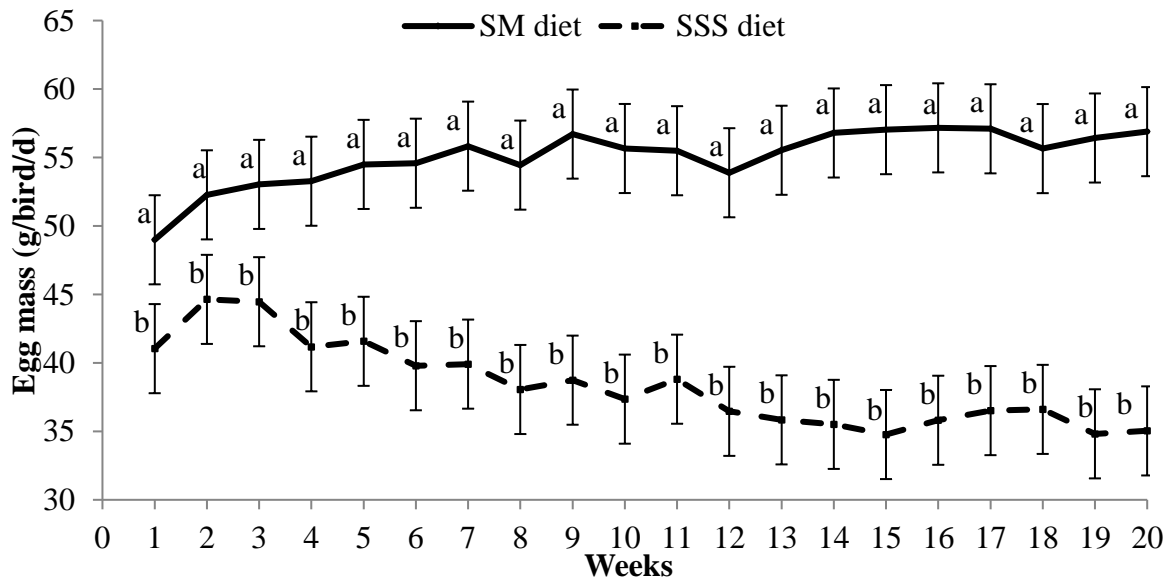


Figure 4. Egg mass during 20 weeks of experimentation of Bovans-White laying hens fed with SM or SSS diets. ^{ab}Different letters within each week are different, $P < 0.05$. SM = Soybean meal; SSS = Sieved sunflower seed.

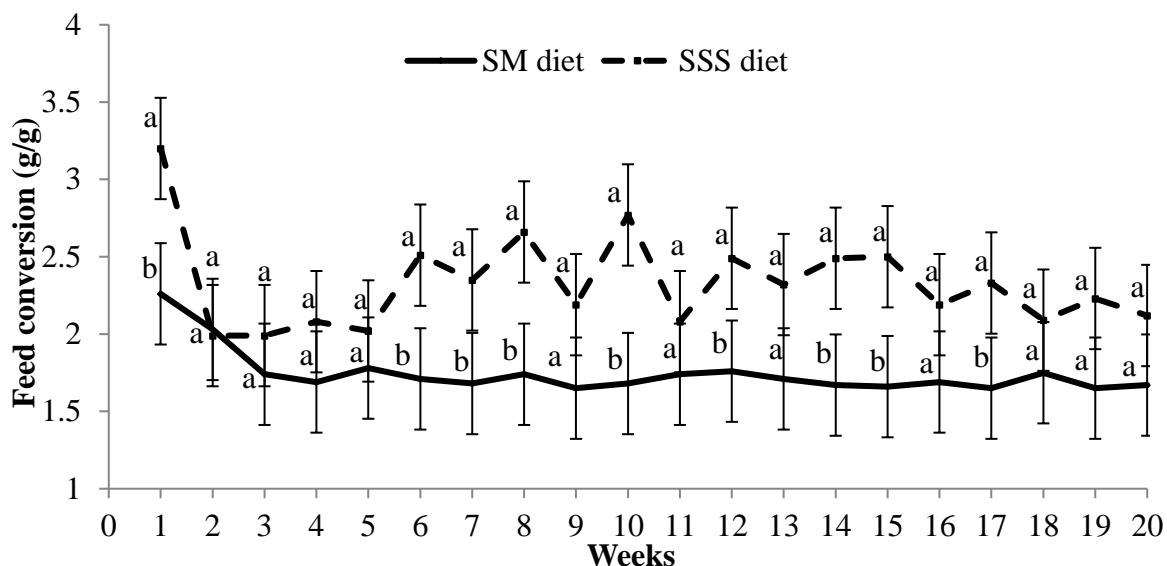


Figure 5. Feed conversion ratio during 20 weeks of experimentation of Bovans-White laying hens fed SM or SSS diets. ^{ab}Different letters within each week are different, $P < 0.05$. SM = Soybean meal; SSS = Sieved sunflower seed.

Table 5. Productive variables of Bovans-White laying hens fed with SM or SSS diets, during 20 wk.

Variables	Diets		SEM	<i>P</i> value
	SM	SSS		
Feed intake (g/birds/d)	93.07 ^a	77.25 ^b	2.90	0.0010
Egg production (%)	95.24 ^a	72.71 ^b	2.75	0.0146
Egg weight (g)	57.74 ^a	52.74 ^b	0.64	0.0159
Egg mass (g/bird/d)	55.06 ^a	38.35 ^b	1.73	0.0105
Feed conversion ratio (g/g)	1.75 ^b	2.33 ^a	0.04	0.0051

^{ab}Values with different letters in the rows are different, $P < 0.05$.

SM = Soybean meal.

SSS = Sieved sunflower seed.

SEM = Standard error of mean.

5.2.2.3. Digestive system development and apparent ileal digestibility

Regarding the digestive system development, differences were found among treatments ($P < 0.05$). Highest values were found in birds fed the SSS diet for full and empty weight of gizzard, small-intestine length and cecum length. The type of diet did not affect the other organs (Table 6). A lower ($P < 0.05$) digestibility of DM and CP, and a greater digestibility of gross energy were found in birds fed the SSS diet with respect to those fed the SM diet (Table 7).

Table 6. Relative weight (%) and length of the different sections of the digestive system and accessory organs of Bovans-White laying hens fed with SM or SSS diets.

Variables	Diets		<i>P value</i>	
	SM	SSS	SEM	Diet
Full gizzard (g/kg)	15.15 ^b	20.49 ^a	0.85	0.0008
Empty gizzard (g/kg)	10.15 ^b	12.92 ^a	0.48	0.0026
Small intestine (cm/kg)	79.99 ^b	98.29 ^a	3.37	0.0072
Cecum (cm/kg)	9.06 ^b	10.87 ^a	0.44	0.0385
Full proventricle (g/kg)	3.80	3.81	0.17	0.9742
Empty proventricle (g/kg)	3.04	3.17	0.10	0.4984
Full small-intestine (g/kg)	31.61	33.85	1.65	0.5418
Empty small-intestine (g/kg)	19.55	21.02	0.91	0.4477
Full cecum (g/kg)	4.57	4.96	0.29	0.5191
Empty cecum (g/kg)	2.97	2.82	0.10	0.5044
Liver (g/kg)	21.65	21.10	0.50	0.5999
Pancreas (g/kg)	1.82	1.77	0.05	0.5798
Spleen (g/kg)	0.92	0.92	0.04	0.9667

^{ab}Values with different letters in the rows are different, $P < 0.05$.

SM = Soybean meal.

SSS = Sieved sunflower seed.

SEM = Standard error of mean.

Table 7. Apparent ileal digestibility (%) of SM and SSS diets fed to Bovans-White laying hens.

Variables	Diets		<i>P value</i>	
	SM	SSS	SEM	Diet
Dry matter*	68.61 ^a	62.67 ^b	1.24	0.0041
Crude protein*	72.80 ^a	69.48 ^b	0.77	0.0034
Gross energy**	70.50 ^b	73.14 ^a	0.99	0.0214

^{ab}Values with different letters in the rows are different, $P < 0.05$.

SM = Soybean meal.

SSS = Sieved sunflower seed.

SEM = Standard error of mean.

*Values estimated as percent of the dry matter or protein intake.

**Values estimated as percent of total energy intake.

5.3. DISCUSSION

In the present study, the proximate analysis of whole sunflower seed was: 19.80% crude protein (CP), 40.85% ether extract (EE), and 17.60% crude fiber (CF). The sieved sunflower seed (SSS) contained: 26.93% CP, 23.19% EE and 10.89% CF. This procedure increased 7.13% CP and reduced 17.66% EE and 6.71% CF. The results of this study suggest that the nutritional composition of sunflower seed changes when grinded and sieved. Arija et al. (1999) observed similar results when the sunflower seed was dehulled.

The high arginine content found in SSS (Table 3), is in agreement with Akande (2011), who reported that raw whole sunflower seed (18% CP) had 6.97 g/16gN arginine; whereas when roasted (20.07% CP), the arginine value was 7.31 g/16gN. In this study, the arginine content of SSS and SM is 9.22 and 7.30 g/16gN, respectively. Therefore, arginine values in SSS could reduce the use of synthetic arginine in diets for chickens. Also, may be important to reduce pulmonary hypertension in broilers raised at high altitude, through the synthesis of nitric oxide (a potent vasodilator) from arginine (Dellinger et al. 2003).

This study showed a low lysine content in SSS (3.16 g/16gN), which is in agreement with the results of Arija et al. (1999), and Blas et al. (2010) who reported that whole and dehulled sunflower seeds are deficient in lysine (3.60 g/16gN and 4.03 g/16gN, respectively).

On the other hand, Arija et al. (1999) and Blas et al. (2010) reported 2.15 and 2.30 g/16gN of methionine. In the present study lower methionine content (1.69 g/16gN) was found. This result is in line with Akande (2011) who reported that sunflower seed is deficient in methionine (1.22 g/16gN). The variation in amino acid concentrations could be due to different sunflower seed genotypes (Žilić et al. 2010).

In this study, birds fed the SSS diet showed lower feed intake compared with those fed the SM diet. This result may be explained by the high EE and CF contents in the SSS diet (Table 2). Similarly, Brenes et al. (2008) reported low feed intake of chickens fed diets with high EE (13.08%) and CF (6.21%) contents. Lesson & Summers (2001) mentioned that feed intake decreases as energy content increases in birds' diets. Mateos et al. (1982) and Hughes (2004) reported a positive correlation ($R = 0.46$, $P < 0.05$) between apparent metabolizable energy and transit time of the digesta through the gastrointestinal tract of the birds, that is, the higher the energy content of the diet, the longer the transit time. Thus the high AMEn (3416 kcal/kg) in SSS diet could have led to the reduced feed intake. In this sense, Grobas et al. (2001) also reported reduction in feed intake in laying hens fed a diet with 3010 kcal/kg of AMEn with respect to lower energy content diets (2620 or 2810 kcal/kg of AMEn).

The high CF content in the SSS diet could produce a reduction ($P < 0.05$) in feed intake, and an increase ($P < 0.05$) in small intestine and cecum lengths and in gizzard weight with respect to the SM diet. The increased in cecum length of hens is probably a physiological adaptation caused by the permanence time of fiber in the cecum (Rodríguez et al. 2006; González et al. 2007; Martínez et al. 2010).

Jacob et al. (1996) reported that diets with 7.60% CF reduced feed intake and egg production in hens compared with 3.70% CF diets. Blas et al. (2010) found that the main limitation for the use of whole sunflower seed is its high fiber and lignin contents.

Kimiaetalab et al. (2017) found that 3.0% (4.4% CF) of sunflower husk as a source of fiber in a chicken diet, increased size and reduced pH of the gizzard. Mateos et al. (2012) reported that highly lignified insoluble fiber sources, such as oats and sunflower husks, are

conserved a longer time in the gizzard, which could lead to an increase in size, HCl production and a reduction of pH.

The lower feed intake observed in birds fed the SSS diet led to a reduction in egg production, egg weight and egg mass ($P < 0.05$), and increased feed conversion in comparison with birds fed the SM diet. Additionally, a low digestibility of DM and CP was observed in the SSS diet (Table 8); this could reduce the absorption of nutrients, in particular methionine, which adversely affected egg production, egg weight and egg mass. Shafer et al. (1996) reported that a methionine intake of 512 mg/bird/d increase egg weight compared to an intake of 326 mg/bird/d. Lesson & Summers (2001) mentioned the importance of protein and essential amino acids, especially methionine in increasing egg weight. Karunajeewa et al. (1989) found that the inclusion of sunflower husk or whole sunflower seed causes a reduction in egg weight, which could be due to tannins or other polyphenols present in the husk that reduce diet protein digestibility. Blas et al. (2010) mentioned that one polyphenolic compound found in sunflower seed is chlorogenic acid which affects enzymatic activity. On the other hand, Luckett et al. (1999) reported a peptide of 14 amino acids in sunflower seed, called sunflower trypsin inhibitor-1, which could reduce productive performance.

Despite the high content of EE and CF in the SSS diet, there were no differences in shell resistance, shell thickness, albumin height, HU, and L*, a* and b* in egg yolk between treatments. These results are similar to those reported by Tsuzuki et al. (2003), who included 5.6% of whole sunflower seed and to those of Shi et al. (2012), who included 24.84% of sunflower meal in laying hen diets. However, Karunajeewa et al. (1989) reported that the inclusion of high levels of sunflower meal (18.97%) for long periods of time may cause a reduction in the albumin quality. Therefore, the results of the present

study suggest that SSS is an alternative feedstuff to soybean meal for laying hen diets that did not compromise egg quality.

5.4. CONCLUSIONS

Grinding and sieving procedures of whole sunflower seed increased 7.13% CP and reduced 17.66% EE and 6.71% CF with respect to the non-processed seed. The total substitution of SM by SSS did not affect egg quality variables; however, egg production, egg weight and egg mass were reduced, and feed conversion increased.

More research is needed to found an optimal level of substitution to improve feed intake, egg production, egg weight, egg mass and feed conversion in laying hens.

5.5. REFERENCES

- AOAC. 1990. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th ed. Washington , DC, USA: Association of Official Analytical Chemists.
- Akande KE. 2011. Proximate and amino acid analyses of full-fat sunflower (*Heliantus annuus* L.) seed meal. Singap. J. Scient. Res. 2:179-183.
- Arija I, Viveros A, Canales R, Brenes A. 1999. Estudio del valor nutritivo de la semilla de girasol entera descascarillada en raciones de pollos broiler y su efecto sobre la concentración de ácidos grasos en la grasa. Arch. Zootec. 48:249-259.
- Arija I, Viveros A, Canales R, Brenes A. 2000. Efecto de la inclusión de la semilla de girasol entera y reconstituida en raciones de pollos broiler. Invest. Agr. Prod. Sanid. Anim. Vol. 15:81-94.
- Berglund RD. 2007. Sunflower production. North West, North Dakota. NDSU, extension service. 120 pp.
- Blas De C, Mateos GG, García RP. 2010. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos (3ª edición). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid. 502 pág.
- 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 Sci. 87:2300–2310.
- Cuca-García JM, Ávila GE, Pro MA. 2009. Alimentación de las aves. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Zootecnia. Chapingo, Texcoco, Edo. de México, México. pp 276.
- Dallinger S, Sieder A, Strametz J, Bayerle-Eder M, Wolzt M, Schmetterer L. 2003. Vasodilator effects of L-arginine are stereospecific and augmented by insulin in humans. Am J Physiol Endocrinol Metab. 284:1106-1111.
- Echanove HF. 2016. La expansión del cultivo de la soja en Campeche, México: Problemática y perspectivas. An. geogr. Univ. Complut. 36:49-69.
- Escalante-Estrada AJ, Rodríguez-González MT. 2008. Sunflower (*Helianthus annuus* L.) production at México highlands. Crop Production-Physiology. Proc. 17th International Sunflower Conference, Córdoba, Spain. pp 411-415.

- FAOSTAT: Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database. 2017. Food and Agriculture Organization. [accessed 2017 Sep 22]. <http://www.fao.org/faostat/en/#home>.
- Gallegos BCC, Velazco ET. 1970. El cultivo del girasol en la mesa central. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Sagarpa. México. Circular CIB. No. 30. 16 pp.
- García E. 1998. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México, México. 217 p.
- González JM, Jiménez E, Lázaro R, Mateos GG. 2007. Effect of type of cereal, heat processing of the cereal, and inclusion of fiber in the diet on productive performance and digestive traits of broilers. *Poultry Sci.* 86:1705-1715.
- Grobas S, Méndez J, Lázaro R, de Blas C, Mateos GG. 2001. Influence of Source and Percentage of Fat Added to Diet on Performance and Fatty Acid Composition of Egg Yolks of Two Strains of Laying Hens. *Poultry Sci.* 80:1171-1179.
- Hughes RJ. 2004. The rate of passage of digesta influences energy metabolism in broiler chicken. *Proceedings of Australian Poultry Science Symposium.* 16:63-66.
- Jacob JP, Mitaru BN, Mbugua PN, Blair R. 1996. The feeding value of Kenyan sorghum, sunflower seed cake and sesame seed cake for broilers and layers. *Anim. Feed Sci. Tech.* 61:41-56.
- Karunajeewa H, Tham SH, Abu-Serewa S. 1989. Sunflower Seed Meal, Sunflower Oil and Full-fat Sunflower Seeds, Hulls and Kernels for Laying Hens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 26:45-54.
- Kaczmarek SA, Hejdysz M, Kubis M, Kasprowicz-Potocka M, Rutkowski A. 2016. The nutritional value of yellow lupin (*Lupinus luteus* L.) for broilers. *Anim. Feed Sci. Tech.* 222:43-53.
- Kimiaetalab MV, Cámara LC, Goudarzi MS, Jiménez ME, Mateos GG. 2017. Effects of the inclusion of sunflower hulls in the diet on growth performance and digestive tract traits of broilers and pullets fed a broiler diet from zero to 21 d of age. A comparative study. *Poultry Sci.* 96:581-592

- Leeson S, Summers DJ. 2001. Scott's Nutrition of the Chicken-Fourth edition. Department of Animal and Poultry Science. University of Guelph. Guelph, Ontario, Canada N1G 2W1. 83-99, 151-175.
- Luckett S, Garcia RS, Barker JJ, Konarev AV, Shewry PR, Clarke AR, Brady RL. 1999. High resolution structure of a potent cyclic proteinase inhibitor from sunflowers. *J. Mol. Biol.* 90:525-533.
- Martínez M, Savón S, Dihigo LE, Hernández Y, Oramas A, Sierra F, Montejo A, Cueto A, Herrera FR. 2010. Indicadores fermentativos cecales y sanguíneos en pollos de ceba que consumen harina de follaje de *Morus alba* en la ración. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 44: 49-53.
- Mateos GG, Sell JL, Eastwood JA. 1982. Rate of Food Passage (Transit Time) as Influenced by Level of Supplemental Fat. *Poultry Sci.* 61:94-100.
- Mateos GG, Jiménez ME, Serrano MP, Lázaro RP. 2012. Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. *J. Appl. Poultry Res.* 21:156-174.
- Myers WD, Ludden PA, Nayigihugu V, Hess BW. 2004. Technical Note: A procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. *J. Anim. Sci.* 82:179-183
- Nalle CL, Ravindran G, Ravindran V. 2012. Nutritional value of white lupins (*Lupinus albus*) for broilers: apparent metabolisable energy, apparent ileal amino acid digestibility and production performance. *Animal.* 6:579-585.
- Norma Oficial Mexicana. 2015. NOM-033-SAG/ZOO-2014. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. 26 de agosto del 2015. Diario Oficial de la Federación. México.
- NRC: National Research Council. 1994. Nutrient requirements of poultry. Washington, D.C. 44-45 pp.
- Rodríguez R, Martínez M, Valdivié M, Cisneros M, Cárdenas M, Sarduy L. 2006. Morfometría del tracto gastrointestinal y sus órganos. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 40: 361-365
- SAS Institute, Inc. 2011. SAS User's Guide: Statistics version. SAS Institute, Inc. Cary, NC. 959.

- SIAP: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2017. Cierre de la producción agrícola por estado. [accessed 2017 Sep 22]. <https://www.gob.mx/siap/>.
- Shafer DJ, Carey JB, Prochaska JF. 1996. Effect of dietary methionine intake on egg component yield and composition. *Poultry Sci.* 75:1080-1085.
- Shi SR, Lu J, Tong HB, Zou JM, Wang KH. 2012. Effects of graded replacement of soybean meal by sunflower seed meal in laying hen diets on hen performance, egg quality, egg fatty acid composition, and cholesterol content. *J. Appl. Poultry Res.* 21:367-374.
- Tsuzuki ET, Garcia ER, Murakami AE, Sakamoto MI, Galli JR. 2003. Utilization of Sunflower Seed in Laying Hen Rations. *Braz. J. Poult. Sci.* 5:179-182.
- Van-Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy. Sci.* 74:3883-3597.
- Yimenu SM, Kim JY, Kim BS. 2017. Prediction of egg freshness during storage using electronic nose. *Poultry Sci.* 96:3733-3746.
- Žilić S, Barać M, Pešić M, Crevar M, Stanojević S, Nišavić A, Saratlić G, Tolimir M. 2010. characterization of sunflower seed and kernel proteins. *Hellia.* 33:103-114.

CAPÍTULO 6. ANEXOS

Table 8. Proximal composition of the whole sunflower seed (*Heliantus annuus* L. var. Victoria).

Fractions, %	Whole sunflower seed
Dry mater	94.34
Ash	3.88
Crude protein	19.80
Ether extract	40.85
Neutral detergent fiber	28.76
Acid detergent fiber	26.96
Crude lignin	14.31

Table 9. Proximal composition of sunflower husk.

Fractions, %	Sunflower husk
Dry mater	90.48
Ash	3.73
Crude protein	8.00
Ether extract	5.22
Neutral detergent fiber	63.19
Acid detergent fiber	56.01
Crude lignin	18.01