



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

Desarrollo de alimento balanceado para producción de huevo orgánico a partir de harinas de microalga y larva de mosca soldado

Tesis

Que como parte de los requisitos para
obtener el Grado de
Maestro en Ingeniería en Biosistemas

Presenta

IBT Marta Montserrat Tovar Ramírez

Dirigido por:

Dr. Juan Fernando García Trejo

Querétaro, Qro. a junio de 2021



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería en Biosistemas

Desarrollo de alimento balanceado para producción de huevo orgánico a partir de harinas de microalga y larva de mosca soldado

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestría en Ingeniería en Biosistemas

Presenta:

IBT Marta Montserrat Tovar Ramírez

Dirigido por:

Dr. Juan Fernando García Trejo

Dr. Juan Fernando García Trejo
Presidente

Dra. Ana Angélica Feregrino Pérez
Secretario

Dr. Genaro Martin Soto Zarazúa
Vocal

Dr. José Guadalupe Gómez Soto
Suplente

Dr. Ramón Gerardo Guevara González
Suplente

Firma
Firma
Firma
Firma
Firma

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Junio del 2021

Agradecimientos

A Dios, por ayudarme a aprender de mis errores, dándome la fortaleza y sabiduría necesaria en cada situación. A mis padres y hermanos, gracias por continuar dándome todo su amor y apoyo en cada decisión que he tomado. Por entenderme en los momentos de mayor crisis y demostrarme que no estoy sola. Este logro también es suyo.

A mi director de tesis, Dr. Juan Fernando García Trejo, por creer en mí y darme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto. Gracias por compartir siempre sus conocimientos, por su orientación y consejos.

A mis amigos y compañeros del Laboratorio de Bioingeniería por el apoyo que me dieron para realizar este proyecto sobre todo en los momentos de crisis, gracias por su paciencia y comprensión. Especialmente a mis amigas Vanessa, Isabel y Jimena por su apoyo incondicional.

A CONACYT y a la Universidad Autónoma de Querétaro por otorgarme el financiamiento para el desarrollo de este proyecto de posgrado y poder obtener así el grado de maestro en ciencias.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ANTECEDENTES	5
2.1	GALLINAS.....	5
2.2	RHODE ISLAND.....	6
2.3	ALIMENTACIÓN	9
2.3.1	<i>Energía.....</i>	9
2.3.2	<i>Proteína</i>	10
2.3.3	<i>Minerales.....</i>	12
2.3.4	<i>Vitaminas.....</i>	12
2.4	FORMULACIÓN DE ALIMENTOS.....	13
2.5	INSUMOS UTILIZADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS.....	14
2.5.1	<i>Maíz.....</i>	14
2.5.2	<i>Trigo.....</i>	15
2.5.3	<i>Soja.....</i>	16
2.5.4	<i>Harina de pescado.....</i>	16
2.5.5	<i>Larva de mosca soldado negra.....</i>	16
2.5.6	<i>Microalga.....</i>	18
2.6	PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS.....	20
3.	HIPÓTESIS	23
4.	OBJETIVOS	24
4.1	OBJETIVO GENERAL	24
4.2	OBJETIVOS PARTICULARES.....	24
5.	METODOLOGÍA.....	25
5.1	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	25
5.2	DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LAS HARINAS.....	26
5.2.1	<i>Obtención de microalga</i>	26
5.2.2	<i>Obtención de larva de mosca soldado negra</i>	27

5.2.3	<i>Harinas comerciales</i>	28
5.2.4	<i>Caracterización de las harinas</i>	28
5.3	BALANCE TEÓRICO Y FORMULACIÓN DEL ALIMENTO	30
5.4	EFFECTO DEL ALIMENTO BALANCEADO MEDIANTE PRUEBAS IN VIVO.....	32
5.4.1	<i>Diseño experimental</i>	33
5.4.2	<i>Determinación de variables en la gallina ponedora</i>	33
5.5	DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL HUEVO	34
5.5.1	<i>Peso de huevo integro, peso y altura de clara y yema</i>	35
5.5.2	<i>Diámetro ecuatorial, máximo polar y cámara de aire</i>	35
5.5.3	<i>Grosor y peso del cascarón</i>	36
5.5.4	<i>Color de cascarón y yema</i>	36
5.6	CALIDAD QUÍMICA DEL HUEVO	37
5.7	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	37
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
6.1	DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LAS HARINAS	38
6.1.1	<i>Caracterización de las harinas</i>	38
6.2	BALANCE TEÓRICO Y FORMULACIÓN DEL ALIMENTO	42
6.2.1	<i>Balance teórico para la primera etapa</i>	42
6.2.2	<i>Balance teórico para la segunda etapa</i>	44
6.2.3	<i>Balance teórico para la tercera etapa</i>	45
6.2.4	<i>Formulación de los alimentos balanceados</i>	46
6.2.5	<i>Caracterización química de los alimentos desarrollados</i>	48
6.3	EFFECTO DEL ALIMENTO BALANCEADO IN VIVO.....	49
6.3.1	<i>Ganancia de peso corporal y parámetros productivos de la gallina ponedora</i>	49
6.3.2	<i>Inicio del periodo de puesta y producción de huevo</i>	54
6.4	DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD FISICOQUÍMICA DEL HUEVO	55
6.4.1	<i>Peso huevo</i>	55
6.4.2	<i>Peso y altura de clara y yema</i>	57
6.4.3	<i>Diámetro ecuatorial, máximo polar</i>	58
6.4.4	<i>Grosor y peso del cascarón</i>	59
6.4.5	<i>Color de cascarón y yema</i>	60

6.5	EVALUACIÓN FINAL	64
7.	CONCLUSIONES	66
8.	REFERENCIAS.....	67

Dirección General de Bibliotecas UAQ

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requerimiento de nutrientes para gallina ponedora de huevo marrón en cuatro etapas de ciclo de vida.....	7
Tabla 2. Parámetros productivos promedio para el periodo de puesta (de la semana 18 a la 100 de vida).....	8
Tabla 3. Contenido de proteína cruda, fibra cruda, minerales (Ca, K, Na) y ácidos grasos de <i>N. Limnetica</i>	19
Tabla 4. Contenido de aminoácidos en <i>N. Limnetica</i>	20
Tabla 5. Caracterización química de insumos utilizados para el desarrollo del alimento balanceado para gallina ponedora.....	40
Tabla 6. Contenido de minerales en insumos utilizados para el desarrollo de alimento balanceado para gallina ponedora.....	40
Tabla 7. Perfil de aminoácidos de las harinas utilizadas para el desarrollo del alimento balanceado.....	41
Tabla 8. Etapas del ciclo de vida de la gallina ponedora, según su edad en semanas.....	42
Tabla 9. Balance teórico de alimento A para gallina ponedora en etapa de desarrollo (4-17 semanas de vida) utilizando 10% larva de mosca soldado negro.....	43
Tabla 10. Balance teórico de alimento B para gallina ponedora en etapa de desarrollo (4-17 semanas de vida) utilizando 10% larva de mosca soldado negro y 2% de microalga.....	43
Tabla 11. Balance teórico del alimento A para gallina ponedora en etapa de desarrollo (13-17 semanas de vida) utilizando 10% larva de mosca soldado negro.....	44

Tabla 12. Balance teórico del alimento B para gallina ponedora en etapa de desarrollo (13-17 semanas de vida) utilizando 10% larva de mosca soldado negro y 2% de microalga.....	44
Tabla 13. Balance teórico del alimento A para gallina ponedora en etapa de postura (18 semanas de vida en adelante) utilizando 10% larva de mosca soldado negro.	45
Tabla 14. Balance teórico del alimento B para gallina ponedora en etapa de postura (18 semanas de vida en adelante) utilizando 10% larva de mosca soldado negro y 2% microalga.....	46
Tabla 15. Caracterización química de alimentos desarrollados y alimento comercial para gallina ponedora.....	48
Tabla 16. Contenido de minerales en alimentos desarrollados y alimento comercial para gallina ponedora.....	48
Tabla 17. Porcentaje de huevos producidos para cada categoría de tamaño según la NMX-FF-127-SCFI-2016 en cada alimento proporcionado.	57
Tabla 18. Kilogramos de huevo producido por gallina para cada alimento proporcionado.	57
Tabla 19. Contenido porcentual de yema y clara por huevo para cada alimento proporcionado.	58
Tabla 20. Unidades Haugh para clasificación de huevo fresco en cada alimento proporcionado.	58
Tabla 21. Valores de índice de forma de huevo para los distintos alimentos utilizados.	59
Tabla 22. Contenido porcentual de cascarón por huevo para cada alimento proporcionado.	60

Tabla 23. Evaluación final de la calidad física del huevo producido en cada alimento balanceado..... 64

Dirección General de Bibliotecas UAQ

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de peso corporal promedio desde la semana 2 hasta la semana 50 de vida.....	6
Figura 2. Diagrama de flujo de las actividades que se realizaron para el desarrollo de un alimento a base de harinas de microalga y larva de mosca soldado.	25
Figura 3. Cultivo de cepas de microalgas <i>Chlorella vulgaris</i> y <i>Nannochloropsis limnetica</i>	26
Figura 4. Fotobioreactor inoculado con cepa de microalga para etapa de escalamiento.	27
Figura 5. Alimentación de larva de mosca soldado negro con residuos orgánicos (izquierda) y larva de mosca soldado antes de ser sacrificadas (derecha).	27
Figura 6. Materias primas utilizadas para la elaboración del alimento balanceado para gallina ponedora. Alimento con 10% larva de mosca soldado negro (A); alimento con 10% larva de mosca soldado negro y 2% microalga (B).	31
Figura 7. Homogenización de las mezclas de los alimentos balanceados con una batidora blazer bf25 (Figura A). Mezcla homogenizada para su posterior peletizado (Figura B).	31
Figura 8. Pellet obtenido después del proceso de homogenización y peletización de las harinas.	32
Figura 9. Vista interior de las unidades adaptadas con los requerimientos necesarios para el desarrollo de las gallinas.	33
Figura 10. Báscula digital utilizada para el pesaje de las gallinas (izquierda) y gallina ponedora en cubeta para ser pesada (derecha).	34
Figura 11. Determinación del peso total de huevo.	35
Figura 12. Determinación del máximo polar con vernier marca MITUTOYO.	36

Figura 13. Determinación del grosor del cascarón (izquierda) y determinación del peso del cascarón (derecha).....	36
Figura 14. Determinación de colorimétrica en la yema de huevo.....	37
Figura 15. En la imagen A se muestra la harina de maíz y en imagen B el gluten de trigo, ambos insumos utilizados para el desarrollo del alimento balanceado.	38
Figura 16. En la imagen A se muestra el salvado de trigo y en imagen B la pasta de soya, ambos insumos utilizados para el desarrollo del alimento balanceado.	39
Figura 17. En la imagen A se muestra la harina de larva de mosca soldado negro y en imagen B la harina de microalga, ambos insumos utilizados para el desarrollo del alimento balanceado.	39
Figura 18. Pellets obtenidos en alimento A con 10% larva de mosca soldado negro (A) y pellets obtenidos en alimento B con 10% larva de mosca soldado negro y 2% microalga (B).	46
Figura 19. Tamaño de pellet obtenido para los distintos alimentos en todas las etapas del ciclo de vida de la gallina ponedora.	47
Figura 20. Pellets triturados en molino de piedras.	47
Figura 21. Peso corporal promedio final para cada alimento balanceado y en cada etapa de desarrollo de las gallinas ponedoras.	50
Figura 22. Tasa de crecimiento específico en kilogramo por día para cada alimento balanceado en cada etapa de desarrollo de las gallinas ponedoras.	51
Figura 23. Porcentaje de supervivencia para cada alimento balanceado en cada etapa de desarrollo de las gallinas ponedoras.	51
Figura 24. Comportamiento del peso corporal de las gallinas ponedoras durante la primera etapa del ciclo de vida.....	52

Figura 25. Comportamiento del peso corporal de las gallinas ponedoras durante la segunda etapa del ciclo de vida.	53
Figura 26. Comportamiento del peso corporal de las gallinas ponedoras durante la tercera etapa del ciclo de vida.	54
Figura 27. Comparación de la producción de huevo para cada uno de los alimentos balanceados desde el inicio de puesta.	55
Figura 28. Comportamiento del peso del huevo integro a partir del inicio de puesta de cada alimento balanceado.	56
Figura 29. Comparación del grosor del cascarón del huevo de cada alimento balanceado.	59
Figura 30. Comportamiento de la variable L^* para color de cascarón por cada tratamiento durante la tercera etapa.	61
Figura 31. Comportamiento de la variable a^* para color de cascarón por cada tratamiento durante la tercera etapa.	61
Figura 32. Comportamiento de la variable b^* para color de cascarón por cada tratamiento durante la tercera etapa.	62
Figura 33. Comportamiento de la variable L^* para color de yema por cada tratamiento durante la tercera etapa.	63
Figura 34. Comportamiento de la variable a^* para color de yema por cada tratamiento durante la tercera etapa.	63
Figura 35. Comportamiento de la variable b^* para color de yema por cada tratamiento durante la tercera etapa.	64

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar un alimento balanceado a partir de harinas de larva de mosca soldado negro y microalga que permitiera cumplir con los requerimientos de la gallina ponedora raza Rhode Island Red. El ciclo de vida de la gallina se dividió en tres etapas, por lo que se realizó un balance teórico para cada una. Se formuló el alimento y se desarrolló en forma de pellets. Se le realizaron análisis fisicoquímicos para determinar la calidad nutricional. Se evaluó in vivo, para lo que se utilizaron 93 gallinas divididas al azar en tres gallineros. Se proporcionó el alimento ad libitum a cada grupo. Los resultados mostraron una mejora en el inicio de edad de puesta, tamaño de huevo y color de cascara y yema. Por lo tanto, se concluye que el alimento fue capaz de mejorar la calidad física del huevo.

Palabras claves:

Alimentos balanceados, avicultura, larva de mosca soldado negro, microalgas, calidad del huevo.

Dirección General de Bibliotecas UJQ

ABSTRACT

The project's aim was to develop a balanced feed using black soldier fly larvae meal and microalgae meal that allows to meet the nutritional requirements of Rhode Island breed layers. The life cycle of laying hens was divided in three stages. A theoretical balance was made for each stage. The feed was formulated and developed in shape of pellet. Physicochemical analyses were performed to determine its nutritional quality. The feed was evaluated in vivo, to this was used 93 laying hens randomly divided in three units. The feed was provided ad libitum to each unit. The results show a better laying age, size of egg and color of eggshell and yolk. In conclusion, the feed was able to improve the physical quality eggs.

Keywords:

Balanced feeds, poultry, black soldier fly larvae, microalgae, egg quality

1. INTRODUCCIÓN

Según datos de la FAO, 2017, se estima que para el año 2030 la población mundial alcance los 8500 millones de personas (FAO, 2017). De manera simultánea ha incrementado la demanda de alimentos, en especial los productos de origen animal como pescado, leche, huevo, carne de pollo, res y cerdo. En particular, el huevo es considerado uno de los alimentos más ricos en nutrientes, una de las fuentes de proteína de alta calidad más económicas y un producto de fácil acceso (Farrell, 2013). A causa de ello, el crecimiento en la producción de huevo ha ido de las 61.7 mil toneladas en 2008 a 76.7 mil toneladas en 2018; siendo los principales productores China, Estados Unidos y México (Windhorst, 2013). A nivel nacional ha tenido un crecimiento del 2.8% promedio en los últimos años, lo que equivale a 2.8 millones de toneladas de huevo (UNA, 2019). Para lograr este incremento en la producción se ha hecho uso de diferentes tecnologías como mejoramiento genético y el manejo y sanidad en las instalaciones avícolas, entre otras (Sustainable Agriculture Research Education, 2012). Por ejemplo, los avances en genética hacen que las razas sean más productivas y para fines especializados, pero necesita un manejo experto. El manejo y la sanidad en instalaciones aumenta la seguridad de consumo, pero solo se han beneficiado grandes productores debido a los costos de implementación (FAO, 2018). A pesar de ello, las estrategias para incrementar la producción avícola no han logrado satisfacer la demanda de producto. De manera que, se ha prestado gran interés en la alimentación avícola, como aspecto esencial para mejorar los rendimientos productivos.

Debido a lo anterior, los avances en la alimentación han cambiado la percepción de buscar satisfacer un requerimiento nutricional en la dieta (un porcentaje) para prevenir una deficiencia; a buscar ahora optimizar el crecimiento y mejorar los rendimientos de producción de huevo por unidad de ingesta de nutrientes (Applegate and Angel, 2014). Aun así, la eficiencia alimenticia continua sin ser del todo eficiente, atribuyéndolo entonces a la calidad de los alimentos, los cuales presentan componentes no deseados (anti nutrientes) y nutrientes indigeribles

(Ravindran, 2011). Para mejorar la alimentación avícola es necesario identificar los cinco nutrientes esenciales en la dieta y su importancia: energía, proteína, minerales, vitaminas y agua. La energía, aunque es una propiedad de los nutrientes, es crítica para tener un buen rendimiento (NRC, 1994). Por ejemplo, durante las primeras semanas de vida no son capaces de regular el aporte energético por lo que un aumento de energía en la dieta se reflejará en un mayor crecimiento (Genetics, 2019). Por otro lado, tanto las vitaminas como los minerales son necesarios para la regulación homeostática y como mediadores en los procesos bioquímicos del organismo. En especial para la gallina ponedora los minerales como el Calcio son esenciales en la dieta para la formación del cascarón del huevo (NRC, 1994; Elwinger et al., 2016; Blair, 2018). Por último, la proteína es considerada uno de los nutrientes más importantes en la dieta de las ponedoras. Ésta tiene la función de proporcionar los aminoácidos necesarios para desarrollo muscular y síntesis de la proteína del huevo (Ravindran, 2013a). No obstante, es el elemento más costoso, por lo que es importante maximizar la eficiencia de su utilización (Ravindran, 2012).

Actualmente, las dietas se componen de una mezcla de cereales, harina de soya, harina de productos animales y pre mezclas de vitaminas y minerales; con los cuales se espera cumplir con los requerimientos nutrimentales. Por ejemplo, como fuente de energía se utilizan el maíz y sorgo, grasas animales y aceites vegetales. Como fuente de proteína vegetal se utiliza la harina de soja y semillas de oleaginosas. Para la proteína animal la harina de pescado y la harina de carne (NRC, 1994; Elwinger et al., 2016). No obstante, en los últimos años hay una escasez de materia prima para la elaboración de alimentos avícolas por las condiciones climáticas, sobreexplotación de fuentes marinas, además de la competencia para la producción de biocombustibles. Esto ha generado que el costo de producción de alimentos sea alto, lo cual repercute sobre los costos de producción de huevo, representando hasta un 60% del total de la producción avícola (Matthews and Sumner, 2015; Secci et al., 2018). Por lo tanto, es necesario que el enfoque de la alimentación avícola sea reducir los costos de producción y además

proporcionar una dieta que mejore la nutrición de las gallinas. Para ello se presentan dos alternativas de ingredientes que pueden permitir dicho objetivo.

Las microalgas han ganado un gran interés en la investigación permitiendo un desarrollo comercial y una amplia lista de aplicaciones (Gomez, 2007). Su composición química es alta en contenido de proteínas, tiene buen perfil de ácidos grasos poliinsaturados como omega 3 y 6 (Gomez, 2015; Vizcaino, 2017). Por ello, algunos estudios sugieren su uso en la alimentación de las gallinas ponedoras. Wu y colaboradores en el 2018, evaluaron el uso de *Nannochloropsis* (NS) para enriquecer la yema de huevo con ácidos grasos poliinsaturados. Los resultados mostraron un incremento en los ácidos grasos sin afectar el rendimiento productivo. Por lo que concluyen que es factible el reemplazo de la harina de soya por harina de microalga (Wu et al., 2018). En otro estudio se determinó el efecto de la suplementación de *Nannochloropsis* sobre el enriquecimiento de huevos y tejidos de gallinas. Se obtuvo un incremento en la concentración de ácido eicosapentaenoico (EPA), ácido docosahexaenoico (DHA) y ácidos grasos (omega 3) totales en la yema de huevo, hígado, pecho y muslo (Manor et al., 2019).

Por otro lado, la larva de mosca soldado negra (MSN), tiene la capacidad de reducir el porcentaje de nitrógeno y fósforo de residuos orgánicos lo que genera que su composición sea de hasta 40-44% de proteína cruda (Harinder et al., 2014). Una ventaja para su uso como alimento es que su composición química puede variar dependiendo el tipo de alimentación que se le proporcione, lo que amplía el campo de estudio (Sánchez et al., 2014). Algunos estudios como Ruhnke y colaboradores, en 2018, sugieren su uso como suplemento en la alimentación de gallinas, concluyendo que no afecta el nivel de aceptación del alimento, la calidad del huevo, ni el rendimiento de producción (Ruhnke et al., 2018b). Otro estudio que concuerda con los resultados anteriores es el de Kawasaki y colaboradores (2019) donde se evaluó el efecto de una dieta suplementada con MSN sobre el consumo de alimento y el rendimiento de producción sin encontrar diferencias significativas, por lo que

concluyen que tiene el potencial de reemplazar la harina de soya en el alimento de las gallinas ponedoras (Kawasaki et al., 2019).

Dirección General de Bibliotecas UAQ

2. ANTECEDENTES

2.1 Gallinas

La gallina es el ancestro común de todas las aves domésticas, dentro de éstas destacan las productoras de huevo para plato, las destinadas al consumo de carne y las aves de combate (Trujillo et al., 2014). Éstas son animales homeotermos, monogástricos y omnívoros. Se caracterizan por contar con cuatro dedos en sus patas adaptados para escarbar, cuerpo pesado y alas cortas, por lo que solo pueden volar distancias muy cortas; tanto el macho como la hembra tienen una cresta desnuda y carnosas, siendo más prominente en el macho (Molina, 2013). En general, las ponedoras de huevo tienen una maduración sexual entre los 150-160 días de edad (21-23 semanas) (Trujillo et al., 2014).

La raza se define por el tipo de características fenotípicas y genotípicas de un grupo específico y que se transmiten generación a generación. Pueden dividirse en tres tipos según su peso corporal: pesadas, semipesadas y livianas. Las razas livianas son originales de Italia, son excelentes productoras de huevo, precoces y persistentes. Su peso es máximo 2 kg., el color del cascarón es blanco; el color de las plumas también es blanco, pero algunas pueden ser color negro. Algunos ejemplos de este tipo de gallinas es Lohmann LSL, Hysex White, Isa White, entre otras. Las razas pesadas son de origen inglés y asiático, tiene como principal característica su ancha pechuga. Son deficientes como productoras de huevo, pero tienen un rápido engorde, facilidad de conversión de alimento en carne, predominan las de pluma blanca. Como principales razas comerciales se encuentra la Lohmann broiler, ross x ross, hubbard. Cobb 500, entre otros. Por su parte, las razas semipesadas o llamadas también de doble utilidad son caracterizadas por tener un buen nivel de postura y además ser eficientes para engordar. Generalmente son de plumaje color castaño, aunque puede haber negras y blancas. Tiene buena adaptabilidad al ambiente, color del cascarón es marrón, son tranquilas y encluecan fácilmente. Como líneas comerciales están la Rhode Island roja, la Wyandotte, la

New Hampshire, la Plymouth Rock, Lohmann Brown, hisex Brown, isa Brown, hy line Brown, bacon y algunas más (Echeverría, 1992; Pedroza, 2005)

2.2 Rhode Island

La gallina Rhode Island es de las razas de doble propósito más utilizadas. Es proveniente de Norte América del estado Rhode Island en el año 1845, aproximadamente. Es una raza que enclueca fácilmente, se adapta bien al espacio que se le proporcione; se caracteriza por tener plumaje rojo y algunas plumas negras en la cola (Quintana, 2011). Esta raza se desarrolló con la finalidad de proporcionar carne y huevos, aunque es más común su uso únicamente como productora de huevo. Debido a su finalidad inicial, el peso corporal de los machos es de 4 kg y el de las hembras es de 2-3 kg aproximadamente. En la Figura 1 se muestra la curva de peso corporal aproximado que deben tener las gallinas. Por otro lado, esta raza produce huevos color marrón y su tasa de producción es mayor a los 200-300 huevos por año.



Figura 1. Curva de peso corporal promedio desde la semana 2 hasta la semana 50 de vida

Esta raza es considerada una de las mejores productoras de huevo marrón, a pesar de ello existen ciertos factores que deben considerarse para mantener un buen rendimiento en la producción de huevo (Bell and Weaver, 2002). Uno de estos factores es el peso corporal que deben alcanzar las gallinas al inicio del ciclo de postura. Este peso corporal óptimo es determinado por el alimento proporcionado (cantidad de nutrientes, energía, entre otros) a las gallinas durante el periodo de desarrollo, principalmente. Para esto es necesario conocer que nutrientes requieren las gallinas de postura en las etapas de su ciclo de vida (Tabla 1).

Tabla 1. Requerimiento de nutrientes para gallina ponedora de huevo marrón en cuatro etapas de ciclo de vida.

NUTRIENTE		Etapa de ciclo de vida			
		0-6 semanas	6-12 semanas	12-18 semanas	18 al primer huevo
Energía de la dieta	Kcal ME/kg dieta	2800	2800	2850	2850
Proteína cruda	%	17	15	14	16
Arginina	%	0.94	0.78	0.62	0.72
Glicina + serina	%	0.66	0.54	0.44	0.5
Histidina	%	0.25	0.21	0.16	0.18
Isoleucina	%	0.57	0.47	0.37	0.42
Leucina	%	1	0.8	0.65	0.75
Lisina	%	0.8	0.56	0.42	0.49
Metionina	%	0.28	0.23	0.19	0.21
Metionina + cistina	%	0.59	0.49	0.39	0.44
Fenilalanina	%	0.51	0.42	0.34	0.38
Fenilalanina + tirosina	%	0.94	0.78	0.63	0.7
Treonina	%	0.64	0.53	0.35	0.44
Triptófano	%	0.16	0.13	0.1	0.11
Valina	%	0.59	0.49	0.38	0.43
Acido linoleico	%	1	1	1	1
Calcio	%	0.9	0.8	0.8	1.8
Fosforo	%	0.4	0.35	0.3	0.35
Potasio	%	0.25	0.25	0.25	0.25
Sodio	%	0.15	0.15	0.15	0.15

Cloro	%	0.12	0.11	0.11	0.11
Magnesio	mg	570	470	370	370
Manganeso	mg	56	28	28	28
Zinc	mg	38	33	33	33
Hierro	mg	75	56	56	56.0
Cobre	mg	5	4	4	4
Yodo	mg	0.33	0.33	0.33	0.33
Selenio	mg	0.14	0.1	0.1	0.1
Vitamina A	IU	1420	1420	1420	1420
Vitamina D	ICU	190	190	190	280
Vitamina E	IU	9.5	4.7	4.7	4.7
Vitamina K	mg	0.47	0.47	0.47	0.47
Riboflavina	mg	3.4	1.7	1.7	1.7
Ácido pantoténico	mg	9.4	9.4	9.4	9.4
Niacina	mg	26	10.3	10.3	10.3
Vitamina B12	mg	0.009	0.003	0.003	0.003
Colina	mg	1225	850	470	470
Biotina	mg	0.14	0.09	0.09	0.09
Ácido fólico	mg	0.52	0.23	0.23	0.23
Tiamina	mg	1	1	0.8	0.8
Piridoxina	mg	2.8	2.8	2.8	2.8

Los rendimientos productivos de las gallinas no solo se verán influenciados por la alimentación, sino también por las buenas prácticas de manejo y el alojamiento adecuado. Para comparar los rendimientos productivos de las ponedoras existen guías que indican mínimos y máximos aceptables, como la que se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros productivos promedio para el periodo de puesta (de la semana 18 a la 100 de vida)

PERIODO DE PUESTA	De 18 a la 100 semana de vida
Habitabilidad	93%
Edad al 50% de producción	144 días
Pico de producción	96%
Peso medio del huevo	63.1 g
Huevos por gallina alojada	466
Ingesta promedio de alimento	111g/día

Tasa de conversión de alimento	2.14 kg/kg
Peso corporal	2005 g
Resistencia de la cascara	4100 g/cm ²
Color de la cascara	17.0 Lab
Unidades Haugh	82

2.3 Alimentación

Para mantener un buen estado de salud y buenos rendimientos productivos es necesario proporcionar los nutrientes requeridos. Estos son obtenidos a través de una alimentación equilibrada que satisfaga las necesidades mínimas de nutrientes y energía. Estas necesidades van a depender del peso promedio de la raza y la producción de huevo que se maneje. Por lo tanto, el objetivo principal de la alimentación es proporcionar una nutrición base para la producción, que garantice menor mortalidad, un buen estado de salud, un tiempo de maduración sexual apropiado. Para gallina ponedora que permita optimizar los rendimientos, que de un mayor pico de producción y funciones inmunes optimas (Wang et al., 2017).

Aunado a lo anterior, se debe considerar que las gallinas criadas bajo un sistema orgánico con acceso al aire libre tienen un mayor gasto energético y una mayor variabilidad en su calor corporal. Estas consideraciones afectan directamente al consumo de alimento, el cual influye sobre la conversión alimenticia. Es decir, el aprovechamiento del alimento para la producción de huevo. Por lo que el índice de conversión se expresa como kilogramos de alimento necesario para producir una docena de huevos (Savage, 1988).

2.3.1 Energía

Uno de los aspectos más importantes en la dieta de las gallinas es la energía proporcionada ya que determina los rendimientos productivos. Un alimento como tal contiene la denominada energía bruta. Por lo tanto, la cantidad de dicha energía que sea aprovechada se conoce como energía digestible (energía bruta del alimento menos energía bruta de las heces); por otro lado, la energía metabolizable (medida más común en formulación de alimentos) es la energía bruta del alimento

consumido menos la energía bruta de heces, orina y productos gaseosos (NRC, 1994; Salas, 2013). Esta última, es la requerida para el mantenimiento y producción de las gallinas e interfiere directamente al consumo de alimento. Es decir, si el contenido energético de la dieta es bajo aumenta entonces el consumo de alimento. Lo que a su vez da una baja eficiencia del índice de conversión de alimento (Salvador and Garcia, 2017). Debido a lo anterior la energía metabolizable es la utilizada para determinar la disponibilidad energética de un alimento y así evaluar su valor nutricional y económico para las aves de corral (Yang et al., 2020). Al formular dietas para las gallinas, ésta suele ser el punto de partida para establecer las concentraciones del resto de nutrientes. Esto se basa en que las gallinas tienden a comer para satisfacer sus necesidades energéticas asumiendo que es rica en los nutrientes esenciales (NRC, 1994). sin embargo, a través del tiempo si el déficit de cierto nutriente continua, pueden dejar de consumir ese alimento. O en el caso de un déficit de aminoácidos puede resultar en un aumento del consumo de alimento.

2.3.2 Proteína

La cantidad de proteína usualmente es reportada como proteína cruda y hace referencia al contenido de nitrógeno. Esta determinación es necesaria en la dieta para satisfacer los requerimientos de aminoácidos. Específicamente en gallinas estos aminoácidos son esenciales para diversas funciones como formación de tejidos estructurales (piel, plumas, matriz ósea, ligamentos), tejidos blandos (órganos y músculos); también son precursores de funciones metabólicas, así como necesarios para la síntesis de la proteína del huevo (NRC, 1994; Ravindran, 2013a). Hay 22 aminoácidos de los cuales: arginina, metionina, histidina, fenilalanina, isoleucina, leucina, lisina, treonina, triptófano y valina, son esenciales. Es decir, estos no pueden ser sintetizados por el organismo y deben ser proporcionados a través de la dieta. Por otro lado, la cisteína y la tirosina son considerados semi esenciales ya que pueden sintetizarse a partir de metionina y fenilalanina, respectivamente (Blair, 2018). El resto se consideran no esenciales. En particular, la metionina es considerado uno de los aminoácidos más importantes ya que está involucrado en el crecimiento de las plumas, síntesis y degradación de proteínas,

eficiencia de la alimentación. Así como en el tamaño del huevo, la tasa de puesta y la salud inmunológica de las gallinas. Sin embargo, es difícil satisfacer la demanda de este aminoácido sin aumentar excesivamente la proteína cruda, afectando negativamente la salud por el incremento en la excreción de nitrógeno (Fanatico et al., 2018). Por otro lado, la lisina se considera el segundo aminoácido limitante; por lo que es utilizado como referencia para establecer las concentraciones ideales de los aminoácidos restantes. El déficit de este provoca una reducción del crecimiento, de la tasa de puesta, de la masa del huevo, crecimiento muscular, de la deposición de proteína, además, disminuye la conversión alimenticia (Ruan et al., 2019) Cumplir con las recomendaciones de aminoácidos resulta en un mejor rendimiento avícola y mejor calidad de la producción (Paulista and Jaboticabal, 2005).

Debido a lo anterior uno de los retos en la alimentación avícola es balancear los requerimientos de proteína con base al concepto de proteína ideal (equilibrio de aminoácidos esenciales deseables en cada etapa). Es decir, con cuatro o cinco aminoácidos esenciales disponibles en la alimentación es posible establecer dietas balanceadas. Para ello es importante conocer el contenido digestible o disponible de proteína y aminoácidos en cada alimento balanceado (Elwinger et al., 2016). Muchas plantas son altas en contenido de proteína vegetal. Por ejemplo, leguminosas como la soya es rica en proteína, pero tiene anti nutrientes como inhibidores de tripsina por lo que requiere pretratamientos para su uso en alimentación avícola. Algunos otros son el sésamo y las semillas de girasol los cuales su proteína es rica en metionina. No obstante, una de las limitaciones de la proteína vegetal es la deficiencia de lisina (Fanatico et al., 2018). Debido a esto una dieta basada en vegetales debe complementarse con proteína animal y/o aminoácidos sintéticos. No obstante, el precio de las fuentes de proteína animal es elevado por lo que suelen usarse como complemento en la dieta. La harina de pescado y la harina de carne son las dos fuentes de proteína animal más utilizadas (Ravindran, 2013b).

2.3.3 Minerales

Los minerales son nutrientes esenciales para que el organismo pueda cumplir con sus funciones metabólicas apropiadamente, como crecimiento y reproducción. Por lo que una deficiencia de estos resulta en bajo consumo de alimento, reduce la tasa de crecimiento, problemas óseos, de cría y reproductivos, además de un incremento en la mortalidad (Blair, 2018). Específicamente en gallinas ponedoras son necesarios para la formación del cascarón del huevo, calcio, fósforo y iones de carbonato son los más importantes para esto. Una gallina ponedora utiliza en el cascarón, durante un año, 40 veces el calcio presente en su propio esqueleto (Elwinger et al., 2016). Sin embargo, un exceso en el contenido de minerales como el calcio, puede interferir en la disponibilidad de otros minerales como fósforo, magnesio, manganeso y zinc (NRC, 1994). Otro de los minerales importantes es el selenio, este es considerado un antioxidante (en la alimentación humana); debido a esta función algunas investigaciones se han centrado en incrementar su contenido en el huevo (Kücükyilmaz and Bozkurt, 2017). Para lograr cumplir con los requerimientos de minerales, es común añadir suplementos en la dieta avícola, ya que los alimentos por si no suelen cubrir por completo las necesidades básicas.

Por otro lado, la importancia de los minerales también recae en el contenido nutricional del huevo. A éste se le considera como un alimento que contiene la mayoría de los minerales que requiere el cuerpo humano para la salud. La yema de huevo incluye hasta 22 mg de calcio, 66 mg de fósforo y 19 mg de potasio. Tiene la mayor cantidad de minerales traza, como hierro, zinc, cobre, yodo, manganeso, selenio, cromo, níquel y cobalto. La clara contiene sodio, cloro, magnesio. Potasio y sulfuro, así como minerales traza (Hester, 2017).

2.3.4 Vitaminas

Las vitaminas son compuestos orgánicos que requieren las gallinas para tener un crecimiento normal y mantener buena salud. La ausencia de éstas en la dieta puede resultar en enfermedades o síndromes. Generalmente se clasifican en dos tipos: liposolubles (A, D, E y K) y solubles en agua (complejo B y vitamina C). Además, a

excepción de la vitamina C, no pueden ser sintetizadas por el animal y, por consiguiente, deben ser obtenidas de la alimentación (NRC, 1994; Blair, 2018). Como se mencionaba la dieta influye directamente sobre el contenido de vitaminas en la composición del huevo. Es común encontrar en la yema todas las vitaminas liposolubles y el complejo B. Y, en la clara la única vitamina que se encuentra es la B2 (riboflavina), representando hasta un 61% del contenido total del huevo (Hester, 2017).

Las vitaminas son nutrientes necesarios para disminuir los efectos negativos del estrés por calor. La vitamina A es considerada un antioxidante que minimiza la peroxidación lipídica bajo condiciones de estrés. Además, es esencial para el desarrollo, crecimiento y fisiología reproductiva. Por otro lado, la vitamina E también es considerada un antioxidante esencial para la alimentación avícola con grandes beneficios bajo condiciones de estrés. El uso de ambas vitaminas en conjunto ha sido recomendado para mejorar la producción de gallinas ponedoras bajo condiciones de calor extremo (El-Hack et al., 2019). La vitamina B12 está muy relacionada al mecanismo del ácido fólico. Debido a ello es más utilizada para pollitos en crecimiento y gallinas reproductoras. Una deficiencia en esta puede disminuir el crecimiento, la eficiencia de alimentación y aumenta la mortalidad. Algunos estudios recientes sugieren que su uso junto a colina y ácido fólico puede incrementar la concentración de fosfatidilcolina o lecitina en yema; la cual es beneficiosa para inhibir el colesterol en consumidores de huevo y mejorar la memoria (Blair, 2018; Janist et al., 2019).

2.4 Formulación de alimentos

Un programa de alimentación adecuado será aquel que permita alcanzar el peso máximo antes de la madurez sexual por lo que el primer alimento utilizado debe ser alto en nutrientes (Herrero, 1995). Generalmente las dietas son formuladas para cubrir las necesidades fisiológicas de cada raza según la edad y la productividad (Mendoza et al., 2016). Sin embargo, no siempre se cumple con los requerimientos nutrimentales y haciendo énfasis en que el huevo es un producto de proteína de

excelente calidad; la dieta debería cumplir con el contenido de aminoácidos esenciales que satisfaga dicha necesidad proteica (NRC, 1994). Para ello en los últimos años se ha establecido que la formulación de alimentos debe realizarse a partir de los aminoácidos digestibles requeridos para permitir un mejor aprovechamiento metabólico. Además, de que contribuirá un mejor uso de los insumos en la elaboración de los alimentos, atacando así el costo de producción (Salvador and Garcia, 2017). Para la alimentación de gallinas, se ha utilizado la lisina como aminoácido de referencia al 100%, ya que es de fácil medición, por lo que los otros aminoácidos son expresados en valores relativos a esta (Cevallos et al., 2009).

2.5 Insumos utilizados para la producción de alimentos

Un insumo es todo aquel subproducto de origen vegetal o animal que proporcione los nutrientes necesarios para cada especie animal, y que a su vez permita la elaboración de un alimento ya sea en forma peletizada o extrusada si se elabora de manera comercial (Luchini and Wicki, 2016). Sin embargo, la alta demanda de ingredientes para la formulación de alimentos ha generado una disminución en su disponibilidad y un aumento en los costos (Secci et al., 2018). Debido a ello es común que las mezclas de insumos se realicen con base a las principales necesidades de nutrientes. Por ejemplo, como fuente energía se encuentran los cereales (principalmente el maíz), subproductos de estos, grasas animales y vegetales. Para proteína vegetal el más utilizado es la harina de soya. Para proteína animal, se encuentra la harina de pescado, de carne y de hueso. Como suplementos de minerales, caliza y conchas para calcio, harina de hueso, fosfato dicalcico y fosfato de desfluorado para fósforo y calcio. También se utilizan pre mezclas de oligoelementos, bicarbonato de sodio como fuente de sodio. Además de algunas pre mezclas de vitaminas y aminoácidos cristalinos (Ravindran, 2013b).

2.5.1 Maíz

El maíz es el grano más utilizado en avicultura para proveer energía metabolizable. Esta energía es obtenida del endospermo almidonado del grano, que se compone

de amilopectina y germen; punto donde se contiene la mayor parte del aceite. La mayoría de las variedades de maíz contienen un 3-4 % de aceite. Nuevas variedades del grano presentan hasta un 6-8% de aceite por lo que la energía proporcionada es mayor. Además, estas nuevas variedades contienen 2-3% más de proteína. A pesar de ello, la proteína del maíz no es del todo disponible para la dieta avícola (Leeson and Summers, 2009). Otra de las ventajas que presenta es un alto nivel en vitamina A y xantofilas, contribuyendo a la buena calidad de la yema y clara del huevo (Trujillo et al., 2014). Sin embargo, uno de los mayores problemas de su uso en la formulación de alimentos es el desvío de granos para la producción de etanol, siendo el maíz uno de los más utilizados. Esto ha causado un gran problema de abastecimiento y un drástico aumento en los precios (Ravindran, 2013b).

2.5.2 Trigo

El trigo es otro cereal utilizado como fuente de energía en dietas avícolas. Este tipo de cereal se clasifica en granos suaves y granos duros, caracterizados especialmente por el contenido de proteína. Los granos duros tienen mayor contenido de proteínas asociadas al almidón, lo que las hace altas en lisina. El nivel de proteína en granos duros puede ir del 10 al 18% y dependerá de las condiciones de cultivo. El contenido de proteína es mayor comparado con el maíz, pero provee un menor contenido de energía. Una de sus desventajas en el uso de alimentos es su contenido de pentosas (5-8%), ya que reduce la digestibilidad. Además, contiene inhibidores de amilasa, que pueden ser destruidos mediante un pretratamiento de calor. La consistencia física del trigo permite una mejor consistencia del granulo o pellet del alimento, sin embargo, una molienda excesiva del grano puede originar problemas de empastamiento en el pico de las aves, por lo que no se recomienda una inclusión de más del 30% (Leeson and Summers, 2009; Trujillo et al., 2014).

Por otro lado, se encuentre el salvado de trigo, el cual es alto en fibra, pero bajo en energía metabolizable. Además, es alto en proteínas y perfil de aminoácidos. Esto le ha permitido ser promotor del crecimiento de las aves y relacionado directamente con la contribución de la fibra a la dieta (Leeson and Summers, 2009).

2.5.3 Soja

La soja es considerada la fuente estándar de proteína a nivel mundial para la formulación de alimentos. La proteína que lo conforma tiene un perfil de aminoácidos excelente para la avicultura, y si se combina con maíz o sorgo el único aminoácido limitante sería la metionina. Tradicionalmente el nivel de proteína cruda es 44%, es alta en contenido de fibra y baja en energía metabolizable. A pesar de ello presenta algunas desventajas como contenido de antinutrientes como inhibidores de tripsina. Este reduce la tasa de crecimiento y la producción de huevo. Para eliminarlos es necesario dar un pretratamiento de calor (Leeson and Summers, 2009). Debido a su importancia en la alimentación animal, ha incrementado la producción de soja para satisfacer la alta demanda. Para ello ha surgido los cultivos genéticamente modificados con la finalidad de incrementar la tolerancia a herbicidas; esto ha traído consigo un debate entre el uso de este tipo de ingredientes, por lo que se ve comprometido el potencial de mejora de la calidad nutricional y se ve afectada la producción de este grano (Ravindran, 2013b).

2.5.4 Harina de pescado

Como fuentes de proteína animal se encuentra la harina de pescado. Aunque es más utilizada para acuicultura, suele utilizarse también como suplementación para la alimentación avícola. Es fuente de minerales (calcio, fósforo y oligoelementos), vitaminas del complejo B y ácidos grasos esenciales (omega 3, principalmente). A pesar de sus beneficios la inclusión de esta en la dieta avícola es limitada al 10% para prevenir un sabor de pescado en la carne. Su principal ventaja es la proteína de alta calidad y digestibilidad, desafortunadamente a su vez esto genera una desventaja que es su alto costo. Otra desventaja, especialmente para la producción orgánica, es que en esta no se permiten los subproductos de sacrificio de animales para la alimentación (Leeson and Summers, 2009; Fanatico et al., 2018). Debido a esto es necesario que surjan otras fuentes de proteína.

2.5.5 Larva de mosca soldado negra

En la avicultura orgánica, las gallinas son criadas al aire libre pero alimentadas con suplementos para satisfacer las necesidades nutrimentales. Sin embargo, el acceso

a estos suplementos puede tener ciertas consecuencias; por ejemplo, la pastura al aire libre está asociada a una malnutrición, un incremento de la mortalidad y un impacto negativo en el intestino (Ruhnke et al., 2018a). Esto ha generado un impulso a buscar nuevas alternativas para la alimentación de las gallinas. Los insectos han mostrado ser una buena alternativa para la formulación de alimentos. En avicultura el interés ha incrementado ya que forman parte de la dieta natural de las aves. De manera general, los insectos son ricos en aminoácidos, ácidos grasos y micronutrientes, además de que tienen un crecimiento rápido. Algunos insectos de los que se ha documentado su valor nutricional son larva/pre pupa de polilla, mosca soldado negra, gusano de la mosca doméstica, gusano de la harina, entre otros; criados bajo diferentes sustratos orgánicos (Secci et al., 2018). En especial, la mosca soldado negra, la mosca doméstica y el gusano de la harina han mostrado un gran potencial para su producción a gran escala (Mwaniki et al., 2020).

En particular, la larva de mosca soldado negra tiene la capacidad de bioconversión de residuos orgánicos como estiércol y residuos de cultivos y comida en proteína de alta calidad. Esto genera que la larva llegue a tener un 42% de proteína y 35% de grasas, aproximadamente. Además, algunos autores han reportado un contenido de 5139 kcal ME/kg en base de materia seca y un 0.9% de metionina. Una ventaja sobre otros insectos es que tiene un alto contenido en calcio y predominan los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados. El 70% de los nutrientes que la conforman proviene de los desechos que consume, por lo que su composición puede variar dependiendo de la dieta que se le proporcione (Fanatico et al., 2018; Lim et al., 2019; Bortolini et al., 2020). Otra característica que destaca de esta larva es que reduce los olores desagradables del estiércol, no absorbe pesticidas o micotoxinas, por lo que se reduce la proliferación de patógenos; además, son sinantrópicas y no son vectores de enfermedades (Kawasaki et al., 2019; Bortolini et al., 2020).

Para su uso en avicultura existen algunos datos reportados. Por ejemplo, para evaluar el rendimiento, análisis de sangre, digestibilidad de nutrientes y cambios en

órganos internos; reemplazando a un 25 y 50% la proteína de soya, donde encontraron que un remplazo al 25% es viable para no afectar las características mencionadas (Bovera et al., 2018). También se ha determinado los coeficientes de digestibilidad aparente total del tracto, de aminoácidos y la energía metabolizable aparente utilizando dos harinas una desgrasada parcialmente y una completamente desgrasada de larva de mosca soldado. Donde se demostró que es considerada una excelente fuente de energía y aminoácidos para pollos de engorde (Schiavone et al., 2017).

2.5.6 Microalga

El termino microalga, es referido a aquellos microorganismos que contienen clorofila a y otros pigmentos fotosintéticos, capaces de realizar fotosíntesis oxigénica. Su capacidad fotosintética les permite fijar CO₂ y liberar O₂ en cantidades hasta 10 veces mayores que cualquier planta terrestre (Gomez, 2007). Esta característica es lo que las convierte en una fuente acuática importante. El potencial fotosintético se reconoce también por que les permite la producción de compuestos bioactivos valiosos y de energía debido al máximo aprovechamiento de la energía solar que tienen. Algunos de estos compuestos son proteínas, carbohidratos, lípidos, micronutrientes, aditivos para alimentos y cosméticos, así como suplementos para alimentación animal. Esto ha generado que exista una creciente investigación sobre la utilización de biomasa para diferentes aplicaciones, en las que sobresalen la producción de alimentos, piensos y biocombustibles (Madeira et al., 2017). Tan solo, el 30% de la producción mundial de microalgas está destinada para el consumo animal, entre las especies que destacan son gatos, perros, peces de acuario, vacas y toros reproductores (Hernandez and Labbé, 2014). El potencial de las microalgas para alimentación animal es debido a que son ricas en aminoácidos esenciales, ácido alfa linoleico, fibra, complejo B, calcio, fósforo, hierro, pigmentos como beta caroteno, xantofilas y otros compuestos bioactivos. Son consideradas como una fuente importante de proteína, por ejemplo, *Chlorella Vulgaris* contiene entre 38% y 58%, *Nannochloropsis oculata* entre 22% y 37% y *Haematococcus pluviales* entre 45% y 50% en base seca (Hayes et al., 2017). Otro

de los compuestos más sobresalientes para alimentación animal es el contenido de ácidos grasos poliinsaturados como ácido eicosapentaenoico (EPA), ácido decosaheptaenoico (DHA) y ácido araquidónico (AA) (Madeira et al., 2017).

La especie *Nannochloropsis limnetica* es usada como alimento para rumiantes, por su alto contenido en ácidos grasos, además de que tiene una rápida reproducción y alto crecimiento lo que la hace de fácil cultivo en condiciones de campo (Krienitz and Wirth, 2006; Marrez et al., 2017). Esta especie destaca por tener un alto contenido de ácido eicosapentaenoico (EPA), el cual es cerca del 24% de los ácidos grasos totales (Freire et al., 2016). La composición de ácidos grasos en *N. Limnetica* es mayor en esta especie de microalga comparada con microalgas marinas, lo que la hace con potencial de uso como aditivo alimenticio (Marrez et al., 2017). La composición química y proporción de aminoácidos que puede ser proporcionado por esta microalga se muestra en la Tabla 3 y Tabla 4 , realizadas con datos tomados de Marrez y colaboradores en 2017.

Tabla 3. Contenido de proteína cruda, fibra cruda, minerales (Ca, K, Na) y ácidos grasos de *N. Limnetica*.

Nutriente	Contenido
Materia orgánica	717 g/kg DM
Proteína cruda	238 g/kg DM
Fibra cruda	30.2 g/kg DM
Ca	4.87 g/100g DM
K	0.66 g/100g DM
Na	3.18 g/100g DM
Ácidos grasos insaturados	51.7 g/100g FA
Ácidos grasos monoinsaturados	36.2 g/100g FA
Ácidos grasos poliinsaturados	15.4 g/100g FA

Tabla 4. Contenido de aminoácidos en *N. Limnetica*.

Aminoácidos	Contenido (%)
Histidina	2.14
Arginina	5.16
Treonina	3.72
Valina	5.85
Metionina	1.69
Isoleucina	4.63
Leucina	9.16
Fenilalanina	5.10
Lisina	5.27
Aspártico	7.33
Glutámico	16.7
Serina	4.26
Glicina	8.68
Prolina	8.17
Alanina	7.72
Tirosina	2.97
Cistina	1.45

2.6 Producción de alimentos

Los alimentos balanceados son los que cumplen con los requerimientos nutricionales y aseguran una dieta equilibrada (Llaguno and Masabamda, 2008). Pueden dividirse en dos tipos; suplementarios, los cuales implican adicionar una cantidad de minerales, vitaminas o proteína en la dieta animal; y complementarios, donde se proporcionan todos los nutrientes de acuerdo a la etapa de desarrollo (Chachapoya, 2014). Para su elaboración se utilizan tres tipos de mezclados, seco o en polvo, peletización y extrusado; además de los métodos de fabricación se deben seleccionar las materias primas en base a su composición o fácil acceso,

además de algunos aditivos de vitaminas, enzimas o aminoácidos (Laudadio et al., 2014). Sin embargo, el valor nutricional de un alimento balanceado también es influenciado por la digestibilidad de este, la cual puede depender de los pretratamientos a los que se someten las materias primas para su elaboración (Campaña, 2010).

En particular, en la avicultura orgánica existe un gran compromiso con la sustentabilidad. Consecuentemente, los productores orgánicos tienen como objetivo proporcionar todos los requerimientos a la producción de la mejor manera, incluidos los alimentos. En las granjas pequeñas no es posible proporcionar una alimentación adecuada en la misma instalación, por falta de equipos para pretratamientos y mezclado. Por ello los alimentos deben obtenerse de distribuidores autorizados para venta de alimentos orgánicos. Estos alimentos deben ser producidos acorde a las especificaciones de calidad. Deben proveer una etiqueta con la información de ingredientes y análisis de calidad. En Norteamérica es requerido que el etiquetado contenga: peso neto del costal, nombre del producto y marca bajo la cual se distribuye, análisis de contenido (proteína, lisina, metionina, grasas, fibra, calcio, fosforo, sodio, selenio y zinc); el nombre común de cada ingrediente utilizado, nombre y dirección principal del productor o persona responsable; modo de uso e indicaciones para el uso seguro y efectivo del alimento (Leeson and Summers, 2009; Blair, 2018).

Para la elaboración de alimentos para animales a nivel mundial, existe una norma o certificación GLOBAL G.A.P. Esta establece los elementos fundamentales para las buenas prácticas en la producción global de alimentos. Particularmente en el apartado de procesamiento es imprescindible implementar un procedimiento de limpieza para evitar la contaminación cruzada. Así como las especificaciones para el pretratamiento térmico cuando corresponda; realizar un registro que demuestre el control eficaz durante el proceso, si no se logra la temperatura objetivo el alimento debe desviarse a otro tratamiento o eliminarse; entre otras. Como uno de los últimos puntos se menciona la inclusión de proteínas animales las cuales deben contemplar los requisitos legales de cada país de producción y del país destino.

En México algunas de las normas que se establecen son para especificaciones zoonos sanitarias de los productos alimenticios desde que materias primas utilizar hasta el proceso de producción, envasado y embalaje. La NOM-061-ZOO-1999, se mencionan las especificaciones para fabricantes, importadores y comercializadores que garanticen la inocuidad y calidad de los alimentos. Algunas de las especificaciones son que deben contar con un número de regulación que constate el análisis garantizando la regulación del producto. Los alimentos terminados deben contar con pruebas de estabilidad de anaquel (humedad menor a 12%); se debe indicar en la etiqueta los ingredientes utilizados en la formulación. Por último, se especifica que si se tiene conocimiento de una contaminación química, biológica, microbiológica o de cualquier tipo se está obligado a retirar el producto del mercado (Federación, 2000). Por otro lado, la NOM-012-ZOO-1993 considera la producción y control de calidad de los alimentos; en el apartado de almacenamiento especifica las instalaciones, el registro de entradas y salidas y equipo para almacenar. En el punto de producción se consideran las instalaciones; un protocolo de elaboración que garantice la calidad del producto terminado. Además, se incluyen las especificaciones de control de calidad en la producción, el envasado y el embalaje del producto (Federación, 1993). Debido a que se permite el uso de despojos animales y harinas de origen animal para la alimentación de los mismos, la NOM-060-ZOO-1999 establece las especificaciones que regulan su uso y transformación para evitar que exista un riesgo zoonos sanitario transmisible (Federación, 1999).

Como parte de la certificación de avicultura orgánica (HFAC, 2018), es necesario contar con un registro que especifique ingredientes y nutrientes contenidos en el alimento, tal como lo declara el productor. El productor debe contar con el registro disponible para la organización Humane Farm Animal Care al momento de la inspección. No se permiten alimentos con proteínas de mamíferos o aves, los productos de origen animal están prohibidos. Así como el uso de promotores de crecimiento, antibióticos y coccidiostatos.

3. HIPÓTESIS

Un alimento balanceado a partir de las harinas de microalga y larva de mosca soldado, debido a su contenido y calidad de proteínas, ácidos grasos poliinsaturados como omega 3 y 6, cubrirá los requerimientos nutricionales de las aves de postura y generará un efecto sobre las variables de repuesta del huevo producido aumentando un 2% su peso, incrementando 30% la intensidad en el color de la yema, manteniendo el contenido promedio de proteínas (11%) y grasas (6-7%), en comparación con los huevos producidos bajo un sistema de alimentación convencional.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Desarrollar y evaluar el uso de un alimento balanceado elaborado a partir de harinas de microalga y larva de mosca soldado, que cumpla con los requerimientos nutricionales de las aves de postura con el fin de incrementar la producción orgánica de huevo y la calidad de este.

4.2 Objetivos particulares

- I. Determinar la composición química como proteína, grasas, calorías y carbohidratos de las harinas de microalga y larva de mosca soldado negra.
- II. Determinar el perfil de aminoácidos de las harinas de microalga y larva de mosca soldado negra.
- III. Obtener las formulaciones de los diferentes tipos de alimentos para las etapas del ciclo productivo de las gallinas ponedoras.
- IV. Evaluar las variables asociadas a la producción de la gallina ponedora en un ciclo productivo utilizando el alimento balanceado generado.
- V. Evaluar la calidad física como peso, altura, diámetro ecuatorial, cámara de aire, densidad y la composición química como proteína, grasa, calorías y carbohidratos en el huevo producido utilizando el alimento balanceado.

5. METODOLOGÍA

5.1 Descripción general

En la Figura 2 se presenta el diagrama de bloques que indica de manera general las actividades que se llevaron a cabo para la realización de este proyecto.

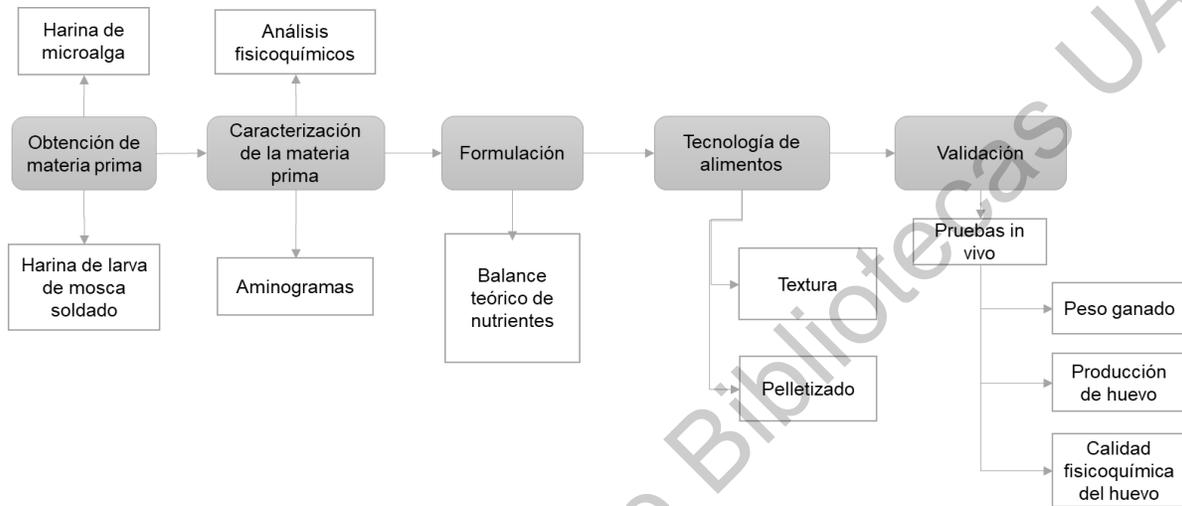


Figura 2. Diagrama de flujo de las actividades que se realizaron para el desarrollo de un alimento a base de harinas de microalga y larva de mosca soldado.

Para el desarrollo de un alimento balanceado a partir de nuevos insumos se requirió la obtención de harinas de microalga y larva de mosca soldado negra, a las cuales se les realizaron análisis fisicoquímicos para conocer la composición de nutrientes y las características que las conforman. Por otro lado, para complementar se compraron harinas de salvado de trigo, maíz, gluten de trigo y pasta de soya; a las cuales también se les realizaron análisis fisicoquímicos. Con los resultados obtenidos se realizó un balance teórico de nutrientes requeridos por la dieta de la gallina ponedora y se realizó la mezcla de las harinas. Se utilizó una técnica de peletizado para la formación del nuevo alimento, una vez obtenido se volvieron a realizar pruebas fisicoquímicas que permitieron asegurar el contenido de nutrientes necesarios. Para validar el alimento desarrollado se llevaron a cabo pruebas in vivo para conocer el peso ganado por gallina, consumo de alimento, la producción de huevo y la calidad fisicoquímica de este.

5.2 Determinación de las características fisicoquímicas de las harinas.

5.2.1 Obtención de microalga

La microalga fue obtenida con el apoyo del laboratorio de Microalgas UAQ-FINKA, ubicado en las instalaciones de la empresa Finka Ahuehuetes SA de CV dentro del Agropark en el municipio de Colón, Querétaro. El cultivo de estas inició con la adaptación de las cepas *Chlorella vulgaris* y *Nannochloropsis limnetica*, para ello se controlaron las condiciones ambientales como luz, pH y temperatura (Figura 3).



Figura 3. Cultivo de cepas de microalgas *Chlorella vulgaris* y *Nannochloropsis limnetica*.

Posteriormente se tomó un inóculo con una densidad de 0.2 g/L para escalarlo en botellas de 1 L que contenían como medio de cultivo agua residual de invernadero. El proceso de escalamiento se continuó hasta obtener un fotobio reactor de 600 L (Figura 4). Para la cosecha se utilizó una centrifuga industrial y se almacenó a -20°C. Finalmente se llevó a un horno de convección forzada para su secado durante 72 horas a 40°C. Una vez colectada la muestra seca se molió en licuadora para la obtención de la harina.



Figura 4. Fotobioreactor inoculado con cepa de microalga para etapa de escalamiento.

5.2.2 Obtención de larva de mosca soldado negra

La larva de mosca soldado se obtuvo de la planta piloto ubicada en la Universidad Autónoma de Querétaro, campus Amazcala. Para la obtención se inició con la recolección de larvas de 5 días de eclosión; a las cuales se les dio una dieta de residuos orgánicos y mezcla de cereales. Se dejaron en crecimiento con condiciones ambientales controladas durante 15 días y una alimentación cada tercer día (Figura 5). Transcurrido este tiempo se sacrificaron las larvas mediante congelamiento. Posteriormente se secaron en un horno de convección forzada a 100 °C durante 72 horas. Una vez colectada la muestra seca se molió en licuadora para obtener la harina.



Figura 5. Alimentación de larva de mosca soldado negro con residuos orgánicos (izquierda) y larva de mosca soldado antes de ser sacrificadas (derecha).

5.2.3 Harinas comerciales

Con el fin de determinar las harinas para el desarrollo del alimento se realizó una búsqueda de artículos relacionados con la nutrición avícola. Por lo que los insumos considerados fueron: salvado de trigo, maíz, pasta de soya y gluten de trigo, todos se consiguieron de manera comercial y de grado alimento animal. Se determinaron los límites de inclusión de cada uno de ellos.

5.2.4 Caracterización de las harinas

Para la caracterización de las harinas se tomó una muestra de cada una y se le determinó el contenido de humedad y cenizas totales, grasas totales, calorías, proteína total, carbohidratos totales y contenido de minerales; cada uno por triplicado mediante los métodos descritos a continuación.

5.2.4.1 Humedad y cenizas totales

Para la determinación de humedad se realizó mediante el método reportado por la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-211-SSA1-2002 para métodos de prueba fisicoquímicos. Se tomaron tres crisoles para cada muestra y se llevaron a peso constante en una estufa marca Memmert a 100°C. Se pesaron 2 g de la muestra húmeda para cada triplicado en una balanza analítica marca Precisa LS220A y se colocaron en cada crisol. Se llevaron los crisoles nuevamente a la estufa y se secaron hasta alcanzar peso constante. Se registró el peso constante del crisol, de la muestra húmeda + crisol y el peso de la muestra seca + crisol. Con los datos recabados se calculó el porcentaje de humedad por diferencia de pesos. Por otro lado, la muestra seca se sometió a la determinación de cenizas por el método de la norma NMX-F-066-S-1978. Para esto se tomaron las muestras secas y se incineraron a una temperatura de 500° C en una mufla de marca Felisa durante seis horas. Finalmente se dejó enfriar en un desecador de cristal durante dos horas. Se registró el peso de la muestra incinerada + crisol y el porcentaje de cenizas se calculó por diferencia de pesos.

5.2.4.2 *Grasas totales y calorías*

El análisis de grasas totales se realizó mediante una extracción soxhlet asistida con un microondas marca Anton Para por el método EPA 3546 a base de hexanos y acetona (1:1). Cada extracción se filtró utilizando una bomba de vacío marca Rocker Chemker 300 y se recolectó el filtrado en tubos de ensayo llevados a peso constante previamente. El filtrado se colocó en un baño maría a 60°C para evaporar el solvente residual. Se registró el peso del tubo a peso constante, de la muestra seca y del tubo + muestra. Finalmente se calculó el porcentaje de grasas totales por gravimetría.

Las calorías se determinaron según el método isoperibólico. Para esto se hizo un pellet con un peso entre 0.5 y 1 g de muestra previamente secada. El pellet fue llevado a un calorímetro marca PARR modelo 6200 donde fue incinerado. El contenido calórico fue proporcionado directamente por el equipo en calorías por gramo de muestra.

5.2.4.3 *Proteína total y carbohidratos totales*

El contenido de proteína fue determinado por método de nitrógeno total Kjeldahl. Para ello se pesaron 0.2 g de muestra seca y se sometió a una digestión ácida con ácido sulfúrico y peróxido de hidrogeno al 30%. Las digestiones se llevaron a la determinación de nitrógeno total por el método de espectrofotometría utilizando el espectrofotómetro marca HACH modelo DR6000. Finalmente se utilizó el factor de 6.25 establecido para alimentos para calcular el contenido proteico.

Para los carbohidratos totales se utilizó método por antrona y midiendo por espectrofotometría. Para esto se pesaron 100 mg de muestra previamente secada y molida, se sometió a hidrólisis con HCl 2.5N y se colocó en baño maría por tres horas. Se neutralizó con carbonato de calcio y se aforo a 100 ml. Se centrifugó en una centrifuga Metriz Dynamica Velocity 14R y se conservó el sobrenadante. Este se colocó en un baño frío y se le añadió una solución de antrona, se sometió para reacción en un baño maría en ebullición durante ocho minutos. Se preparó una

curva de calibración con glucosa como estándar y se determinó la concentración a 630 nm en placa con un multiskan marca Thermo Scientific.

5.3 Balance teórico y formulación del alimento

Para realizar el balance teórico se utilizó como base los requerimientos nutrimentales de la gallina ponedora reportados en Nutrients Requirements of Poultry de 1994 (NRC, 1994). Para la formulación se usó la herramienta de análisis Solver en Excel 2016 tomando como objetivo encontrar el menor costo por kilogramo de alimento.

Para el balance teórico se consideraron 3 etapas de ciclo de vida de la gallina ponedora; primera etapa de la semana 6 a la semana 13, la segunda etapa de la semana 14 a la 17 y la tercer etapa o etapa de postura de la semana 18 en adelante.

Para la primera etapa se utilizaron como insumos salvado de trigo, maíz molido y gluten de trigo, así como los insumos alternativos la harina de larva de mosca soldado negro y la harina de microalgas. En esta se consideró un contenido de proteína teórico mínimo de 17.0% y un contenido de 2800 kcal/g de energía metabolizable como base para el balance.

Para la segunda etapa, se realizó una modificación en los insumos utilizados ya que se observó que el alimento tenía un alto porcentaje de aglutinación debido al gluten de trigo. Debido a esto se eliminó el insumo de la formulación del alimento y en su lugar se añadió pasta soya para alcanzar los niveles proteicos necesario, así como mejorar la aceptación del alimento en la gallina. Para esta etapa se consideró como base un nivel de proteína de 17.0% como mínimo y un contenido de energía metabolizable de 3000 kcal/g mínimo.

Por último, para la tercera etapa se consideraron los mismos insumos salvado de trigo, maíz molido y pasta de soya, así como los insumos alternativos la harina de larva de mosca soldado negro y la harina de microalgas. Y para el balance teórico se tomó como base un contenido de proteína de 16% mínimo.

Una vez obtenida la formulación teórica se llevó a cabo el mezclado de las harinas (Figura 6). Sin embargo, para el desarrollo del pellet fue necesario añadir agua, por lo que se comenzaron pruebas de humedad desde 5% hasta alcanzar un contenido de 25% de humedad en la mezcla; el cual permitió la formación del pellet. Una vez añadida la humedad se llevó a cabo la homogenización de la mezcla (Figura 7) utilizando una batidora marca blazer bf25.



Figura 6. Materias primas utilizadas para la elaboración del alimento balanceado para gallina ponedora. Alimento con 10% larva de mosca soldado negro (A); alimento con 10% larva de mosca soldado negro y 2% microalga (B).



Figura 7. Homogenización de las mezclas de los alimentos balanceados con una batidora blazer bf25 (Figura A). Mezcla homogenizada para su posterior peletizado (Figura B).

Cuando la mezcla fue homogenizada se llevó a cabo el proceso de peletizado; este se realizó mediante un procedimiento mecánico el cual generaba que el pellet obtenido tuviera una temperatura alta (Figura 8). Debido a esto se dejaron secar por 4 horas a temperatura ambiente.



Figura 8. Pellet obtenido después del proceso de homogenización y peletización de las harinas.

Al alimento en forma de pellet obtenido se le tomaron medidas de longitud y diámetro. Además, se le realizaron determinaciones de humedad, cenizas totales, grasas, calorías, proteína total y carbohidratos totales siguiendo la metodología ya mencionada.

5.4 Efecto del alimento balanceado mediante pruebas in vivo.

La validación del alimento se llevó a cabo en una caseta avícola ubicada en la empresa "Industria tecnológica agropecuaria srl de cv", ubicada en la comunidad La Bomba km 11.5 carretera "El Vegil-Huimilpan" (Latitud: 20°27'5.32" N, Longitud: 100°21'49.49" O), municipio de Huimilpan, en el estado de Querétaro, México. La caseta contaba con una ventana cenital y cortinas laterales de lona enrollable. Lo que permitió dividir la caseta en 3 unidades de 3x3m para poder llevar a cabo la experimentación. Cada una se adaptó según las necesidades de las gallinas en cada etapa de su ciclo de vida. La Figura 9 muestra la adaptación en el interior de

los corrales, es decir, la cama de aserrín, bebederos tipo campana, comederos, perchas e iluminación.



Figura 9. Vista interior de las unidades adaptadas con los requerimientos necesarios para el desarrollo de las gallinas.

5.4.1 Diseño experimental

Para evaluar el uso del alimento balanceado a partir de harinas de microalga y larva de mosca soldado negro se utilizaron 93 gallinas raza Rhode Island red de 6 semanas de edad; las cuales fueron divididas en 3 unidades al interior de la caseta avícola. A las gallinas se les proporcionó el acceso ad libitum al alimento desarrollado y agua. Además, a las gallinas se les permitió el acceso al libre pastoreo. Para la obtención de resultados se llevó a cabo un monitoreo semanal sistemático aleatorio a la parvada durante toda la experimentación y a la calidad física y química del huevo.

5.4.2 Determinación de variables en la gallina ponedora

Para el monitoreo de la parvada, desde la semana de llegada hasta el término del experimento se determinó el peso de las aves por tratamiento semanalmente utilizando una cubeta y una báscula digital marca Digital salter como se muestra en la Figura 10.



Figura 10. Báscula digital utilizada para el pesaje de las gallinas (izquierda) y gallina ponedora en cubeta para ser pesada (derecha).

Como determinación cualitativa se realizó un registro con la edad de las aves cuando comiencen con la puesta de huevos. Como determinación cuantitativa se obtuvo la tasa de puesta la cual se realizó como muestra la ecuación:

$$\% \text{ puesta} = \frac{N^{\circ} \text{ de huevos a la semana}}{N^{\circ} \text{ de aves en el corral}} \times 100 \quad (1)$$

Para lo cual se realizó también un registro de la producción de huevo semanalmente, recabando datos del número total de huevos desde la primera puesta hasta el pico máximo de producción, incluyendo porcentaje de huevos cascados o en fáfara.

5.5 Determinación de la calidad fisicoquímica del huevo

Para evaluar la calidad física del huevo se tomó una muestra aleatoria por semana y se le realizaron las siguientes determinaciones.

5.5.1 Peso de huevo entero, peso y altura de clara y yema
Inicialmente se pesó cada huevo entero individualmente utilizando una balanza analítica marca PRECISA modelo LS 220, posteriormente se pesó por separado yema y clara.



Figura 11. Determinación del peso total de huevo.

Para la altura se expuso la clara y la yema, por separado, sobre una superficie plana para poder medir con ayuda de un trípode vernier de altura marca T&O modelo 192-61x-10.

5.5.2 Diámetro ecuatorial, máximo polar y cámara de aire
Utilizando un vernier marca MITUTOYO modelo CD-6" PSX" se tomaron medidas del diámetro ecuatorial, máximo polar y cámara de aire, para esta última se tomó la medida utilizando el reflejo de luz directa producida por un ovoscopio con una lámpara incandescente de al menos 40 W en un cuarto oscuro.

Con los valores obtenidos de diámetro ecuatorial y máximo polar se obtuvo el índice de forma de huevo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de forma del huevo} = \frac{\text{Diámetro ecuatorial}}{\text{Máximo polar}} \times 100 \quad (2)$$



Figura 12. Determinación del máximo polar con vernier marca MITUTOYO.

5.5.3 Grosor y peso del cascarón

Utilizando una balanza analítica marca PRECISA modelo LS 220 se pesó el cascarón de cada muestra de huevo. Posteriormente para las medidas de grosor de cascarón se tomó 3 mediciones de diferentes lugares del cascarón utilizando un vernier marca MITUTOYO modelo CD-6" PSX".



Figura 13. Determinación del grosor del cascarón (izquierda) y determinación del peso del cascarón (derecha).

5.5.4 Color de cascarón y yema

Se determinó el color (CIELAB) de cascarón y yema utilizando un colorímetro marca KONICA MINOLTA modelo CROMAMETER CR-410.



Figura 14. Determinación de colorimétrica en la yema de huevo.

5.6 Calidad química del huevo

Para la calidad química se tomaron muestras de cascarrón, yema y clara y se les determinaron humedad, cenizas totales, grasas, calorías, proteína total, carbohidratos totales y minerales siguiendo la metodología ya mencionada.

5.7 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos del monitoreo de la parvada, de la calidad física y química del huevo, fueron analizados mediante un ANOVA con el uso del programa estadístico Statgraphics

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Determinación de las características fisicoquímicas de las harinas.

6.1.1 Caracterización de las harinas

Las harinas comerciales que se utilizaron fueron maíz molido el cual contenía un 10.6% de humedad, un 2.3 % de cenizas, 1.2% de grasas totales, 4.4% de kcal/g, 69.8% de carbohidratos y un 8% de proteína total (Figura 15a; Tabla 5). El gluten de trigo tenía un contenido de 6.3% humedad, 1% de cenizas, 1% de grasas totales, 5.3% kcal/g, 11.7% de carbohidratos y un 70% de proteína total; sin embargo, resultó un insumo aglutinante por lo que a pesar de su composición química fue difícil añadirlo en todos los alimentos desarrollados (Figura 15b; Tabla 5).



Figura 15. En la imagen A se muestra la harina de maíz y en imagen B el gluten de trigo, ambos insumos utilizados para el desarrollo del alimento balanceado.

Por otro lado, el salvado de trigo contenía un 10.7% de humedad, 5.7% de cenizas, 0.6% de grasas totales, 4.2 kcal/g, 53.68% de carbohidratos y 15% de proteína total (Figura 16a; Tabla 5. Caracterización química de insumos utilizados para el desarrollo del alimento balanceado para gallina ponedora.). La pasta de soya contenía 10.6% de humedad, 6.9% de cenizas, 0.8% de grasas totales, 3.7 kcal/g, 22.1% de carbohidratos y 44% de proteína (Figura 16b; Tabla 5).

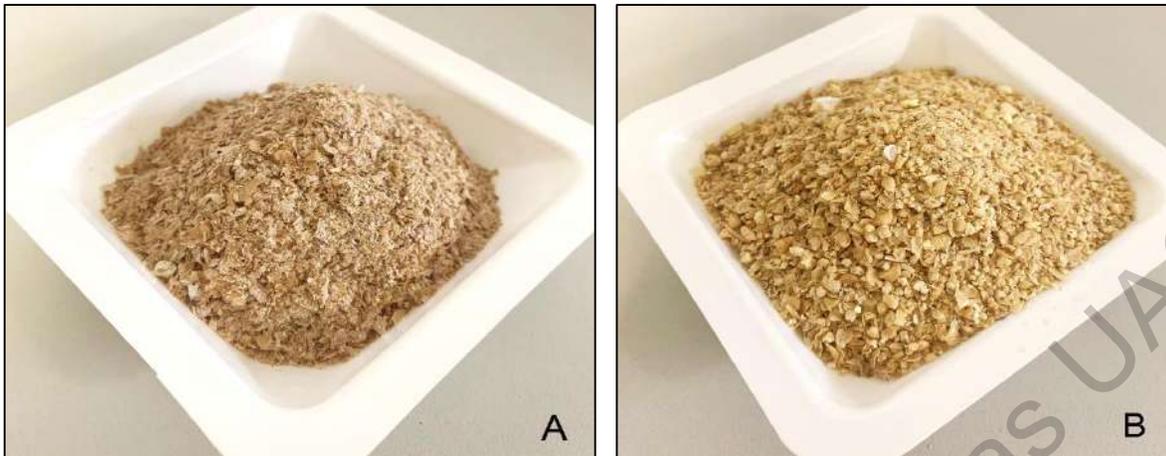


Figura 16. En la imagen A se muestra el salvado de trigo y en imagen B la pasta de soya, ambos insumos utilizados para el desarrollo del alimento balanceado.

Los insumos alternativos fueron larva de mosca soldado negro y microalga, ambos se utilizaron en harina. La larva de mosca soldado tenía un contenido de 9.8% de humedad, 9.3% de cenizas, 27.3% de grasas totales, 5.8 kcal/g, 3.8% de carbohidratos y 40% de proteína (Figura 17a; Tabla 5). Por otro lado, la especie de microalga utilizada fue *Chlorella vulgaris*, la harina contenía un 9.9% de húmedas, 24.5% de cenizas, 9.7% de grasas totales, 4.4 kcal/g, 1.6% de carbohidratos y 58% de proteína (Figura 17b; Tabla 5).



Figura 17. En la imagen A se muestra la harina de larva de mosca soldado negro y en imagen B la harina de microalga, ambos insumos utilizados para el desarrollo del alimento balanceado.

Los resultados de la caracterización química de los insumos utilizados para el desarrollo del alimento se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Caracterización química de insumos utilizados para el desarrollo del alimento balanceado para gallina ponedora.

	Microalga <i>Chlorella Vulgaris</i>	Larva de mosca soldado negro	Maíz molido	Gluten de trigo	Salvado de trigo	Pasta de soya
Humedad (%)	9.925	9.88	10.683	6.394	10.747	10.675
Cenizas (%)	24.594	9.374	2.337	1.03	5.715	6.903
Grasas (%)	9.709	27.397	1.232	1.093	0.681	0.834
Calorías (Kcal/g)	4.491	5.896	4.459	5.369	4.241	3.748
Carbohidratos (%)	1.66	3.825	69.82	11.781	53.686	22.103
Proteína (%)	58	40	8	70	15	48

Adicionalmente se realizaron determinaciones de contenido de minerales en los insumos utilizados. Los resultados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Contenido de minerales en insumos utilizados para el desarrollo de alimento balanceado para gallina ponedora.

	Microalga <i>Chlorella Vulgaris</i>	Larva de mosca soldado negro	Maíz molido	Gluten de trigo	Salvado de trigo	Pasta de soya
Ca (mg/g)	1.724	0.617	ND	0.112	0.005	0.200
Mg (mg/g)	4.216	2.824	1.27	0.146	3.069	ND
K (mg/g)	5.6	ND	ND	ND	ND	2.37
Na (mg/g)	0.68	0.929	0.006	0.179	0.07	0.025

ND= No Detectado.

Los resultados obtenidos en cuanto a caracterización fisicoquímica de las harinas permitieron realizar un balance teórico de los alimentos con la finalidad de cumplir con los requerimientos nutricionales de la gallina ponedora. Observando que el contenido de minerales es un poco bajo para los requerimientos, principalmente de potasio, mineral que no fue detectado en las determinaciones. La importancia de éste recae en el contenido de yema y clara (Kücüyilmaz and Bozkurt, 2017).

Adicionalmente se obtuvo el contenido de aminoácidos de los insumos utilizados, los resultados se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Perfil de aminoácidos de las harinas utilizadas para el desarrollo del alimento balanceado.

Aminoácidos totales (mg/100g)	Larva de mosca soldado negro	Microalga	Maíz	Salvado de trigo	Pasta de soya
Glicina	578.46	0.868	0.39	0.42	1.71
Alanina	1945.84	0.772	0.74	0.49	2.01
Serina	18.64	0.426	0.42	0.45	2.09
Prolina	2515.77	0.817	0.85	0.59	2.38
Valina	1830.09	0.585	0.53	0.50	2.17
Treonina	567.69	0.372	0.36	0.33	1.83
Isoleucina	1455.71	0.463	0.34	0.35	2.09
Leucina	3131.91	0.916	1.17	0.60	3.58
Acido aspártico	266.40	0.733	0.64	0.72	

Lisina	40.28	0.527	0.31	0.40	2.87
Acido glutámico	2869.27	0.167	1.84	1.86	8.26
Histidina	<1.55	0.214	0.31	0.26	1.26
Fenilalanina	1327.35	0.510	0.47	0.39	2.38
Arginina	<1.74	0.516	0.50	0.70	3.41
Tirosina	2879.94	0.297	0.30	0.28	1.75

6.2 Balance teórico y formulación del alimento

Con los datos recabados de la composición química y las características de las harinas se realizó primero un balance teórico. Con el cual se esperaba cumplir los requerimientos de las etapas del ciclo de vida de las gallinas ponedoras. Para esto se dividió el ciclo de vida de las gallinas en tres etapas desarrollo, crecimiento y postura (Tabla 8); por lo que se elaboraron seis alimentos.

Tabla 8. Etapas del ciclo de vida de la gallina ponedora, según su edad en semanas.

ETAPA	Edad en semanas
1. Crecimiento	4 a la 13
2. Desarrollo	14 a la 17
3. Postura	18 en adelante

6.2.1 Balance teórico para la primera etapa.

Se desarrollaron dos alimentos para la primera etapa del ciclo de vida; de los cuales uno fue elaborado con 10% larva de mosca soldado negro (Alimento A) y el otro con 10% larva de mosca soldado negro y 2% microalga (Alimento B). Los balances de estos se muestran en la Tabla 9 y Tabla 10.

Tabla 9. Balance teórico de alimento A para gallina ponedora en etapa de desarrollo (4-17 semanas de vida) utilizando 10% larva de mosca soldado negro.

	Maíz	Gluten trigo	Salvado trigo	Larva de mosca	Balance final
Porcentaje de inclusión	45.4	5.5	39.1	10.0	100.0
Materia seca (%)	38.6	5.2	35.2	9.7	88.7
Proteína cruda (%)	3.6	4.3	5.9	4.0	17.8
Energía (kcal/g)	1511.6	280.5	617.9	390.0	2800.0
Grasas (%)	1.7	0.1	1.8	5.5	9.0
Fibra cruda (%)	1.7	0.0	1.9	1.2	4.8
Ca (%)	0.0	0.1	0.0	0.1	0.2
Na (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
K (%)	0.2	0.1	0.5	0.0	0.7

Tabla 10. Balance teórico de alimento B para gallina ponedora en etapa de desarrollo (4-17 semanas de vida) utilizando 10% larva de mosca soldado negro y 2% de microalga.

	Maíz	Gluten trigo	Salvado trigo	Larva de mosca	Microalga	Balance final
Porcentaje de inclusión	48.2	5.0	34.8	10.0	2.0	100.0
Materia seca (%)	41.0	4.7	31.3	9.7	0.0	86.7
Proteína cruda (%)	3.9	3.9	5.2	4.0	0.5	17.5
Energía (kcal/g)	1605.3	255.0	549.7	390.0	0.0	2800.0
Grasas (%)	1.8	0.1	1.6	5.5	0.0	8.9
Fibra cruda (%)	1.8	0.0	1.7	1.2	0.1	4.7
Ca (%)	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2
Na (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
K (%)	0.2	0.1	0.4	0.0	0.0	0.7

6.2.2 Balance teórico para la segunda etapa

Para la segunda etapa se realizaron dos balances teóricos para dos alimentos. El alimento A se muestra en la Tabla 11 el cual contenía un 10% larva de mosca soldado negro como ingrediente alternativo, un contenido de proteína de 17% y energía metabolizable de 3050 kcal/g. El alimento B se muestra en la Tabla 12 el cual contenía 10% larva de mosca soldado negro y 2% microalga como ingredientes alternativos. De igual manera tenía un contenido de 17% proteína y de energía metabolizable 3112 kcal/g.

Tabla 11. Balance teórico del alimento A para gallina ponedora en etapa de desarrollo (13-17 semanas de vida) utilizando 10% larva de mosca soldado negro.

	Maíz	Salvado trigo	Pasta de soya	Larva de mosca	Balance final
Porcentaje de inclusión	38.9	40.0	11.1	10.0	100.0
Materia seca (%)	34.8	36.4	10.1	9.0	90.3
Proteína cruda (%)	3.1	6.0	3.9	4.0	17.0
Energía (kcal/g)	1555.6	632.0	283.3	580.0	3050.9
Grasas (%)	0.5	1.8	0.1	2.8	5.1
Fibra cruda (%)	1.5	1.9	0.3	1.2	4.9
Ca (%)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
Na (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
K (%)	0.1	0.5	0.3	0.0	0.9

Tabla 12. Balance teórico del alimento B para gallina ponedora en etapa de desarrollo (13-17 semanas de vida) utilizando 10% larva de mosca soldado negro y 2% de microalga.

	Maíz	Salvado trigo	Pasta de soya	Larva de mosca	Microalga	Balance final
Porcentaje de inclusión	40.6	40.0	7.4	10.0	2.0	100.0
Materia seca (%)	36.3	36.4	6.7	9.0	1.8	90.3
Proteína cruda (%)	3.2	6.0	2.6	4.0	1.2	17.0
Energía (kcal/g)	1623.7	632.0	188.9	580.0	88.0	3112.6

Grasas (%)	0.5	1.8	0.0	2.8	0.2	5.3
Fibra cruda (%)	1.5	1.9	0.2	1.2	0.3	5.1
Ca (%)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
Na (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
K (%)	0.2	0.5	0.2	0.0	0.0	0.8

Con el cambio de insumo de gluten de trigo por pasta de soya se observó una mejora en el consumo de alimento y por consiguiente un mayor aumento de peso corporal. Debido a esto los insumos modificados se mantuvieron para la siguiente etapa.

6.2.3 Balance teórico para la tercera etapa

Para el balance de los alimentos utilizados en la tercera etapa se mantuvieron los porcentajes de inclusión de larva de mosca soldado y microalga en los alimentos A y B. El balance teórico del alimento A se muestra en la Tabla 13, el cual finalmente contenía un nivel de proteína teórico mínimo de 16%. El balance teórico para el alimento B se muestra en la Tabla 14, el cual también resultó en un nivel de proteína teórico mínimo de 16%.

Tabla 13. Balance teórico del alimento A para gallina ponedora en etapa de postura (18 semanas de vida en adelante) utilizando 10% larva de mosca soldado negro.

	Maíz	Salvado trigo	Pasta de soya	Larva de mosca	Balance final
Porcentaje de inclusión	43.3	40.0	6.7	10.0	100.0
Materia seca (%)	38.7	36.4	6.1	9.0	90.2
Proteína cruda (%)	3.5	5.6	2.9	4.0	16.0
Energía (kcal/g)	1950.0	2000.0	170.0	580.0	4700.0
Grasas (%)	0.5	1.8	0.0	2.8	5.2
Fibra cruda (%)	1.6	1.9	0.2	1.2	4.9
Ca (%)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
Na (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
K (%)	0.2	0.5	0.2	0.0	0.8

Tabla 14. Balance teórico del alimento B para gallina ponedora en etapa de postura (18 semanas de vida en adelante) utilizando 10% larva de mosca soldado negro y 2% microalga.

	Maíz	Salvado trigo	Pasta de soya	Larva de mosca	Microalga	Balance final
Porcentaje de inclusión	38.2	38.1	5.9	10.0	2.0	100.0
Materia seca (%)	34.2	34.7	5.4	9.0	1.8	85.0
Proteína cruda (%)	3.1	5.7	2.1	4.0	1.2	16.0
Energía (kcal/g)	1529.6	601.8	150.6	580.0	88.0	2950.0
Grasas (%)	0.5	1.7	0.0	2.8	0.2	5.2
Fibra cruda (%)	1.5	1.8	0.2	1.2	0.3	4.9
Ca (%)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
Na (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
K (%)	0.1	0.5	0.2	0.0	0.0	0.8

6.2.4 Formulación de los alimentos balanceados.

Con los balances teóricos obtenidos en cada etapa se llevó a cabo la formulación de los alimentos. Para esto a las mezclas realizadas con los insumos se les añadió un 25% de humedad para poder llevar a cabo el proceso de peletizado. Finalmente, los pellets obtenidos se muestran en la Figura 18; como característica particular los pellets del alimento A tenían un color marrón comparado con el alimento B, el cual al contener un 2% de microalga el color era ligeramente verde.

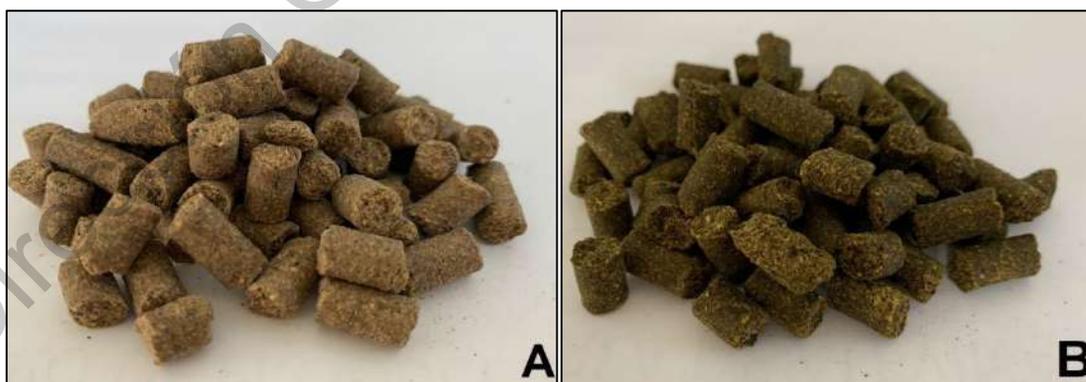


Figura 18. Pellets obtenidos en alimento A con 10% larva de mosca soldado negro (A) y pellets obtenidos en alimento B con 10% larva de mosca soldado negro y 2% microalga (B).

El pellet obtenido en todas las etapas tuvo una longitud de 15.32 mm y un diámetro de 8.39 mm (Figura 19). Debido a esto en las primeras dos etapas se hizo una reducción de tamaño hasta llegar a fracciones menores a 5 mm, para lo cual se utilizó un molino de piedras para triturar el pellet y pudiera ser consumido por las gallinas (Figura 20).

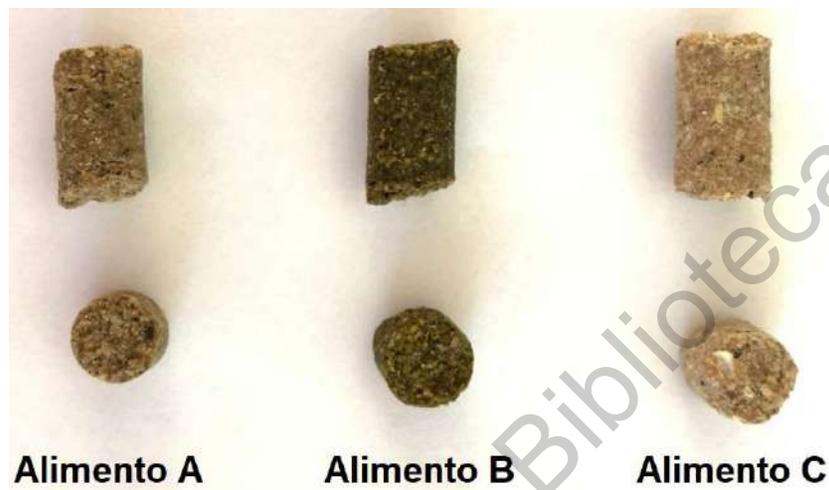


Figura 19. Tamaño de pellet obtenido para los distintos alimentos en todas las etapas del ciclo de vida de la gallina ponedora.



Figura 20. Pellets triturados en molino de piedras.

6.2.5 Caracterización química de los alimentos desarrollados.

Una vez se obtuvo el alimento en forma de pellet se le realizaron análisis químicos para asegurar que el contenido nutrimental cumpla con los requerimientos de la gallina ponedora. Así como al alimento comercial para la comparación de resultados durante la validación. Los resultados obtenidos para la caracterización química se muestran en la Tabla 15 y los resultados para el contenido de minerales en la Tabla 16.

Tabla 15. Caracterización química de alimentos desarrollados y alimento comercial para gallina ponedora.

	Alimento 10% LMS (1ª etapa)	Alimento 10% LMS y 2% MA (1ª etapa)	Alimento 10% LMS (2ª etapa)	Alimento 10% LMS y 2% MA (2ª etapa)	Alimento 10% LMS (3ª etapa)	Alimento 10% LMS y 2% MA (3ª etapa)	Alimento comercial
Humedad (%)	14.316	16.74	16.939	20.453	10.8	15.0	7.267
Cenizas (%)	4.529	4.374	4.325	4.569	4.525	4.369	15.019
Grasas (%)	5.271	0.824	5.865	0.869	5.2	5.2	3.251
Calorías (Kcal/g)	4.592	4.571	3.263	3.538	4.700	2.950	3.432
Carbohidratos (%)	22.485	60.72	65.535	69.744	65.536	67.589	48.498
Proteína (%)	17.5	17.3	17	17	16	16	16

Tabla 16. Contenido de minerales en alimentos desarrollados y alimento comercial para gallina ponedora.

	Alimento 10% LMS (1ª etapa)	Alimento 10% LMS y 2% MA (1ª etapa)	Alimento 10% LMS (2ª etapa)	Alimento 10% LMS y 2% MA (2ª etapa)	Alimento 10% LMS (3ª etapa)	Alimento 10% LMS y 2% MA (3ª etapa)	Alimento comercial
Ca (mg/g)	0.071	0.093	0.074	0.085	0.02	0.06	1.104
Mg (mg/g)	2.051	1.932	2.14	1.856	2.09	1.98	2.854

K (mg/g)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Na (mg/g)	0.153	0.146	0.158	0.142	0.1	0.1	0.195

ND=No Detectado

6.3 Efecto del alimento balanceado in vivo.

La división de la caseta permitió obtener tres unidades que se denominaron de acuerdo al tipo de dieta que se les daba quedando como A para el alimento de 10% larva de mosca soldado, B para el alimento 10% larva de mosca soldado y 2% microalga y C para el alimento sin insumos alternativos. El área final de cada unidad es de 9m² que permitieron una densidad de 30 gallinas. La temperatura se mantuvo constante en el interior del gallinero debido a la instalación de focos tipo campana y calentadores eléctricos con lo que se logró un intervalo de 28 a 30°C durante el día y de 18 a 22°C durante la noche. La humedad ambiental se mantuvo en un intervalo de 26 a 30% durante el periodo de la prueba. Al interior de las unidades se mostraron diferencias en la humedad del suelo donde se pudo observar que el suministro de las dietas ocasionaba excretas más líquidas en las gallinas de la unidad C mientras que en la unidad A y B mostraron más firmeza.

6.3.1 Ganancia de peso corporal y parámetros productivos de la gallina ponedora
 Los parámetros productivos de la gallina ponedora son ganancia de peso corporal, tasa de crecimiento específico (kg/día) y porcentaje de supervivencia de cada etapa (Figura 23). Dichos parámetros nos permiten evaluar el bienestar de la parvada. Los resultados para el peso corporal promedio final de cada etapa se muestran en la Figura 21, donde se observa un mayor peso para el alimento C en las tres etapas.

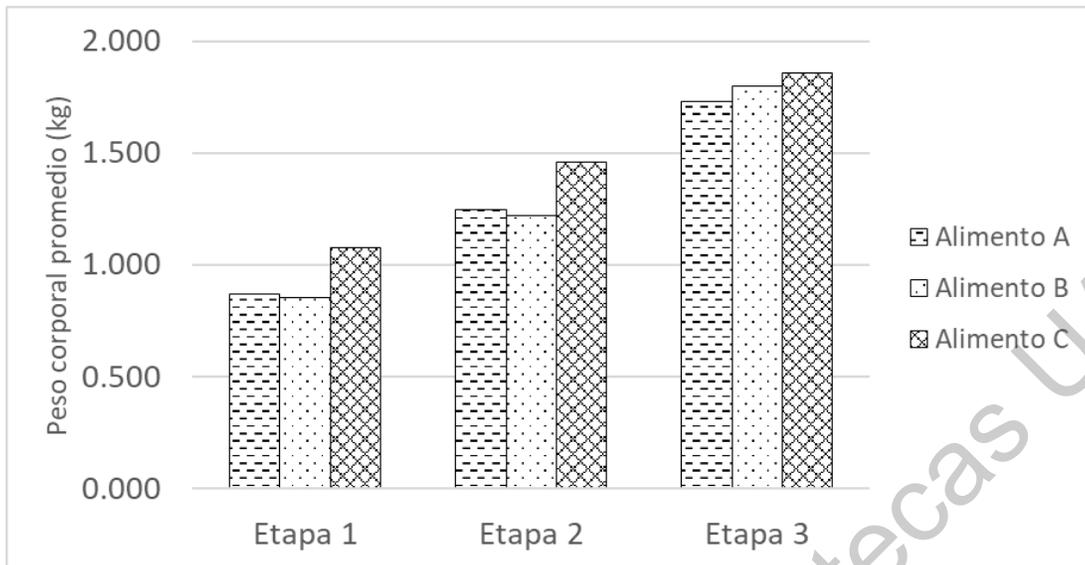


Figura 21. Peso corporal promedio final para cada alimento balanceado y en cada etapa de desarrollo de las gallinas ponedoras.

En la Figura 22 se muestran los resultados de la tasa de crecimiento específico diario para cada etapa. En la primera etapa la mejor tasa de crecimiento específico con 0.015 kg/día fue el alimento C, comparado con los alimentos A y B que obtuvieron una tasa de 0.011 kg/día. Para la segunda etapa las mejores tasas de crecimiento fueron los alimentos A y C con 0.012 kg/día comparado con el alimento B que se mantuvo en 0.011 kg/día. Sin embargo, para la tercera etapa la mejor tasa de crecimiento con 0.013 kg/día fue el alimento B comparado con A y C que obtuvieron 0.012 kg/día y 0.011 kg/día respectivamente.

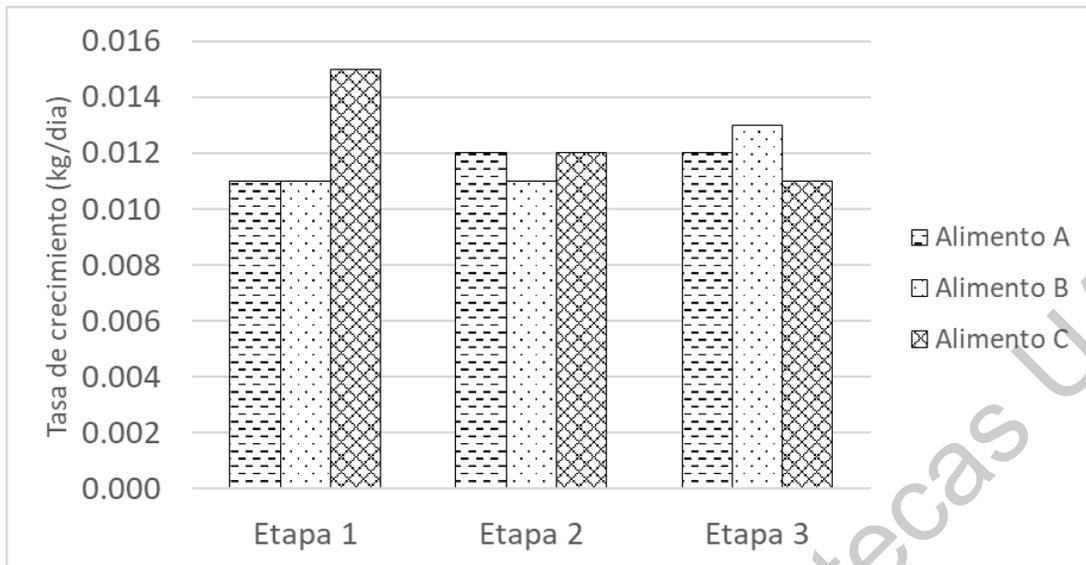


Figura 22. Tasa de crecimiento específico en kilogramo por día para cada alimento balanceado en cada etapa de desarrollo de las gallinas ponedoras.

Como último parámetro productivo se determinó el porcentaje de supervivencia por etapas. Para la primera etapa el mayor porcentaje fue el alimento C con el 100%, para la segunda etapa el alimento B con el 96% y para la tercera etapa el alimento C con el 65%.

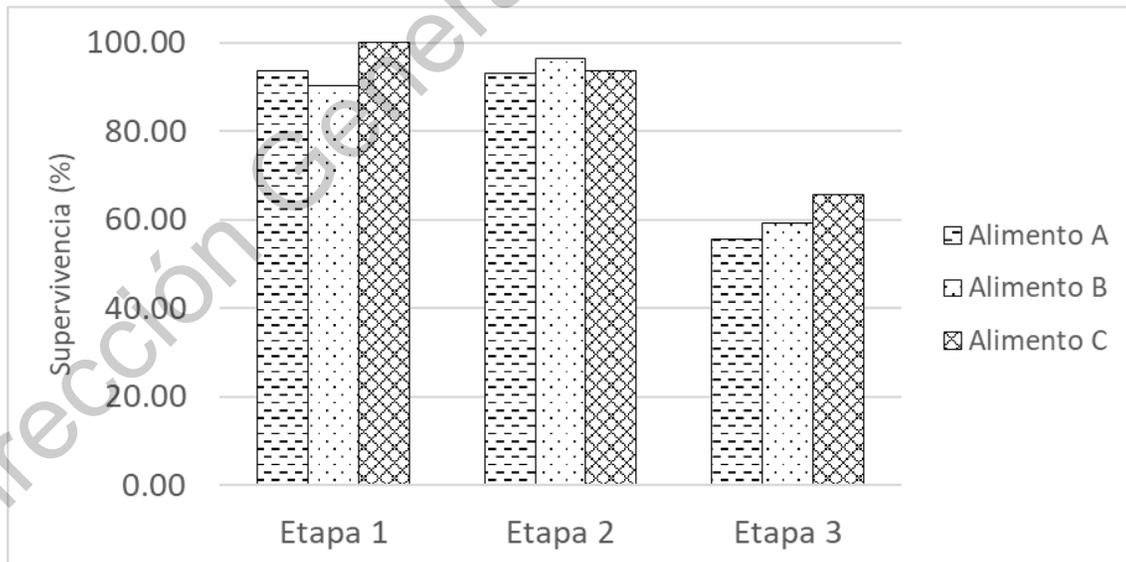


Figura 23. Porcentaje de supervivencia para cada alimento balanceado en cada etapa de desarrollo de las gallinas ponedoras.

El monitoreo de peso semanal permitió observar que no hubo pérdidas de peso en ninguno de los tratamientos durante el periodo de prueba. Para la primera etapa los resultados se muestran en la Figura 24, donde alimento A es la línea verde, alimento B la línea roja y alimento C la línea azul, así como el peso corporal estimado con un alimento tipo orgánico.

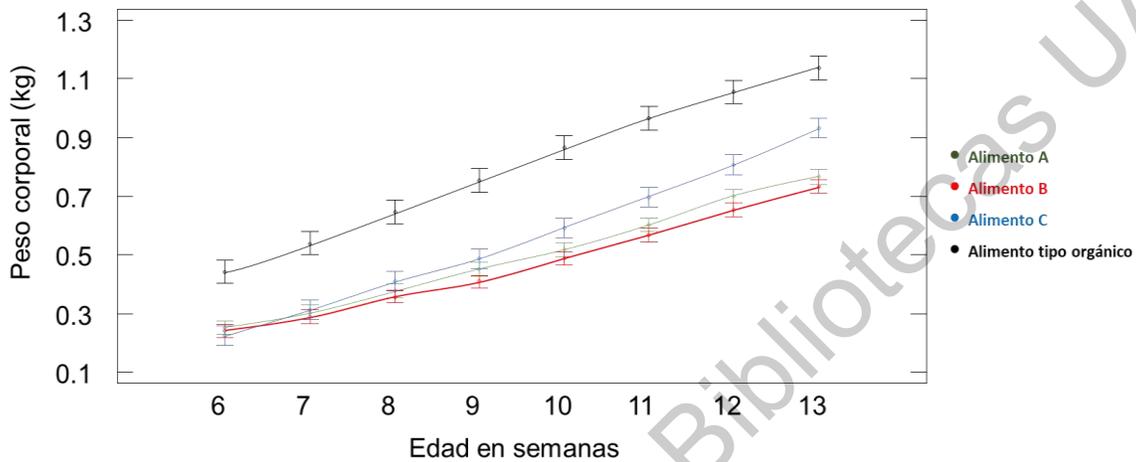


Figura 24. Comportamiento del peso corporal de las gallinas ponedoras durante la primera etapa del ciclo de vida.

Para la segunda etapa los resultados de peso corporal para los distintos alimentos se muestran la Figura 25. En esta etapa se muestra una mayor constancia en la ganancia de peso corporal en los tres alimentos. Sin embargo, ninguno alcanza los niveles de peso esperados con un alimento tipo orgánico. Siendo el de mayor peso el alimento C comparado con los alimentos A y B que se encuentran muy por debajo de lo estimado.

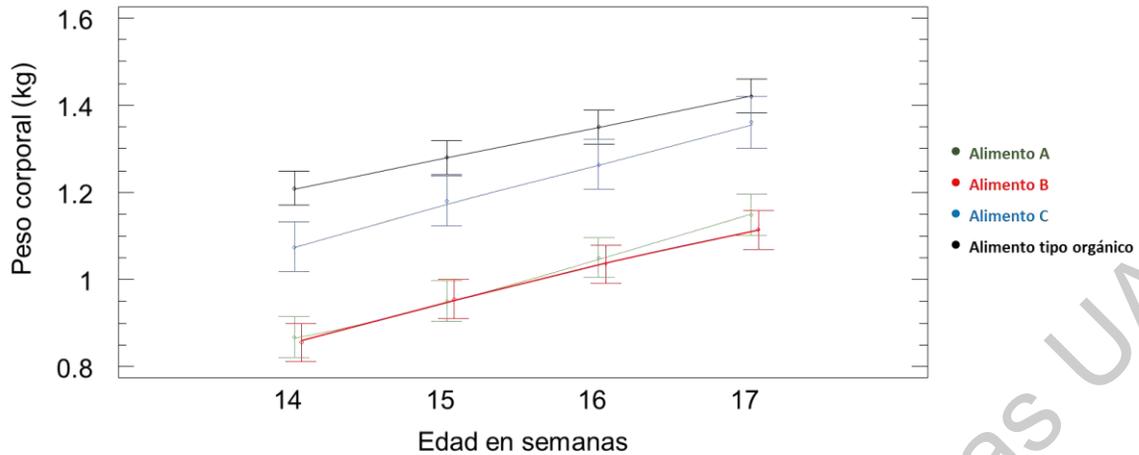


Figura 25. Comportamiento del peso corporal de las gallinas ponedoras durante la segunda etapa del ciclo de vida.

El comportamiento del peso de las aves muestra diferencias estadísticamente significativas entre todos los tratamientos; principalmente en la primera y en la segunda etapa del ciclo de vida, donde el alimento C se muestra con un peso corporal muy por encima de los alimentos A y B, sin embargo, el aumento de peso se mantiene constante con ambos alimentos.

Para la tercera etapa los resultados de peso corporal para los distintos alimentos se muestran la Figura 26. En esta etapa se muestra un incremento constante en el peso corporal durante las primeras cinco semanas de la etapa en el alimento B, comparado con el alimento A y C que muestran más variaciones en el peso obtenido. Para la semana 26 se observa un mayor peso corporal en los tres tratamientos compara con el peso esperado para el alimento orgánico, sin embargo, existe una caída del peso en la semana 28. Los tres alimentos muestran el mismo comportamiento y la pérdida de peso fue debido a una enfermedad que contrajeron las tres parvadas, de esto que se vuelva a observar un incremento en la semana 31 cuando mejoro el estado de salud.

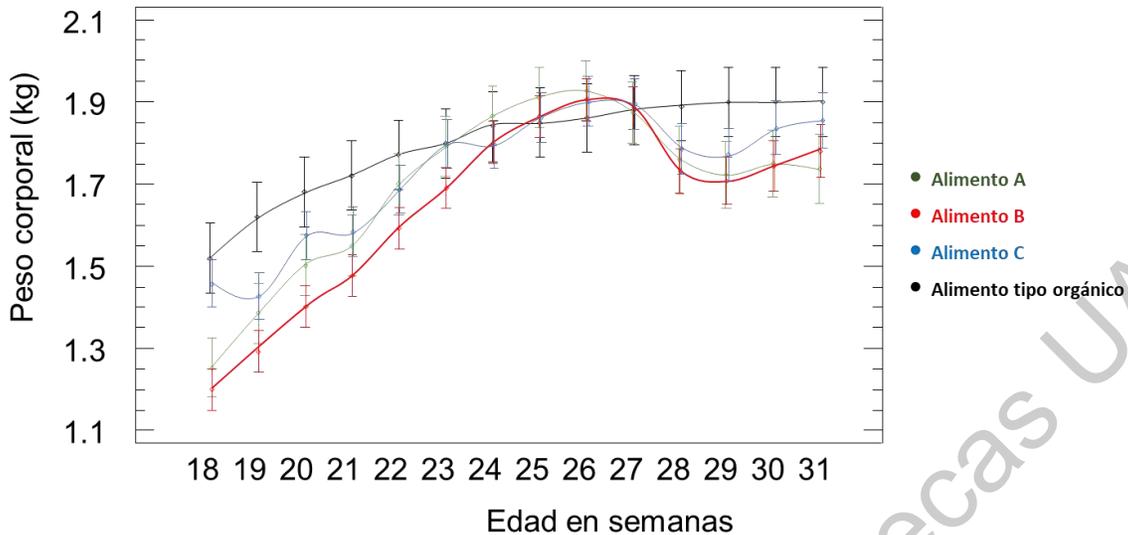


Figura 26. Comportamiento del peso corporal de las gallinas ponedoras durante la tercera etapa del ciclo de vida.

En esta tercera etapa del ciclo de vida o etapa de postura se obtuvo un peso promedio inicial por gallina de 1.245 kg para el alimento A, 1.219 kg para el alimento B y 1.458 kg para el alimento C y a pesar de las variaciones de las semanas 27 y 28, el peso promedio final fue de 1.730 kg para el alimento A, 1.800 kg para el alimento B y 1.856 para el alimento C, siendo los alimentos A y B los de valores más bajos. Sin embargo, de acuerdo con otros autores el uso de larva de mosca soldado genera una menor ganancia de peso corporal pero una mayor tasa de conversión alimenticia (Elwert et al., 2010; Marono et al., 2017). Es decir, el aprovechamiento de nutrientes es más favorable lo que genera que a pesar de que el peso corporal sea menor la tasa de postura y el tamaño de huevo sea mayor al utilizar la larva de mosca soldado como ingrediente alternativo.

6.3.2 Inicio del periodo de puesta y producción de huevo

El inicio de puesta se definió a partir del primer huevo producido por corral, por lo que se obtuvo que el tratamiento B inicio el desove en la semana 20, después el tratamiento A en la semana 21 y el tratamiento C en la semana 23. Además, se llevó a cabo un monitoreo de la cantidad total de huevos producidos semanalmente, con la finalidad de determinar el pico de producción de cada tratamiento (Figura 27).

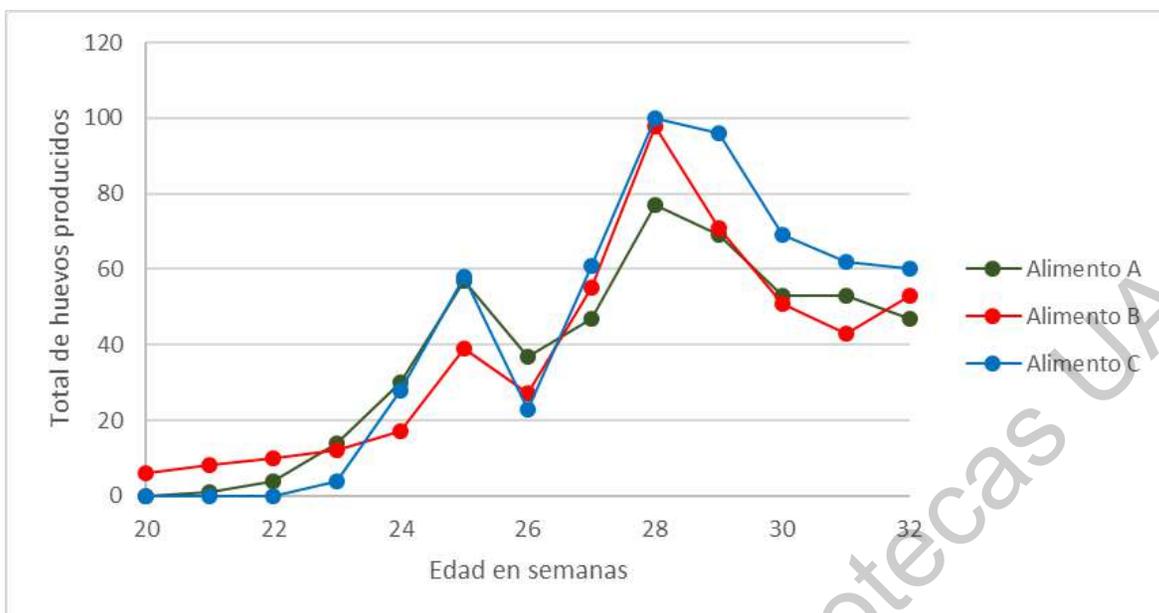


Figura 27. Comparación de la producción de huevo para cada uno de los alimentos balanceados desde el inicio de puesta.

Como se puede observar en los resultados los tres tratamientos alcanzaron el pico de producción en la semana 28, siendo el alimento B y el alimento C los de mayor cantidad de huevos producidos en dicha semana.

6.4 Determinación de la calidad fisicoquímica del huevo

6.4.1 Peso huevo

Los resultados del comportamiento del peso de huevo integro se muestran en la Figura 28 para los tres alimentos proporcionados.

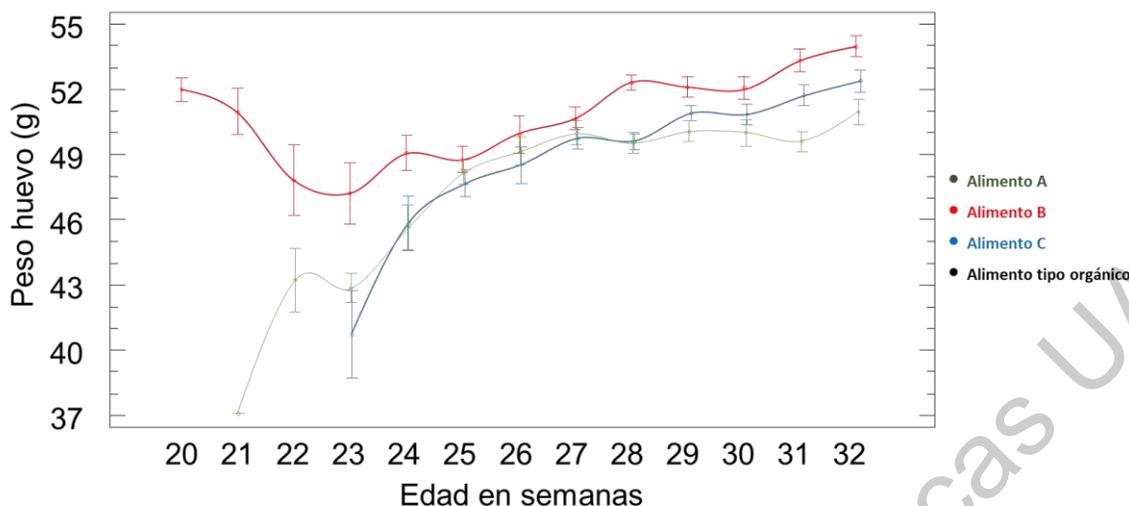


Figura 28. Comportamiento del peso del huevo integro a partir del inicio de puesta de cada alimento balanceado.

De acuerdo a la gráfica mostrada se observan diferencias significativas en las primeras semanas de puesta entre tratamientos. El peso del huevo integro aumenta conforme mejora la madurez sexual de la gallina, sin embargo, también es afectado por el peso corporal de las aves. A pesar de ello los datos obtenidos muestran un tamaño de huevo uniforme en el tratamiento B siendo también los huevos de mayor tamaño comparado con los otros tratamientos.

De acuerdo a la norma NMX-FF-127-SCFI-2016 la principal categoría de clasificación del huevo es el peso obtenido. Las categorías por peso se dividen en 5: extra grande (igual o mayor a 64 g), grande (60-64 g), mediano (55-60 g), chico (50-55 g) y canica (menor o igual a 50 g). En la Tabla 17 se muestra en porcentaje la cantidad de huevos por tamaño de cada alimento, dando como resultado un mayor porcentaje de huevos grandes para el alimento B que para el alimento A y C donde es menor al 1%.

Tabla 17. Porcentaje de huevos producidos para cada categoría de tamaño según la NMX-FF-127-SCFI-2016 en cada alimento proporcionado.

	Alimento A	Alimento B	Alimento C
Canica (%)	60.00	32.85	50.00
Chico (%)	31.75	51.75	36.36
Mediano (%)	7.22	13.35	12.06
Grande (%)	0.62	2.05	1.22
Extra grande (%)	0.41	0.00	0.35

Adicionalmente, se obtuvo la cantidad de kg de huevo producido por gallina semanalmente durante la etapa de puesta evaluado. Los resultados mostraron que la mayor cantidad de kg de huevo por gallina fue mayor en el tratamiento C con una producción de 1.249 kg en cambio el alimento A obtuvo la menor cantidad con un 1.083 kg y el alimento B con 1.215 kg, Tabla 18.

Tabla 18. Kilogramos de huevo producido por gallina para cada alimento proporcionado.

	ALIMENTO A	ALIMENTO B	ALIMENTO C
Kg de huevo/gallina	1.083	1.215	1.249

6.4.2 Peso y altura de clara y yema

De manera general, para que un huevo sea considerado normal la yema debe representar aproximadamente el 30% del peso total del huevo. Los resultados obtenidos muestran un menor porcentaje de contenido de yema, sin embargo, el mayor porcentaje con 29.20% se encontró en los huevos producidos con el Alimento B. Otra medida determinante para evaluar la calidad física del huevo es el peso de la clara; el cual debe representar un 60% aproximadamente del peso total del huevo. En este caso, los resultados mostraron un mayor porcentaje de clara en los huevos del alimento C con un 51.37%, sin embargo, los tres alimentos fueron de menor porcentaje comparado con lo esperado. Ambos resultados, tanto yema como clara se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Contenido porcentual de yema y clara por huevo para cada alimento proporcionado.

	Alimento A	Alimento B	Alimento C
Yema (%)	27.57	29.20	27.96
Clara (%)	49.64	49.69	51.37

Para determinar la edad o frescura del huevo se considera la altura de la clara, parámetro que posteriormente se utiliza para determinar las unidades Haugh. Estas unidades según la NMX-FF-127-SCFI-2016 se conforman de una escala que va del 0 al 110, en la cual mientras mayor sea la unidad Haugh más fresco es el huevo. Estas unidades permiten clasificar el huevo en cuatro grados: Extra (Unidades Haugh mayor a 70), categoría I (Unidades Haugh entre 61 a 70), categoría II (Unidades Haugh de 31 a 60) y Fuera de clasificación. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 20, donde se observa una mayor escala para el alimento A con 69.31 unidades comparado con el alimento C con 69.26 unidades y con el alimento B con 64.61 unidades. A pesar de las diferencias entre las unidades los huevos de los tres alimentos entran en la categoría I, siempre y cuando la clara se observe transparente y firme, permita observar los bordes de la yema cuando se rote el huevo en un ovoscopio.

Tabla 20. Unidades Haugh para clasificación de huevo fresco en cada alimento proporcionado.

	Alimento A	Alimento B	Alimento C
Haugh	69.31	64.61	69.26

6.4.3 Diámetro ecuatorial, máximo polar

Un cascarón con forma normal debe guardar una relación de 3 a 4 entre las medidas de diámetro ecuatorial y máximo polar, es decir, un huevo con forma alargada tendrá un índice menor a 72, con forma normal o estándar entre 72 y 76 y con forma redonda mayor a 76 (Altuntas & Sekeroglu, 2008). En este caso obtuvimos valores

cercanos a 75 por lo que todos los huevos obtenidos para todos los alimentos presentan una forma estándar. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21. Valores de índice de forma de huevo para los distintos alimentos utilizados.

	Alimento A	Alimento B	Alimento C
Índice de forma de casca <u>casca</u> ron <u>casca</u> ron <u>ron</u>	75.0	75.3	75.9

6.4.4 Grosor y peso del cascarón

Como indicativo de la calidad física del cascarón y como determinante de la resistencia de éste se midió el grosor del cascarón. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 29.

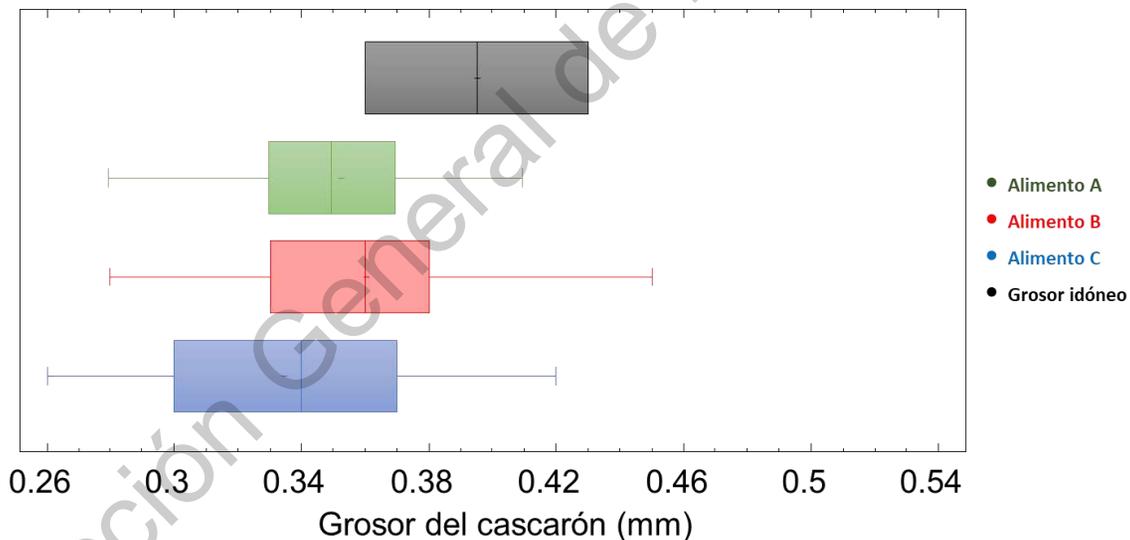


Figura 29. Comparación del grosor del cascarón del huevo de cada alimento balanceado.

El grosor del ~~casca~~casca~~ron~~casca~~ron~~ron se encontró en un intervalo de 0.33 a 0.37 mm para el alimento A, de 0.33 a 0.38 para el alimento B y de 0.30 a 0.37 para el alimento C. En los tres alimentos las medidas de grosor se encontraron por debajo de la medida idónea de grosor de cascarón que es de 0.36 a 0.43 mm. El grosor del

casarón se encuentra relacionado con la resistencia de este, por lo que los valores para ambas determinaciones se encuentran relacionadas principalmente con el metabolismo mineral de la gallina, el cual a su vez es modificado directamente por una alimentación adecuada. Debido a esto podemos considerar que las gallinas con un metabolismo mineral más adecuado en este experimento fueron a las que se les proporciono el alimento B.

Por otro lado, el peso del cascarón junto a las membranas debe representar el 10% aproximadamente del peso del huevo integro. Los resultados obtenidos muestran un 11.09% para el alimento A, 10.74% para el alimento B y un 11.23% para el alimento C, encontrando todos los valores dentro de una composición idónea.

Tabla 22. Contenido porcentual de cascarón por huevo para cada alimento proporcionado.

	Alimento A	Alimento B	Alimento C
Cascarón (%)	11.09	10.74	11.23

6.4.5 Color de cascarón y yema

El sistema de color CIE usa tres coordenadas para ubicar un color en un espacio de color. En el sistema CIELAB se definen como L^* para el valor de claridad o luminosidad, a^* que denota el valor rojo/verde y b^* el valor de amarillo/azul. Para los resultados de color de casarón la variable L^* se muestra en la Figura 30, para el valor a^* en la Figura 31 y para el valor b^* en la Figura 32.

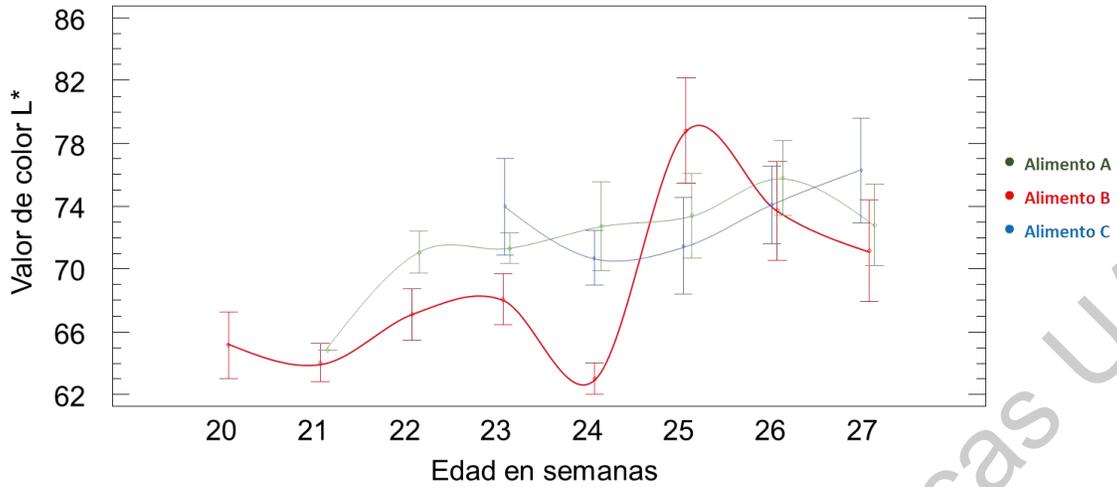


Figura 30. Comportamiento de la variable L* para color de cascarrón por cada tratamiento durante la tercera etapa.

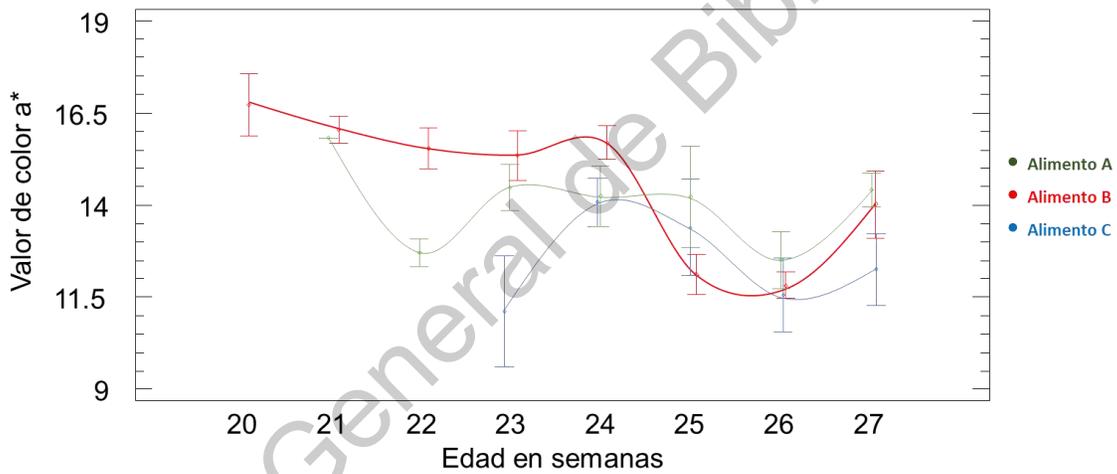


Figura 31. Comportamiento de la variable a* para color de cascarrón por cada tratamiento durante la tercera etapa.

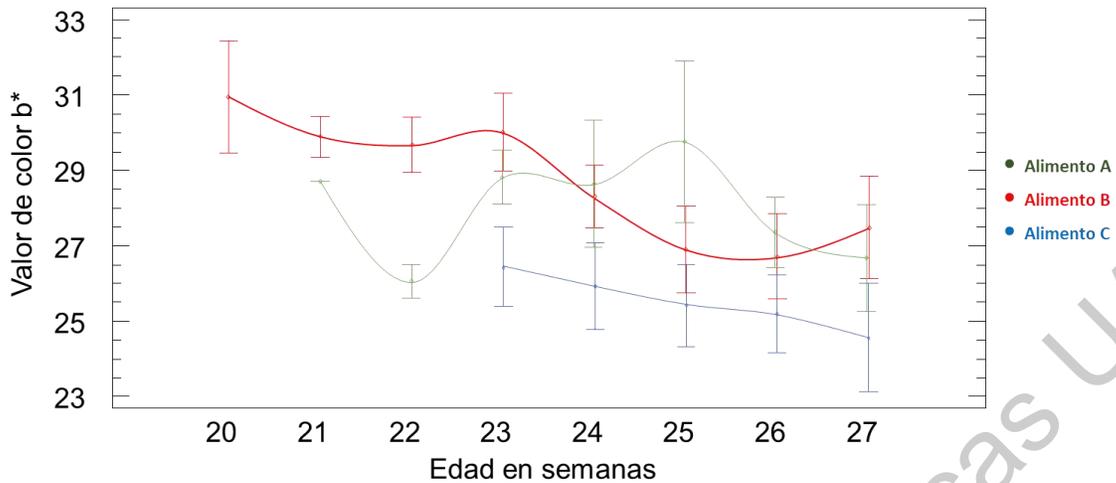


Figura 32. Comportamiento de la variable b^* para color de cascarón por cada tratamiento durante la tercera etapa.

El color del cascarón no está relacionado con la alimentación de la gallina ni el manejo de la producción, si no con la raza de la gallina. La calidad física del cascarón está determinada por las tonalidades de color que este pueda llegar a presentar. Por lo que debe ser uniforme y no presentar decoloraciones. Los resultados presentados muestran menores variaciones en las tres variables (L^* , a^* y b^*) de color de cascarón de los huevos obtenidos con el alimento A que con el alimento B, el cual presenta solo una variación en L^* en la semana 24.

Por otro lado, una característica importante de la calidad física del huevo es el color de la yema. Para esto se determinó en escala CIELAB y los resultados para la variable L^* se muestran en la Figura 22, para la variable a^* en la Figura 23 y para la variable b^* en la Figura 24.

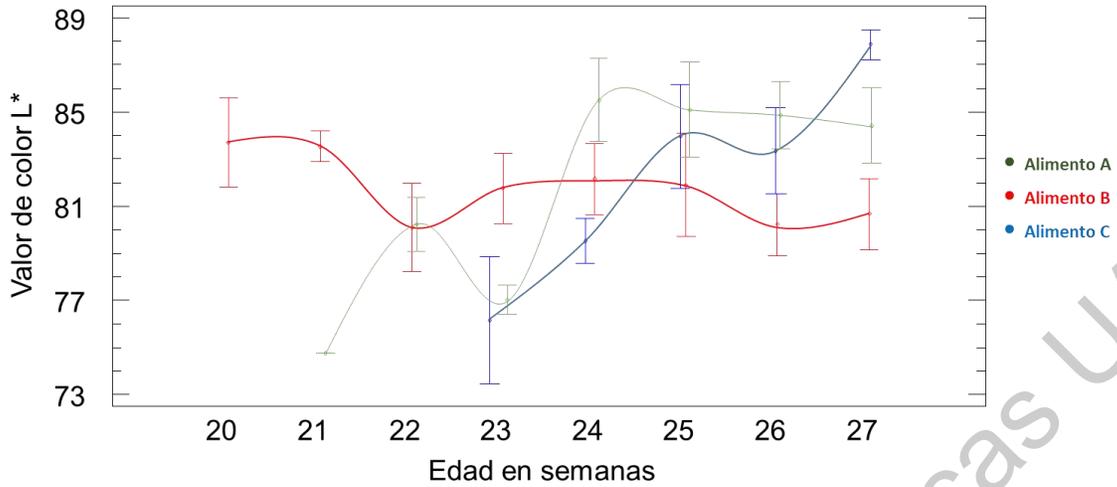


Figura 33. Comportamiento de la variable L* para color de yema por cada tratamiento durante la tercera etapa.

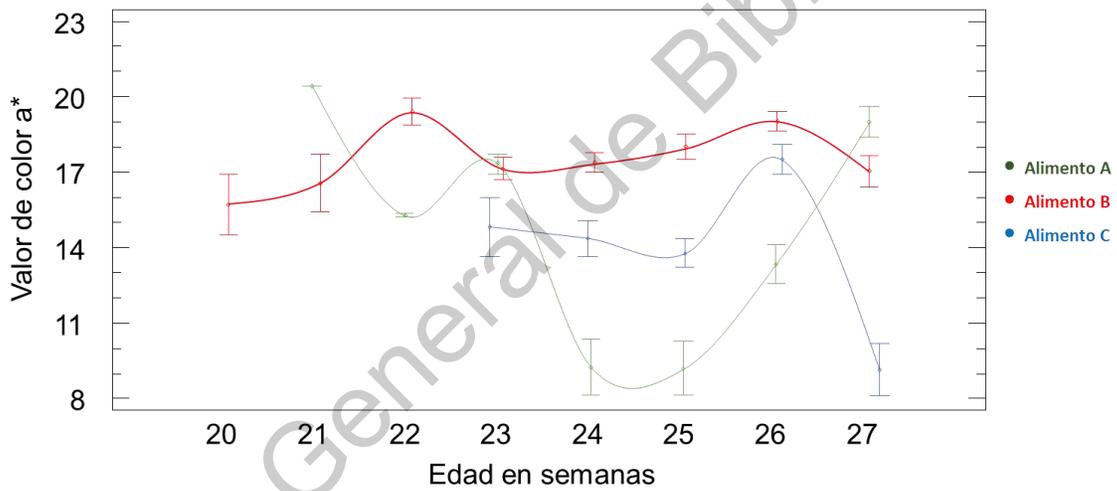


Figura 34. Comportamiento de la variable a* para color de yema por cada tratamiento durante la tercera etapa.

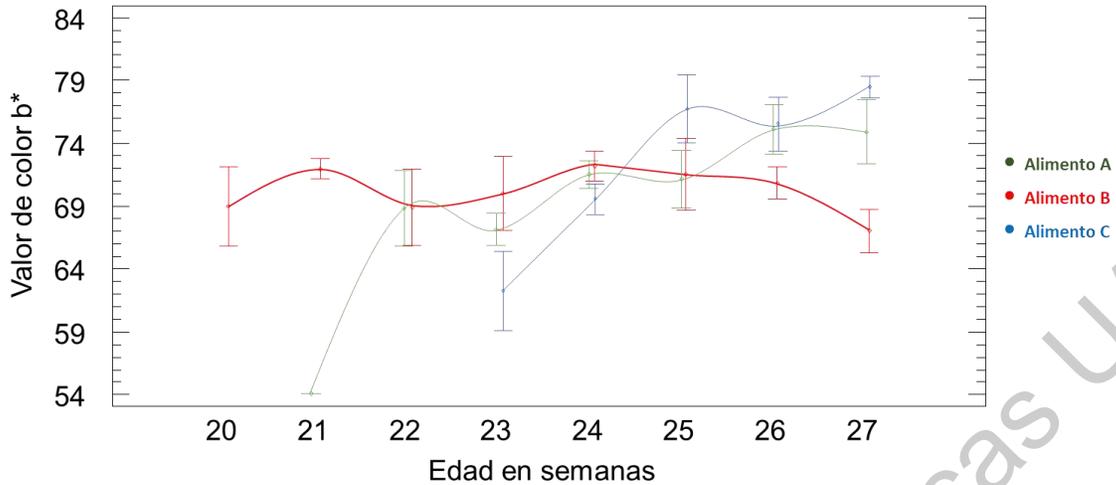


Figura 35. Comportamiento de la variable b* para color de yema por cada tratamiento durante la tercera etapa.

De manera general, el color de la yema es un factor importante en los consumidores al momento de seleccionar el huevo, dentro de las preferencias son las tonalidades amarillas-naranjas, sin llegar a tonos muy suaves. En este caso para las tres variables el tratamiento B es el que mantiene una mayor constancia en sus valores, es decir las tonalidades del color de yema no varían durante el transcurso del experimento, comparado con el alimento A y C donde se observa mayor variabilidad en los valores obtenidos.

6.5 Evaluación final

Para comparar los resultados obtenidos se presenta la Tabla 23 con la evaluación final.

Tabla 23. Evaluación final de la calidad física del huevo producido en cada alimento balanceado.

Parámetro calidad	Alimento A	Alimento B	Alimento C
Tasa de crecimiento (kg/día)	0.007	0.008	0.008
Supervivencia (%)	48	51	61

Edad de inicio de puesta	21	20	23
Tamaño de huevo (% obtenido)	Canica (60%)	Chico (51%)	Canica (50%)
Kg de huevo por gallina	1.08	1.21	1.24
% yema por huevo	27.57	29.2	27.96
% clara por huevo	49.64	49.69	51.37
Índice de forma	75	75.3	75.9
Grosor del cascarón (mm)	0.35	0.36	0.34
% cascarón por huevo	11.09	10.74	11.23
Color cascarón	Variación	Sin variación	Variación
Color yema	Variación	Sin variación	Variación

En la evaluación final del experimento podemos observar la misma tasa de crecimiento de 0.008 kg/día para el alimento B y C, a pesar de ello el porcentaje de supervivencia fue mayor para el alimento C. Sin embargo, se obtuvo un adelanto del inicio de puesta en el alimento B, iniciando postura en la semana 20 de edad. Se obtuvo también un mayor porcentaje de huevo chico en dicho alimento comparado con A y C que su mayor porcentaje de huevo fue tamaño canica. No se obtuvo diferencia en el índice de forma de huevo entre alimentos. Y en cuanto a color de cascarón y yema se mantuvo uniforme en el alimento B.

7. CONCLUSIONES

El uso de microalga y larva de mosca soldado negro como harinas alternativas permite formular un alimento balanceado que cubre las necesidades de la gallina ponedora raza Rhode Island Red para las tres etapas del ciclo de vida.

El uso del alimento B en la dieta de la gallina ponedora permite alcanzar una tasa de crecimiento diario igual a la obtenida mediante el uso de un alimento sin harinas alternativas. En cambio, el uso del alimento A afecta negativamente la tasa de crecimiento diario comparado con el uso de un alimento sin harinas alternativas.

El uso de los alimentos A y B afecta negativamente el porcentaje de supervivencia de la gallina ponedora raza Rhode Island Red comparado con el uso de un alimento sin las harinas alternativas.

Los alimentos A y B permiten adelantar la edad de inicio de puesta en la gallina ponedora raza Rhode Island Red en la semana 21 y 20 de vida, respectivamente.

Las gallinas alimentadas con el alimento A producen mayor cantidad de huevos tamaño canica, menor cantidad de kilogramo de huevo por gallinas, además los huevos obtenidos presentan menor contenido porcentual de yema y clara. Asimismo, el color del cascarón y yema tiene mayor variación comparado con el alimento B.

Las gallinas alimentadas con el alimento B producen mayor cantidad de huevos tamaño chico, mayor contenido porcentual de yema y menor de clara. Por otro lado, incrementa el grosor del cascarón comparado con los alimentos A y C. Por último, logra mantener el color del cascarón y yema sin variación.

8. REFERENCIAS

- Altuntas, E., & Sekeroglu, A. (2008). Effect of egg shape index on mechanical properties of chicken eggs. *Journal of food engineering*, 85, 606-612.
- Applegate, T. J., and R. Angel. 2014. Nutrient requirements of poultry publication: History and need for an update. *Journal of Applied Poultry Research* 23(3):567-575. doi: 10.3382/japr.2014-00980
- Bell, D. D., and W. D. Weaver. 2002. *Commercial chicken meat and egg production*. Springer California, EEUU.
- Blair, R. 2018. *Nutrition and feeding of organic poultry*. 2 nd ed. CABI international, USA.
- Bortolini, S., L. I. Macavei, J. H. Saadoun, G. Foca, A. Ulrici, F. Bernini, D. Malferrari, L. Setti, D. Ronga, and L. Maistrello. 2020. *Hermetia illucens* (L.) larvae as chicken manure management tool for circular economy. *Journal of Cleaner Production* 262doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121289
- Bovera, F., R. Loponte, M. Pero, M. I. Cutrignelli, S. Calabro, N. Musco, G. Vassalotti, V. Panettieri, P. Lombardi, G. Piccolo, C. Di Meo, G. Siddi, K. Fliegerova, and G. Moniello. 2018. Laying performance, blood profiles, nutrient digestibility and inner organs traits of hens fed an insect meal from *Hermetia illucens* larvae. *Research in Veterinary Science* 120:86-93.
- Campaña, A. 2010. Estudio de la factibilidad de la utilización de enzimas digestivas en la formulación de dietas para ponedoras comerciales, Universidad de las Americas, Quito.
- Cevallos, A. L., B. Fuente, A. Cortés, and E. Ávila. 2009. Nivel óptimo de lisina digestible en dietas para galinas de postura de primer ciclo. *Tec Pecu Mex* 47:215-222.
- Chachapoya, D. 2014. *Producción de alimentos balanceados en una planta procesadora en el cantón Cevallos*, Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Echeverría, A. 1992. *Aves de corral*. Trillas, México.
- El-Hack, M. E. A., M. Alagawany, K. M. Mahrose, M. Arif, M. Saeed, M. A. Arain, R. N. Soomro, F. A. Siyal, S. A. Fazlani, and J. Fowler. 2019. Productive performance, egg quality, hematological parameters and serum chemistry of laying hens fed diets supplemented with certain fat-soluble vitamins, individually or combined, during summer season. *Anim Nutr* 5:49-55.
- Elwert, C., I. Knips, and P. Katz. 2010. A novel protein source: Maggot meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) in broiler feed. *M. Gierus, H. Kluth, M. Bulang und H. Kluge (Hrsg)* 11:23-25.
- Elwinger, K., C. Fisher, H. Jeroch, B. Sauveur, H. Tiller, and C. Whitehead. 2016. A brief history of poultry nutrition over the last hundred years. *Poultry Science* 72:701-720.
- Fanatico, A. C., K. Arsi, I. Upadhyaya, J. M. Ramos, D. Donoghue, and A. M. Donoghue. 2018. Sustainable fish and invertebrate meals for methionine and protein feeds in organic poultry production. *Journal of Applied Poultry Research* 27:437-448. doi: 10.3382/japr/pfy037
- FAO. 2017. *Futuro de la alimentación y la agricultura: tendencias y desafíos*.
- FAO. 2018. *Gateway to poultry production and products*.

- Farrell, D. 2013. Función de las aves de corral en la nutrición humana. Revisión del desarrollo avícola:2-3.
- Federación, D. o. d. I. 1993. NOM-012-ZOO-1993, Especificaciones para la regulación de productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos.
- Federación, D. o. d. I. 1999. NOM-060-ZOO-1999, Especificaciones zoosanitarias para la transformación de despojos animales y su empleo en la alimentación animal.:11-22.
- Federación, d. o. d. I. 2000. NOM-061-ZOO-1999, Especificaciones zoosanitarias de los productos alimenticios para consumo animal.:1-6.
- Freire, I., A. Cortina-Burgueño, P. Grille, M. A. Arizcun, E. Abellán, M. S. F. Sousa, and A. Otero. 2016. *Nannochloropsis limnetica*: A freshwater microalga for marine aquaculture. *Aquaculture* 469:124-130.
- Genetics, H. 2019. *Nutrition Management Guide*. p 28.
- Gomez, J. 2015. Estudio de elementos esenciales y toxicos en microalgas uso de *Chlorella sorokiniana* en la preparaicon de alimentos funcionales, Universidad de Huelva, Huelva España.
- Gomez, M. 2007. Microalgas: aspectos ecologicos y biotecnologicos. *Revista Cubana de Quimica*:3-20.
- Harinder, P., T. Gilles, V. Heuze, and P. Ankers. 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal feed science and technology* 197:1-33.
- Hayes, M., H. Skomedal, K. Skja^ones, H. Mazur-Marzec, A. Torunska-Sitarz, M. Catala, M. I. Hosoglu, and M. Garcí'a-Vaquero. 2017. *Microalgae proteins for feed, food and health.pdf*>. doi: 10.1016/B978-0-08-101023-5.00015-7
- Hernandez, A., and J. Labbé. 2014. Microalgas, cultivo y beneficios. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 49:157-173.
- Herrero, C. 1995. Consideraciones nutricionales en la formulación y alimentación de gallinas para postura aplicadas a la explotación de huevos en centro américa. *Centro de investigaciones en nutricion animal*:51-65.
- Hester, P. Y. 2017. Breeder hen influence on nutrient availability for the embryo and hatchling. In: D. o. a. a. sciences, editor, *Egg innovations and strategies for improvements*, IN, United States. p. 55-64.
- HFAC. 2018. Normas de bienestar animal. *Humane Farm Animal Care*:1-43.
- Janist, N., P. Srichana, T. Asawakam, and S. Kijparkorn. 2019. Effect of supplementing the laying hen diets with choline, folic acid, and vitamin B12 on production performance, egg quality and yolk phospholipid. *Livestock science* 223:24-31.
- Kawasaki, K., Y. Hashimoto, A. Hori, T. Kawasaki, H. Hirayasu, S.-i. Iwase, A. Hashizume, A. Ido, C. Miura, T. Miura, S. Nakamura, T. Seyama, Y. Matsumoto, K. Kasai, and Y. Fujitani. 2019. Evaluation of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae and Pre-Pupae Raised on Household Organic Waste, as Potential Ingredients for Poultry Feed. *Animals* 9:98.
- Krienitz, L., and M. Wirth. 2006. The high content of polyunsaturated fatty acids in *Nannochloropsis limnetica* (Eustigmatophyceae) and its implication for food

- web interactions, freshwater aquaculture and biotechnology. *Limnologica* 36:204-210.
- Kücükyılmaz, K., and M. Bozkurt. 2017. Organic farming and mineral content of chicken eggs. In: D. o. a. a. a. sciences, editor, *Egg innovations and strategies for improvements*, IN, United States. p. 103-110.
- Laudadio, V., E. Ceci, N. M. B. Lastella, M. Introna, and V. Tufarelli. 2014. Low-fiber alfalfa (*Medicago sativa* L.) meal in the laying hen diet: Effects on productive traits and egg quality. *Poultry Science* 93:1868-1874.
- Leeson, S., and J. D. Summers. 2009. *Commercial Poultry Nutrition*.413.
- Lim, J.-W., S.-N. Mohd-Noor, C.-Y. Wong, M.-K. Lam, P.-S. Goh, J. Beniers, W.-D. Oh, K. Jumbri, and N. Abd-Ghani. 2019. Palatability of black soldier fly larvae in valorizing mixed waste coconut endosperm and soybean curd residue into larval lipid and protein sources. *Journal of environmental management* 231:129-136.
- Llaguno, D., and V. Masabamda. 2008. *Influencia de tres dietas alimenticias balanceadas en el engorde y calidad de carne de tilapia.* , Escuela Politecnica Nacional, Ecuador.
- Luchini, L., and G. Wicki. 2016. *Consideraciones sobre insumos utilizados en los alimentos para organismos acuaticos bajo cultivo.* Ministerio de agricultura, ganaderia y pesca
- Madeira, M., C. Cardoso, P. Lopes, D. Coelho, C. Alfonso, N. Barranda, and J. Prates. 2017. Microalgae as feed ingredients for livestock production and meat quality: a review. *Livestock science*
- Manor, M., T. Derksen, A. Magnuson, F. Raza, and X. Lei. 2019. Inclusion of Dietary Defatted Microalgae Dose-Dependently Enriches ω -3 Fatty Acids in Egg Yolk and Tissues of Laying Hens. *J Nutr*
- Marono, S., R. Loponte, P. Lombardi, G. Vassalotti, M. Pero, F. Russo, L. Gasco, G. Parisi, G. Piccolo, S. Nizza, C. D. Meo, Y. Attia, and F. Bovera. 2017. Productive performance and blood profiles of laying hens fed *Hermetia illucens* larvae meal as total replacement of soybean meal from 24 to 45 weeks of age. *Poultry Science* 96:1783-17900.
- Marrez, D., A. Cieslak, R. Gawad, H. Ebied, M. Chrenkova, M. Gao, Y. Yanza, M. E. Sherbiny, and M. Szumacher-Strabel. 2017. Effect of freshwater microalgae *Nannochloropsis limnetica* on the rumen fermentation in vitro. *Animal and feed sciences* 26:359-364.
- Matthews, W., and D. Sumner. 2015. Effects of housing system on the costs of commercial egg production. *Poultry Science* 94:552-557.
- Mendoza, Y. Y., J. d. J. Brambilia, J. J. Arana, D. M. Sangerman, and J. N. Molina. 2016 *El mercado de huevo en Mexico: tendencia hacia la diferencia en su consumo.* *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:1455-1466.
- Molina, P. 2013. *Comparación de dos sistema de producción y manejo sanitario de las aves criollas de traspatio en los municipios de Ignacion de la Llave y Teocelo, Veracruz.* Facultad de medicina veterinaria y zootecnia *Medico veterinario zootecnista*:47.

- Mwaniki, Z., A. K. Shoveller, L. A. Huber, and E. G. Kiarie. 2020. Complete replacement of soybean meal with defatted black soldier fly larvae meal in Shaver White hens feeding program (28-43 wks of age): impact on egg production, egg quality, organ weight, and apparent retention of components. *Poult Sci* 99(2):959-965. doi: 10.1016/j.psj.2019.10.032
- NRC. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. 9 ed.
- Paulista, E., and C. D. Jaboticabal. 2005. Commercial laying hen diets formulated according to different recommendations of total and digestible aminoacids.177-180.
- Pedroza, J. 2005. Manual de Producción avícola. *Journal of Chemical Information and Modeling*:130. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Quintana, J. 2011. *Avitecna manejo de las aves domésticas más comunes*. 4 ed ed. Trillas, México.
- Ravindran, V. 2011. Disponibilidad de piensos y nutrición de aves de corral en países en desarrollo. *Revisión del desarrollo avícola*
- Ravindran, V. 2012. Advances and future direction in poultry nutrition: an overview. *Poultry Science* 39:53-62.
- Ravindran, V. 2013a. Disponibilidad de piensos y nutrición de aves de corral en países en desarrollo-2. *Revisión del desarrollo avícola*
- Ravindran, V. 2013b. Principales ingredientes utilizados en las formulaciones de alimentos para aves de corral. *Revisión del desarrollo avícola*:71-73.
- Ruan, D., A. M. Fouad, Y. N. Zhang, S. Wang, W. Chen, W. G. Xia, S. Q. Jiang, L. Yang, and C. T. Zheng. 2019. Effects of dietary lysine on productivity, reproductive performance, protein and lipid metabolism-related gene expression in laying duck breeders. *Poultry Science* 98:5734-5745. doi: 10.3382/ps/pez361
- Ruhnke, I., C. Normant, D. Campbell, Z. Iqbal, C. Lee, G. Hinch, and J. Roberts. 2018a. Impact of on-range choice feeding with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) on flock performance, egg quality, and range use of free-range laying hens. *Anim Nutr* 4:452-460.
- Ruhnke, I., C. Normant, D. L. M. Campbell, Z. Iqbal, C. Lee, G. N. Hinch, and J. Roberts. 2018b. Impact of on-range choice feeding with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) on flock performance, egg quality, and range use of free-range laying hens. *Anim Nutr* 4:452-460.
- Salas, C. 2013. Energia metabolizable en reproductoras pesadas: factores que afectan los requerimientos. *Nutricion Animal Tropical* 7:51-69.
- Salvador, F., and A. Garcia. 2017. Formuación de raciones con aminoacidos digestibles en especies no rumiantes. p 17. Engormix.
- Sánchez, M.-J., F. Barroso, and F. Manzano. 2014. Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production* 65:16-27.
- Savage, S. 1988. Interpretando las conversiones de pienso. *Egg industry* 94:26-28.
- Schiavone, A., M. De Marco, S. Martinez, S. Dabbou, M. Renna, J. Madrid, F. Hernandez, L. Rotolo, P. Costa, F. Gai, and L. Gasco. 2017. Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: apparent nutrient digestibility, apparent

- metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility. *J Anim Sci Biotechnol* 8:51. doi: 10.1186/s40104-017-0181-5
- Secci, G., F. Bovera, S. Nizza, N. Baronti, L. Gasco, G. Conte, A. Serra, A. Bonelli, and G. Parisi. 2018. Quality of eggs from Lohmann Brown Classic laying hens fed black soldier fly meal as substitute for soya bean. *Animal* 10:2191-2197.
- Sustainable Agriculture Research Education, S. 2012. *Avicultura Rentable : Criando Aves en Pasturas. Alternativas en Ganadería*:16.
- Trujillo, R., J. Berrocal, L. Moreno, and G. Ferron. 2014. *Producción ecológica de gallinas ponedoras. Secretaría General Técnica y Servicio de publicaciones y divulgación, Sevilla.*
- UNA. 2019. *Situación de la avicultura mexicana.*
- Vizcaino, A. 2017. Evaluación de la harina de algas como ingrediente en piensos de peces marinos. *AquaTIC* 48:5-7.
- Wang, J., H. Yue, S. Wu, H. Zhang, and G. Qi. 2017. Nutritional modulation of health, egg quality and environmental pollution of the layers. *Anim Nutr* 3:91-96.
- Windhorst, H.-w. 2013. *Atlas of the Global Egg Industry I E C Statistical Analyst.* p 36.
- Wu, Y., L. Li, Z. Wen, H. Yan, P. Yang, J. Tang, X. M, and S. Hou. 2018. Dual functions of eicosapentaenoic acid-rich microalgae: enrichment of yolk with n-3 polyunsaturated fatty acids and partial replacement for soybean meal in diet of laying hens. *Poultry Science* 0:1-8.
- Yang, Z., V. R. Pirgozliev, S. P. Rose, S. Woods, H. M. Yang, Z. Y. Wang, and M. R. Bedford. 2020. Effect of age on the relationship between metabolizable energy and digestible energy for broiler chickens. *Poultry Science* 99:320-330. doi: 10.3382/ps/pez495