



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“EFECTO DE TRES TRATAMIENTOS DE FOTOPERIODO
SOBRE LA FISIOLÓGIA DE LA GALLINA PONEDORA Y LA
CALIDAD DEL HUEVO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

PRESENTA

MARTA MONTSERRAT TOVAR RAMÍREZ

DIRIGIDA POR

DR. JUAN FERNANDO GARCÍA TREJO

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2019



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**"EFECTO DE TRES TRATAMIENTOS DE FOTOPERIODO
SOBRE LA FISIOLÓGIA DE LA GALLINA PONEDORA Y LA
CALIDAD DEL HUEVO"**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA

PRESENTA

MARTA MONTSERRAT TOVAR RAMÍREZ

DIRIGIDA POR

DR. JUAN FERNANDO GARCÍA TREJO

SINODALES

Dr. JUAN FERNANDO GARCÍA TREJO

DIRECTOR

Dra. ANA ANGÉLICA FERREGRINO PÉREZ

SINODAL

M. en C. ABRAHAM GASTELUM BARRIOS

SINODAL

Dr. SERGIO DE JESÚS ROMERO GÓMEZ

SINODAL

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios en primer lugar, porque me ha demostrado más de alguna vez que siempre me ha acompañado a lo largo de este gran camino, gracias por el amor infinito, el apoyo y las bendiciones otorgadas para lograr cumplir con este objetivo.

Mamá y Papá, gracias por su confianza, por siempre alentar mis sueños y sobre todo por apoyarme para cumplirlos, sin su motivación y consejos no podría estar en donde estoy ahora. Hermanos sin sus burlas y regaños no existiría la parte satisfactoria de poder decirles lo logré y ahora ustedes deben ser mejores. El camino no fue nada fácil, gracias por siempre estar ahí.

También agradezco al Dr. Juan Fernando García, por la oportunidad de realizar este trabajo, gracias por compartir siempre sus conocimientos, por su orientación y consejos.

A mis amigos y demás familiares que estuvieron presentes durante la realización y trámites para poder concluir este trabajo, gracias por los comentarios de apoyo recibidos. Y en especial a mi querida amiga Vanessa Oviedo, la cual ha estado presente desde que inicié mis estudios universitarios, infinitas gracias por el apoyo, por ayudarme a valorar mis esfuerzos y por la familia que has sido para mí desde que llegué a Querétaro.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	
1. ANTECEDENTES	1
1.1 Avicultura	1
1.2 Gallina ponedora	1
1.2.1 Características de la gallina	2
1.3 Huevo	2
1.3.1 Aporte nutricional	3
1.3.2 Calidad	3
1.4 Fotoperiodo	6
1.4.1 Fuentes de iluminación	6
1.4.2 Efecto fisiológico de la luz sobre las gallinas	7
2. HIPÓTESIS	11
3. OBJETIVOS	12
3.1 General	12
3.2 Específicos	12
4. METODOLOGÍA	13
4.1 Descripción general	13
4.2 Diseño Experimental	13
4.3 Diseño de caseta avícola	14

4.4	Fotoperiodo	14
4.5	Gallina Rhode Island	15
4.6	Monitoreo del peso de las aves	16
4.7	Determinación del inicio de puesta	16
4.8	Determinación de hormona luteinizante en la gallina.	16
4.9	Determinación de la calidad física del huevo	17
4.10	Determinación de la calidad química del huevo	18
5.	RESULTADOS	19
5.1	Localización e instalación de la caseta avícola	19
5.2	Comportamiento del peso de las gallinas.	20
5.3	Inicio de puesta y pico de producción	21
5.4	Hormona luteinizante	23
5.5	Determinación de la calidad física del huevo	23
5.5.1	Peso del huevo entero	23
5.5.2	Peso de la yema y clara.	24
5.5.3	Altura de la yema	25
5.5.4	Altura de la clara y unidades Haugh	25
5.5.5	Peso y grosor del cascarón	26
5.5.6	Diámetro ecuatorial y diámetro polar.	27
5.5.7	Cámara de aire.	28
5.5.8	Color de yema	29
5.5.9	Color del cascarón	30
5.6	Determinación de la calidad química del huevo	32
6.	DISCUSIÓN	35

7. CONCLUSIONES	41
8. REFERENCIAS	42

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Categorías de clasificación por tamaño de huevo según la norma NMX-FF-127-SCFI-2016	4
2. Clasificación del huevo por grados según la NMX-FF-127-SCFI-2016	5
3. Tratamientos de fotoperiodo que se aplicaron a las aves de postura según su etapa de desarrollo.	14
4. Comparación de los resultados obtenidos de % grasa, % proteína y % carbohidratos en clara entre los distintos tratamientos en la semana 22 y semana 34.	32
5. Comparación de los resultados obtenidos de % grasa, % proteína y % carbohidratos en yema entre los distintos tratamientos en la semana 22 y semana 34.	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Funcionamiento del eje hipotálamo-hipófisis-gonadal y como es afectado por la luz (Bédécarrats y Hanlon, 2017).	9
2. Diagrama de flujo de las actividades que se realizaron para conocer el efecto del fotoperiodo sobre el adelanto de postura y la calidad del huevo en gallina de libre pastoreo.	13
3. Arreglo de tratamientos al azar.	15
4. Instalación de la geomembrana dentro de la caseta avícola para la división de los gallineros	19
5. Vista interior de los gallineros con los requerimientos necesarios para la correcta aplicación de los tratamientos.	20
6. Pollitas raza Rhode Island de 2 semanas de edad.	20
7. Comparación del comportamiento del peso de las aves de los distintos tratamientos aplicados contra la curva estándar de pesos ideales.	21
8. Comparación de la producción de huevo por tratamiento durante 16 semanas de experimentación.	22
9. Comparación del comportamiento del porcentaje de puesta de los diferentes tratamientos durante el periodo de producción.	22
10. Comparación del peso de los huevos a partir de la semana 22 de los distintos tratamientos.	23
11. Comparación del peso de la yema a partir de la semana 22 de los distintos tratamientos.	24
12. Comparación del peso de la clara a partir de la semana 22 de los distintos tratamientos.	24
13. Comparación de la altura de yema a partir de la semana 22 de los distintos tratamientos.	25
14. Comparación del peso del cascaron a partir de la semana 22 de los distintos tratamientos.	26

15. Comparación del grosor del cascaron a partir de la semana 22 de los distintos tratamientos.	26
16. Comparación del diámetro ecuatorial del huevo a partir de la semana 22 de los distintos tratamientos.	27
17. Comparación del diámetro polar a partir de la semana 22 de los distintos tratamientos.	27
18. Comparación de las medidas de la cámara de aire a partir de la semana 22 de los distintos tratamientos.	28
19. Comparación de la variable L para determinar el color de yema, a partir de la semana 22.	29
20. Comparación de la variable a para determinar el color de yema, a partir de la semana 22.	29
21. Comportamiento de la variable b para determinar el color de yema, a partir de la semana 22.	30
22. Comparación de la variable L para determinar el color del cascarón, a partir de la semana 22.	30
23. Comparación de la variable a para determinar el color del cascarón, a partir de la semana 22.	31
24. Comparación de la variable b para determinar el color del cascarón, a partir de la semana 22.	31

RESUMEN

La gallina, *Gallus gallus*, tiene importancia debido a que representa una fuente de alimento tanto por su carne como por la puesta de huevos. Se ha observado que la fisiología reproductiva de estas aves puede afectarse por el uso del fotoperiodo, cantidad de tiempo de luz que reciben en un lapso de 24 horas. El objetivo fue determinar el ciclo de iluminación óptimo que adelante el tiempo de postura de la gallina, mejore su crecimiento y calidad de vida, así como la calidad físico-química del huevo. El proyecto constó de utilizar 1 caseta dividida en 8 gallineros con los requerimientos necesarios para cada etapa del ciclo de vida de las aves. Se contó con un lote experimental de 496 gallinas, se aplicaron tres tratamientos de fotoperiodo y un control, por duplicado. Durante la experimentación se llevó a cabo un monitoreo del peso de las aves, cuantificación de hormona luteinizante (LH), la calidad física del huevo según la NMX-FF-127-SCFI-2016 y la calidad química. Los resultados obtenidos fueron un adelanto de postura en la semana 16 para F1, un incremento de la producción de huevo y de la concentración de LH en F2, así como cambios en la calidad física del huevo que no afectan su clasificación, y un aumento en la calidad química en todos los tratamientos. Los ciclos de iluminación generan cambios en la fisiología de las aves ponedoras e indirectamente sobre la calidad del huevo. El tratamiento F2 es óptimo para un adelanto de postura e incremento de producción.

1. ANTECEDENTES

1.1 Avicultura

Avicultura es la toda actividad relacionada con la cría y el cuidado de todo tipo de aves para su explotación comercial y puede ser extensiva, semi-intensiva o intensiva. A pesar de la amplia cantidad de especies avícolas, es más común relacionar esta actividad con la cría de pollo para la obtención de carne y huevo (Villanueva y col., 2015; MINAGRO, 2018).

En México las actividades pecuarias han tenido un gran crecimiento en las últimas décadas, al grado de ir desplazando el consumo de carne de cerdo y bovino. Todo esto ha sido por la implementación de nuevas tecnologías en la producción avícola (Pérez, 2014).

1.2 Gallina ponedora

La gallina, *Gallus gallus*, es el ancestro común de todas las aves domésticas, incluyendo los híbridos de las estirpes modernas productoras de huevo para plato, las destinadas al consumo de carne y las aves de combate, además es quizás el ave doméstica más abundante del planeta. Existen datos que dictan que estos animales provienen del sur y sudeste de Asia, donde se cree aún se encuentra la especie salvaje, fue domesticada hace 6000-8000 años. Su importancia es debido a que representan una fuente de alimento tanto por su carne como por la puesta de huevos (Mariaca, 2013; Trujillo y col., 2014; Hernandez y col., 2015).

Dentro de la clasificación de gallina de postura existen otras 2 clasificaciones según el fin zootécnico: aves livianas productoras de huevo y aves semipesadas o de doble propósito productoras de huevo y carne. Las aves livianas son principalmente: la Leghorn o Livorno, la Ancona, de origen italiano y la Minorca, de origen español. En la actualidad las gallinas ponedoras se han formado a base de la raza Leghorn blanca, seleccionada en los Estados Unidos, producen huevos blancos. Las aves de doble propósito son la Rhode Island roja, la Wyandotte, la New Hampshire, la Plymouth Rock, y la Delaware, de estas últimas la raza más importante de este grupo es la Rhode Island roja, originaria de Rhode Island, Estados Unidos, son aves rústicas de temperamento tranquilo, que pueden adaptarse a muy diversas

condiciones ambientales, producen huevos color marrón o café claro (Echeverría, 1992).

1.2.1 Características de la gallina

Las gallinas son animales homeotermos, monogástricos y omnívoros, su maduración sexual ocurre entre los 150-160 días de edad (21-23 semanas), es decir, la puesta de huevo (Trujillo y col., 2014).

Las gallinas cuentan cuatro dedos en sus patas adaptados para escarbar, cuerpo pesado y alas cortas, por lo que solo pueden volar distancias muy cortas. En su cabeza tienen cierta carnosidad al lado del pico y tanto el macho como la hembra tienen una cresta desnuda y carnosa, siendo más prominente en el macho. Este tipo de aves resulta ser muy activa durante el día (Molina, 2013).

La gallina Rhode Island es de las razas de doble propósito más utilizadas, en cuanto a la producción de huevo puede llegar a poner hasta 220 por año. Los gallos llegan a pesar no menos de 4 kilos y las gallinas menos de 3 kilos. Además de que se considera una especie resistente que puede adaptarse a prácticamente cualquier lugar y cualquier dieta (Calvo, 2015).

1.3 Huevo

Dentro de los principales productos obtenidos de las gallinas se encuentra el huevo. Este es un producto muy común entre la población por ser de uno de los alimentos más completos nutricionalmente, de ahí su importancia. México es considerado el primer consumidor de huevo a escala mundial, tan solo en 2014 produjo más de dos millones de toneladas de huevo, siendo Jalisco el estado con mayor producción (Mendoza y col., 2016; Secretaría de Agricultura, 2016).

Está conformado principalmente por tres partes: cascara, yema y clara, los cuales representan el 11%, 31% y el 58% respectivamente. La parte exterior, cascarón, tiene como principal función crear una barrera física que permita proteger el interior del huevo, sus principales componentes son minerales como el calcio, magnesio, zinc, entre otros. La siguiente parte es la clara, la cual puede dividirse en dos, albumen denso y fluido, como principal función tiene alimentar al embrión y mantenerlo lejos del cascarón, su principal componente son proteínas y vitaminas.

Por último, la yema, tiene como principal característica su color anaranjado o amarillo, su función es ser un almacén de nutrientes para el embrión y sus principales componentes son agua, grasa y proteína (Instituto de estudios del Huevo, 2009; PROFECO, 2012; Rodríguez, 2015).

El huevo de la raza Rhode Island es color pardo de tamaño medio a grande, esto es influido por el tamaño de la gallina cuando alcanza la madurez sexual. La alimentación de la gallina es otro factor que determina el tamaño de estos (Cruz, 2016).

1.3.1 Aporte nutricional

El huevo es de un alimento esencial para la alimentación humana, por su gran variedad de nutrientes. El valor nutricional está influenciado principalmente por la edad de la gallina, estirpe y el tipo de manejo, siendo la nutrición del ave el factor más influyente. Diversos autores han encontrado diferencias en la composición química del huevo de varias estirpes. Pero en general es una fuente de proteína de excelente calidad, contiene la mayoría de los aminoácidos esenciales, aporta una gran cantidad de vitaminas (complejo B, vitaminas A, D, E, etc.) y algunos minerales como fósforo, magnesio, hierro y zinc, entre otros (Instituto de estudios del Huevo, 2009; Mendoza y col., 2016).

De las tres partes fundamentales del huevo, únicamente la clara y la yema tienen interés para la alimentación y la nutrición. La clara contiene principalmente agua en su mayoría y proteínas, correspondiendo a la albúmina la mayor importancia y significado. En la yema la mitad de esta porción es agua, repartiéndose equitativamente el resto las proteínas y grasas. Una fracción muy pequeña corresponde a sustancias diversas, no menos importantes para la nutrición y la salud como lo son los carotenoides (Tortuero, 2002).

1.3.2 Calidad

Los principales criterios por los que la gente elige los huevos depende de la frescura, seguridad, alimentación animal, forma de cría, origen, información de la etiqueta, impacto ambiental, precio, tipo de envase y la imagen de la marca por lo que la

calidad del huevo se define por sus características externas, internas y por la composición nutricional (Rodríguez, 2015).

La calidad del huevo, de acuerdo a la norma mexicana NMX-FF-127-SCFI-2016, es el conjunto de características físicas y especificaciones que determinan los grados o categorías del huevo, algunas de estas se muestran en los cuadros 1 y 2. La determinación de estas propiedades se establece en base a la inspección ocular, peso, tamaño, y limpieza, así como a través del ovoscopio para medir la cámara de aire, cuerpos extraños y los defectos que presenten el cascaron, la clara y la yema. El tamaño del huevo es determinado principalmente por la especie, pero también es influenciado por la alimentación, el tiempo de postura y la iluminación (Bell y Weaver, 2002; Diario oficial de la federación, 2018).

Existen factores que afectan directamente la calidad del huevo y que deben tomarse en cuenta para la determinación de la misma, algunos de ellos son la edad del ave y genotipo, la muda forzada, el clima y el medio ambiente en el que se desarrollan las aves, así como la nutrición de la gallina.

Cuadro 1. Categorías de clasificación por tamaño de huevo según la norma NMX-FF-127-SCFI-2016.

Tamaño	Peso mínimo por unidad (g)	Contenido neto mínimo por docena (g)	Contenido neto mínimo por caja (kg)
1 Extra grande	≥ 64	768	15.3 caja de 240 piezas
2 Grande	60-64	720	21.6 caja de 360 piezas
3 Mediano	55-60	660	19.8 caja de 360 piezas
4 Chico	50-55	600	18.0 caja de 360 piezas
5 Canica	≥ 50	--	--

Cuadro 2. Clasificación del huevo por grados según la NMX-FF-127-SCFI-2016.

Grados de clasificación	Cascarón	Cámara de aire	Clara	Yema
Extra	Normal, íntegro y limpio.	Normal y no exceder los 3,2 mm.	Limpia, firme y transparente, de tal forma que los límites de la yema sean ligeramente definidos. La altura de la albúmina es de más de 5,5 mm o en unidades Haugh mayor a 70.	De forma redondeada, libre de defectos, ubicada en el centro, sin manchas de sangre y carnosidades, el disco germinativo imperceptible. El color puede ser entre 9 y 13 en el abanico Colorimétrico de Roche.
Categoría I	Normal, íntegro y limpio.	De normal a ligeramente móvil, puede presentar movimientos ondulatorios limitados, pero sin burbujas y no exceder los 5,0 mm.	Transparente y firme, permitiendo ver los bordes de la yema cuando el huevo se rota a la luz del ovoscopio. La altura de la albúmina es de más de 4,2 mm o en unidades Haugh de 61 a 70.	De forma redondeada, libre de defectos, ubicada en el centro, sin manchas de sangre y carnosidades, el disco germinativo imperceptible. El color puede ser entre 9 y 13 en el abanico Colorimétrico de Roche.
Categoría II	Puede presentar anomalías, pero debe estar intacto, libre de manchas o excremento adherido, sangre u otros materiales.	Puede presentar movimiento ondulatorio limitado y libre de burbujas, profundidad no mayor a 6,0 mm.	Puede ser débil y acuosa, de tal forma que la yema se acerque al cascarón, provocando que ésta aparezca poco visible, como una mancha oscura al girar el huevo en el ovoscopio, puede presentar puntos de sangre o carne, siempre y cuando en su conjunto no excedan los 3,1 mm. La altura de la albúmina es de más de 2,2 mm o en unidades Haugh de 31 a 60.	Puede aparecer oscura y estar ligeramente aplanada o alargada, desplazada fuera de la posición céntrica y con disco germinativo ligeramente visible, pero sin sangre. El color puede ser entre 9 y 13 en el abanico Colorimétrico Roche.
Fuera de clasificación	Lavado, sucio, manchado de sangre, excremento o cualquier materia extraña, quebrado.	Que esté libre o espumosa, o que sea mayor de 6,0 mm.	Cuando tenga cuerpos extraños o manchas, que solas o en conjunto tengan un tamaño mayor a 3,1 mm o bien, cuando aparezca turbia.	Oscura, no céntrica, de conformación anormal, con disco germinativo desarrollado y / o crecimiento microbiológico.

Nota: Esta clasificación por grados es aplicable para todas las categorías de tamaños de huevo referidos en esta norma.

Uno de los principales factores que afectan la calidad interna del huevo es la edad de la gallina; las Unidades Haugh (UH) del albumen disminuyen. Las distintas estirpes. La muda forzada, que es conocida por mejorar la calidad del albumen

después de realizarla por la regeneración del mágnum. Los programas de luz, dónde se encontró una relación positiva entre el aumento del peso del huevo y el ciclo Ahemeral de luz, por otro lado, se obtuvo un decremento de la altura del albumen al aumentar la longitud de los ciclos de luz. Las instalaciones, se ha reportado diferencia de la calidad entre huevos producidos en sistemas de baterías, aviario, suelo y parque al aire libre con diferencias significativas entre ellos. Las enfermedades, por ejemplo, la bronquitis infecciosa causada por un virus que destruye las células del mágnum, afectando por consiguiente la calidad del albumen y el cascarón del huevo. La alimentación, en aves Leghorn alimentadas con raciones decrecientes en proteína (15,6%, 14,8%, y 14,0%) se observó un aumento en las Unidades Haugh, así como la adición de Lisina y Magnesio en la dieta de las aves para aumentar el peso del huevo (Jensen, 1982; Hy-line, 2017).

1.4 Fotoperiodo

La luz es un factor importante para la producción de huevo, por lo que en casetas avícolas es común buscar el aprovechar al máximo las horas de luz natural al día. El fotoperiodo es la cantidad de tiempo de luz que reciben las gallinas en un lapso de 24 horas. Sin embargo, un fotoperiodo crítico o corto, 11 horas luz, es capaz solo de iniciar el desarrollo sexual, en cambio uno de saturación, alrededor de 13 horas luz, puede no solo iniciar esta maduración si no elevarla al máximo (Trujillo y col., 2014; Cruz, 2016; SAGARPA, 2016).

Se pueden lograr buenos resultados de producción con fotoperiodos intermitentes, es decir, alternando periodos cortos de luz y oscuridad llamados programas Ahemeral. Los programas de iluminación Ahemeral son utilizados para mejorar la calidad del cascarón y tamaño del huevo, sin afectar la producción. Se aplican en instalaciones de ambiente controlado, principalmente en Europa y en los Estados Unidos (Ostrander y Turner, 1962; Ernest y col., 1987).

1.4.1 Fuentes de iluminación

El espectro de luz ejerce un efecto directo en la productividad de las aves, independientemente de la fuente emisora (lámpara incandescente, fluorescente, de vapor o de sodio) determina características subjetivas en la producción de huevo y

la producción de hormonas, ya que las aves no sólo perciben los colores visibles para los seres humanos, sino también los más cortos y más extremos del espectro. Las aves son particularmente sensibles a la luz ultravioleta, produciendo más hormonas reproductivas. Las radiaciones luminosas calientes y con mayor longitud del espectro (amarillo, naranja y rojo), estimulan a las aves en mayor grado que las frías y con menor longitud (violeta, azul y verde), por tanto, para aprovechar al máximo la iluminación, se prefieren tubos fluorescentes y focos incandescentes de luz blanca que los de color (Boni y Paes, 1999).

1.4.2 Efecto fisiológico de la luz sobre las gallinas

Las aves tienen un aparato reproductivo diferente al de mamíferos, esto se debe a que es una especie que está casi al final de la cadena alimenticia, dentro de sus características es que sus crías se desarrollan fuera de la hembra en huevos, los cuales cuentan con suficientes nutrientes para permitir el crecimiento de los polluelos. Este aparato está compuesto por el ovario y el oviducto izquierdos, del lado derecho los órganos involucionan después del octavo día de incubación (Revelo, 2014).

Para llevar a cabo la maduración de las gonadas y la reproducción en sí de las aves, es necesario tener un estímulo luminoso, esto se debe a que la luz es captada por fotorreceptores oculares e intracraneales los cuales traducirán esta señal externa, mediante un mecanismo circadiano, a neuronas para la síntesis de neuropéptidos y hormonas que iniciarán y llevarán a cabo la reproducción (Peralta, 2017)

Este sistema reproductivo de las aves es controlado principalmente por las hormonas de un eje neuroendocrino llamado eje hipotálamo-hipófisis-gonadal, el cual se encarga de detectar señales externas y enviar las señales internas para la reproducción y activación de puesta de huevos. Es necesario tener un estímulo luminoso para el buen funcionamiento, Figura 1, este eje es regulado principalmente por la hormona liberadora de gonadotropina hipotalámica I (GnRH-I) y la hormona inhibidora gonadotropina (GnIH). Su funcionamiento se da inicialmente por los receptores intracraneales y oculares del ave que captan la luz del día y la traducen en señales que producirán melatonina y tirotrófina en bajas concentraciones. A

continuación, en el hipotálamo, se activará la producción de la GnRH-I la cual una vez sea liberada se unirá a los receptores gonadotropos alfa T3 que generaran como respuesta fisiológica la liberación de gonadotropinas, en la hipófisis, como la hormona folículo estimulante (FSH) y luteinizante (LH), las cuales favorecen la maduración gonadal y esteroidogénesis preparando así al organismo para producir, una vez comiencen la maduración sexual del ovario los folículos blancos pequeños (SWF, por sus siglas en inglés) producirán estradiol para promover desarrollo del tracto reproductivo que llevará a su vez la preparación para la puesta de huevos, mientras que los folículos amarillos grandes (LYF, por sus siglas en inglés) producirán progesterona que servirá para seguir manteniendo un aumento en la producción de GnRH-I y de LH durante la ovulación. Por otro lado, durante la noche u oscuridad, cuando no hay horas luz, en la glándula pineal es producida a mayores concentraciones la melatonina la cual en este caso se encargará de estimular la liberación de GnIH, hormona que tiene como función inhibir la liberación de GnRH-I y por consiguiente regular negativamente la secreción de FSH y LH, lo que evitará que se lleve a cabo, durante ese periodo, la reproducción de la especie o maduración de las gónadas. Entonces si se aplica una fotoestimulación en los receptores cerebrales de la gallina puede elevarse la inhibición en la producción de la melatonina y la GnIH, generando así la liberación de GnRH-I que acelerará la reproducción de las gallinas, es decir, habrá un adelanto en el tiempo de postura (Gutiérrez, 1999; Prieto-Gómez, 2002; Bédécarrats y Hanlon, 2017; Peralta, 2017).

LH y FSH, en la hembra, son útiles para el buen funcionamiento de las gónadas, en general, ambas son liberadas a la circulación sistemática para viajar hasta las gónadas, donde se encargarán de la maduración de estas y de la liberación de esteroides sexuales. LH es encargada de inducir la ovulación en gallinas domésticas, mientras que la FSH controla el desarrollo y diferenciación folicular. La hormona LH actúa produciendo un pico crepuscular aproximadamente 10 horas antes de la ovulación (generalmente al inicio del periodo de oscuridad), este pico marca un incremento mínimo de progesterona, la cual más adelante generara a su vez un aumento más significativo del nivel de LH, pico preovulatorio, de cuatro a seis horas antes de la

ovulación. Estos niveles altos de LH estimulan el rompimiento del folículo preovulatorio y como consecuencia el inicio de la ovulación (Gutiérrez, 1999; Revelo, 2014).

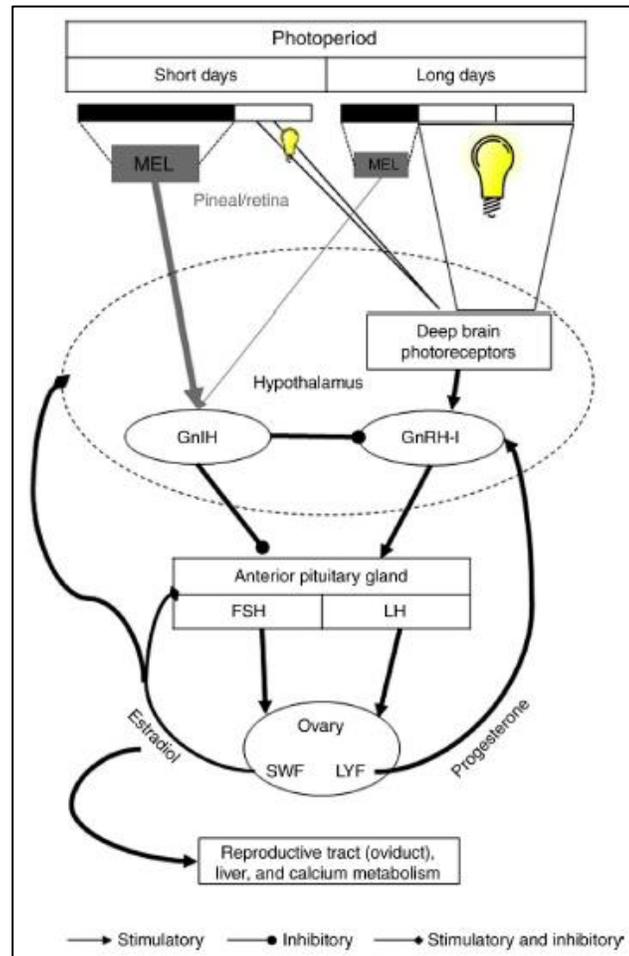


Figura 1. Funcionamiento del eje hipotálamo-hipófisis-gonadal y como es afectado por la luz (Bédécarrats y Hanlon, 2017).

Existen ya algunos estudios sobre el efecto del fotoperíodo, por ejemplo, Geng y col. en el 2014 utilizan tratamientos de 12L:20:4L:6O y 14L:10O (L:O indica Luz:Oscuridad) con el objetivo de observar cambios significativos sobre las tasas de puesta encontrando de resultados que efectivamente son más altas con respecto a otros tratamientos hechos. Concluyen diciendo que el fotoperíodo afecta las tasas de puesta y el comportamiento de las aves, por otro lado, sugieren el tratamiento de

12L:2O:4L:6D como el más óptimo para tener un aumento en la tasa de puesta (Geng y col., 2014).

A pesar de los beneficios del uso de fotoperiodo, el adelanto de la madurez sexual puede presentar problemas como los siguientes: parte de los nutrientes van a la producción de huevo, con lo cual detienen su crecimiento corporal las aves; a pesar de que se anticipe la postura, el ciclo productivo se acorta, debido a su agotamiento más rápido, por lo que pueden existir gran cantidad de huevos pequeños (40 a 45 g.) y problemas de prolapsos de cloaca (Phil, 2013).

2. HIPÓTESIS

La aplicación de tres diferentes ciclos de iluminación artificial tendrá un efecto directo sobre la fisiología de las aves aumentando su contenido de hormona luteinizante, mejorando su crecimiento, calidad de vida y tiempo de postura e indirecto sobre la calidad del huevo producido.

3. OBJETIVOS

3.1 General

Determinar el ciclo de iluminación óptimo que adelante el tiempo de postura de la gallina, mejore su crecimiento y calidad de vida, así como la calidad físico-química del huevo.

3.2 Específicos

- Comparar tres ciclos de iluminación artificial sobre la fisiología de las gallinas ponedoras.
- Cuantificar la producción de hormona luteinizante en las gallinas ponedoras antes y después de utilizar los diferentes ciclos de iluminación artificial.
- Evaluar el efecto que tienen la iluminación artificial sobre la fisiología reproductiva de las gallinas ponedoras determinando el tiempo de postura.
- Evaluar el efecto que tienen la iluminación artificial sobre el crecimiento y la calidad de vida de las gallinas ponedoras.
- Evaluar el efecto indirecto de los ciclos de iluminación artificial sobre la calidad del huevo mediante análisis físicos y químicos.

4. METODOLOGÍA

4.1 Descripción general

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

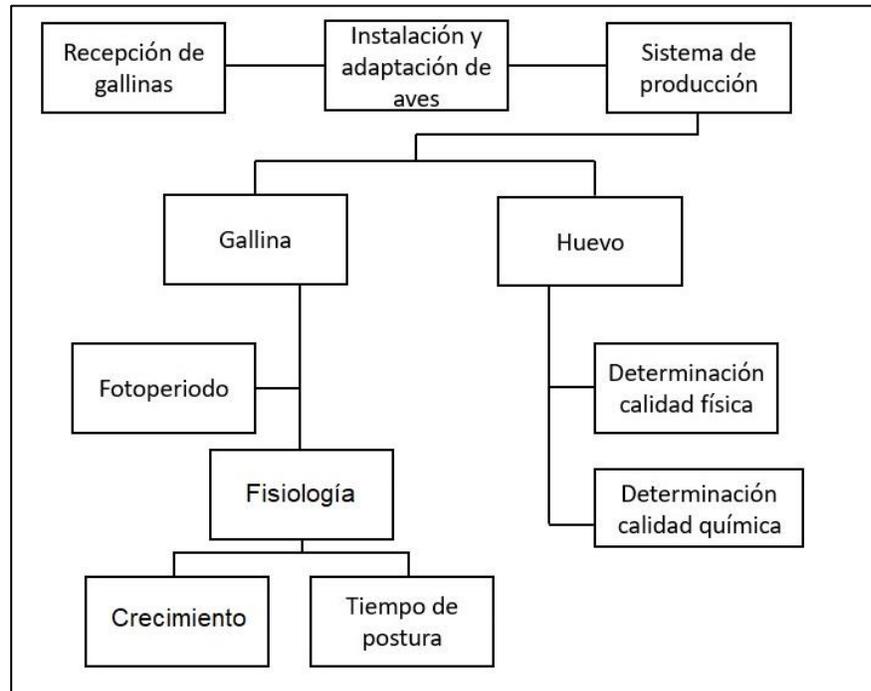


Figura 2. Diagrama de flujo de las actividades que se realizaron para conocer el efecto del fotoperiodo sobre el adelanto de postura y la calidad del huevo en gallina de libre pastoreo.

4.2 Diseño Experimental

Se evaluó el efecto del fotoperiodo sobre la fisiología de reproducción en gallinas de libre pastoreo, su la calidad de vida y por otro lado la calidad físico química del huevo. El fotoperiodo constó de tres tratamientos de luz a distintas horas, durante las diferentes etapas de desarrollo de las gallinas, también se contó con un gallinero control y se realizó una réplica por tratamiento. Por lo tanto, se utilizaron 496 aves raza Rhode Island de 2 semanas de edad, las cuales se acomodaron al azar en 8 gallineros colocando 62 aves por cada uno, estas unidades experimentales fueron equipadas con los requerimientos necesarios para cada etapa del ciclo de vida de

las aves, contaban con una cama de aserrín de 10 cm de espesor, un comedero tipo tolva, un bebedero tipo campana y dos perchas, así como acceso a un área independiente para libre pastoreo de 4.5 m de ancho por 6 m de largo.

4.3 Diseño de caseta avícola

El sistema de producción contó con una caseta avícola, de ambiente natural con dimensiones de 18 m de largo por 8 m de ancho, 2.50 m de alto, dando una superficie de 114 m², con techo de lámina galvanizada, sistema de cortinas lateral de sistema manual, murete (alero lateral) de 80 cm de altura con malla de gallinero puesta sobre el mismo para cubrir la caseta, piso de concreto y 8 áreas de pastoreo de 6 x 18 m cada una. El interior de la caseta contó con 8 espacios (gallineros) de 3 m de ancho por 4.5 m de largo, es decir, una superficie de 13.5 m² cada uno, lo que da una capacidad de albergar 62 aves por gallinero.

4.4 Fotoperiodo

La caseta contaba con focos de luz blanca de 10 lux colocados a 2 metros del piso para iluminar de manera más homogénea. Como se muestra en el Cuadro 3, se utilizaron tres tratamientos los cuales consistieron en variar las horas de luz y oscuridad sobre las aves y según la etapa de desarrollo de estas.

Cuadro 3. Tratamientos de fotoperiodo que se aplicaron a las aves de postura según su etapa de desarrollo.

Tratamiento	Fotoperiodo (5 -56 días)	Fotoperiodo (57-110 días)	Fotoperiodo (111-280 días)
F0	8L:16 O (8:00-16:00 h)	14L:10 O (6:00- 20:00 h)	Natural
F1	8L:16 O (8:00-16:00 h)	14L:10 O (6:00- 20:00 h)	12L:20:4L:6O (6:00-18:00 h; 20:00- 24:00 h)
F2	8L:16 O (8:00-16:00 h)	14L:10 O (6:00- 20:00 h)	14L:10O (6:00- 20:00 h)
Control (F3)	Natural	Natural	Natural

Los ciclos de luz-oscuridad fueron iguales las primeras 16 semanas en los tres tratamientos, de la semana 2 a la 8 se les sometió a 8 horas luz y 16 horas oscuridad, de la semana 9 a la 16 se cambió a 14 horas luz y 10 horas de oscuridad. El tratamiento F0 fue con luz natural es decir de las 7 am a las 7 pm aproximadamente. El F1 se utilizaron ciclos intermitentes, es decir, se les dio primero 12 horas de luz de las 6 am a las 6 pm, se encerraron en el gallinero durante 2 horas con las cortinas cerradas para dar sensación de oscuridad, se encendieron los focos para volver a dar 4 horas de luz y finalmente se les dio 6 horas más de oscuridad hasta el siguiente día. El tratamiento F2 siguió con 14 horas luz y 10 de oscuridad hasta finalizar el experimento. Y por último el control o F3 en el cual se les dejó luz solar durante todas las semanas.

El arreglo de los tratamientos fue al azar, realizando una réplica por tratamiento y control, quedando como se observa en la Figura 3.

F0	F0	F1	Control
F2	F1	F2	Control

Figura 3. Arreglo de tratamientos al azar para la aplicación del fotoperiodo.

4.5 Gallina Rhode Island

Para la experimentación se trabajó con gallinas de la raza Rhode Island, por lo que se recibieron 500 pollitas de postura de 2 semanas de edad y se repartieron dentro de la caseta destinada para la experimentación. Se les proporcionó un alimento balanceado comercial tipo orgánico adecuado según la etapa de desarrollo de las

aves, polla-inicio con 19% en proteína edad de 0-5 semanas, polla-crecimiento con 17% en proteína, edad de 6-10 semanas, polla-desarrollo con 15% en proteína, edad 11-17 semanas y gallina postura con 17% en proteína, edad 18 semanas en adelante. Además, se complementó la alimentación con un porcentaje de forraje, pasto nativo y/o alfalfa henificada, de corte o germinado y/o germinado de trigo. Como parte del sistema de producción a partir de la 3ra semana de edad se les liberó para que tuvieran acceso a un área delimitada de pastoreo, cuidando los tiempos de luz natural y artificial para la fotoestimulación.

4.6 Monitoreo del peso de las aves

Desde la semana 2 hasta la semana 32 se llevó a cabo un registro del peso de 20 aves por tratamiento semanalmente utilizando una báscula digital marca Digital salter.

4.7 Determinación del inicio de puesta

Como determinación cualitativa se realizó un registro con la edad de las aves cuando comenzaron con la puesta de huevos. Como determinación cuantitativa se obtuvo la tasa de puesta para la cual se realizó, como muestra la ecuación, la suma del número total de huevos puestos en cada uno de los corrales y se dividió entre el número de aves por corral, el cociente es expresado en porcentaje.

$$\% \text{ puesta} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de huevos a la semana}}{\text{N}^\circ \text{ de aves en el corral}} * 100$$

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

4.8 Determinación de hormona luteinizante en la gallina.

Para cuantificar la producción de LH se tomaron muestras de sangre de 1 ml de la vena branquial de una muestra aleatoria de 5 aves, entre 4-5 horas antes de que la luz desapareciera un día antes del cambio de ciclo de iluminación, esto para los tratamientos de fotoperiodo. Para los grupos control se tomó la muestra en el día 70 y a intervalos de 14 días antes de la puesta del primer huevo. A partir de la muestra,

el plasma fue separado por centrifugación a 3000 g durante 15 minutos, aspirado y almacenado a -20°C para después medir la concentración de LH mediante la técnica ELISA.

4.9 Determinación de la calidad física del huevo

Para evaluar la calidad física del huevo se tomó una muestra de 30 huevos por tratamiento a la semana.

- Peso, y altura de clara y yema

Inicialmente se pesó cada huevo integro individualmente utilizando una balanza analítica marca PRECISA modelo LS 220, posteriormente se pesó por separado cascarón, yema y clara. 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.

- 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.

- Grosor del cascarón

Para las medidas de grosor de cascarón se tomaron 3 mediciones de diferentes lugares del cascarón utilizando un tornillo micrométrico marca MITUTOYO modelo 25-50 MM.

- Color de yema y cascarón

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

- Unidades Haugh

Se obtuvieron también las unidades Haugh para conocer la edad del huevo, utilizando un trípode vernier y aplicando la siguiente formula:

$$U. H. = 100 \log_{10} \left[A - \frac{\sqrt{G(30P^{37} - 100)}}{100} + 1.9 \right]$$

Donde:

U.H.= son las unidades Haugh

A= es la altura de albúmina en milímetros

G= es 32.2

P= es el peso del huevo en gramos

4.10 Determinación de la calidad química del huevo

- Grasas y calorías

El análisis de grasas se realizó utilizando una extracción soxhlet asistida con microondas utilizando como disolvente hexanos y acetona, para después obtener el contenido de grasas por gravimetría.

Las calorías se midieron según el método isoperibólico, se secó la muestra en un horno Beschickung/loading 100-800 Memmert a 30°C de temperatura y posteriormente se molieron, de esta muestra obtenida se elaboró una pastilla que posteriormente fue incinerada en un calorímetro marca PARR modelo 6200.

- Proteína total y carbohidratos totales

La cantidad de proteína en clara y yema fue medida por método de digestión y espectrofotometría, para lo cual se secaron y molieron las muestras, fueron digeridas por el método TKN (Total Kjeldahl Nitrogen) utilizando un Digesdahl, después se analizaron por el método espectrofotométrico Nessler (Método HACH 8075, 2010) en un espectrofotómetro portátil DR 6000, HACH Company.

Para los carbohidratos totales en clara y yema se realizó primero una curva de calibración con glucosa como estándar, por otro lado las muestras se secaron y se molieron, se tomó el peso de cada una y se colocaron en tubos de ensaye con rosca, se añadió HCl para la hidrolisis y se colocaron a baño maría por tres horas, se centrifugaron y se obtuvo el sobrenadante el cual fue colocado en un baño frío donde se le agregó una solución de antrona, se llevó a ebullición por ocho minutos y se determinó la concentración a 630 nm en un espectrofotómetro marca HACH modelo DR6000.

5. RESULTADOS

5.1 Localización e instalación de la caseta avícola

El sistema de producción se realizó en la empresa “Biotecnología Agrícola y Pecuaria”, 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, lugar que tiene un clima semiseco templado con temperaturas medias anuales entre 14-17.4°C, los meses de febrero, marzo y octubre registran temperaturas de 0°C o menores mientras que mayo y junio alcanzan los 30°C y superiores, las precipitaciones alcanzan un promedio de 231 mm en agosto siendo este el mes más húmedo del año.

Se instaló una caseta avícola con una ventana cenital y cortinas laterales de lona enrollable; la caseta se dividió con geomembrana en 8 gallineros para 62 aves cada uno, Figura 4. Cada gallinero se adaptó según las necesidades de las gallinas en cada etapa de su vida, en la Figura 5 se muestra el interior de los corrales, los cuales contaron con camas de aserrín, bebederos tipo campana, comederos colgantes, perchas y nidos. Para la aplicación de los ciclos de luz y oscuridad, se utilizaron focos de luz blanca de 10 lux, los cuales lograron iluminar por completo cada gallinero permitiendo así la correcta aplicación del fotoperiodo.



Figura 4. Instalación de la geomembrana dentro de la caseta avícola para la división de los gallineros.



Figura 5. Vista interior de los gallineros con los requerimientos necesarios para la correcta aplicación de los tratamientos.

A pesar de las condiciones ambientales de la ubicación, las características de la caseta avícola lograron mantener una temperatura optima dentro de los gallineros que permitía el buen desarrollo y crecimiento de las pollitas. Se logró evitar la entrada de otras especies silvestres que pudieran interferir en el bienestar de las aves. A su vez la geomembrana negra permitió que los gallineros estuvieran oscuros y poder aplicar correctamente los periodos de iluminación diferentes en cada uno.

5.2 Comportamiento del peso de las gallinas.

Se recibieron 500 pollitas raza Rhode Island de 2 semanas de edad, Figura 6, con el fin de comenzar con la aplicación de los tratamientos desde una corta edad y poder evaluar un adelanto en el tiempo de postura.



Figura 6. Pollitas raza Rhode Island de 2 semanas de edad.

Para evaluar la salud física de las aves, se llevó a cabo un monitoreo semanal del peso de las mismas durante el transcurso del experimento, se registraron datos de los cuatro tratamientos los cuales fueron comparados con una curva estándar de peso para gallinas de doble propósito, con lo cual se obtuvo la gráfica que se muestra en la Figura 7, donde F0 en azul, F1 en rojo, F2 en amarillo, F3 en verde son los tratamientos de fotoperiodo y std en negro como la curva estándar de pesos ideales.

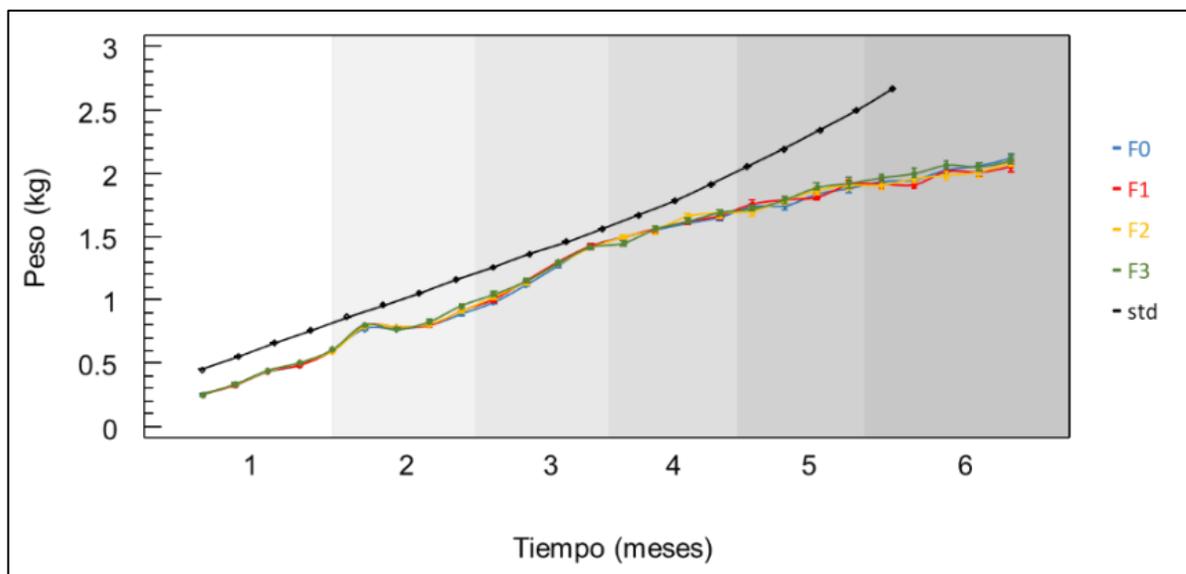


Figura 7. Comparación del comportamiento del peso de las aves de los distintos tratamientos aplicados contra la curva estándar de pesos ideales.

El comportamiento del peso de las aves no muestra diferencias entre los tratamientos aplicados durante la experimentación. Sin embargo, al compararse con la curva estándar se observa que durante el crecimiento no lograron alcanzar el peso ideal.

5.3 Inicio de puesta y pico de producción

Se definió el inicio de puesta a partir del primer huevo producido por corral, obteniendo así que el tratamiento F0 y F1 comenzaron el desove en la semana 16 en comparación con el F2 y el F3, los cuales empezaron hasta la semana 18.

Se llevó a cabo un monitoreo de la cantidad total de huevos producidos por cada uno de los tratamientos, desde el inicio de puesta en la semana 16 hasta el término del experimento, con la finalidad de determinar el pico de producción de cada tratamiento.

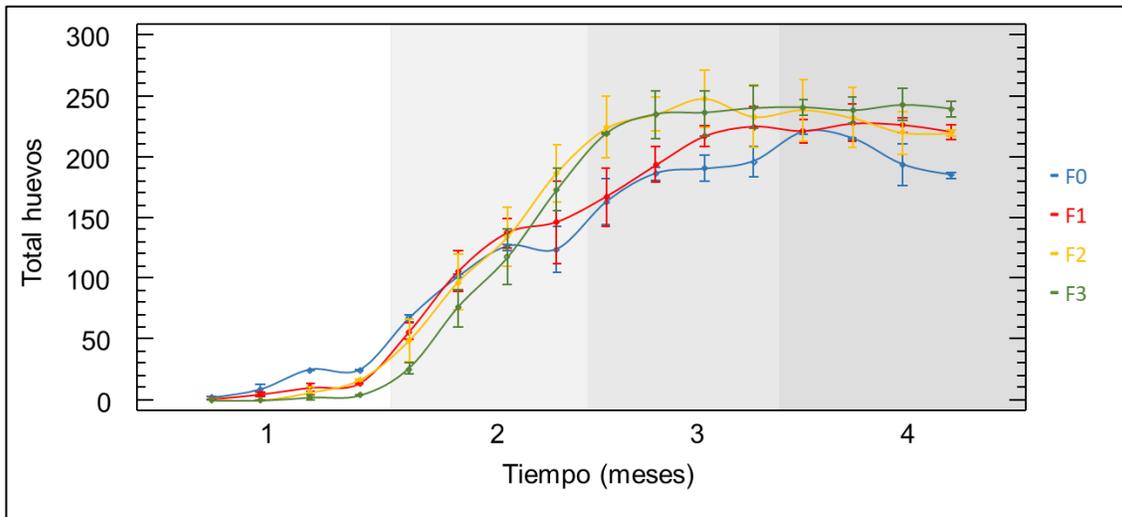


Figura 8. Comparación de la producción de huevo por tratamiento durante 16 semanas de experimentación.

Por otro lado, la Figura 9 muestra la tasa de puesta, es decir, la producción total de huevos en porcentaje de cada tratamiento desde el inicio de puesta hasta el término del experimento.

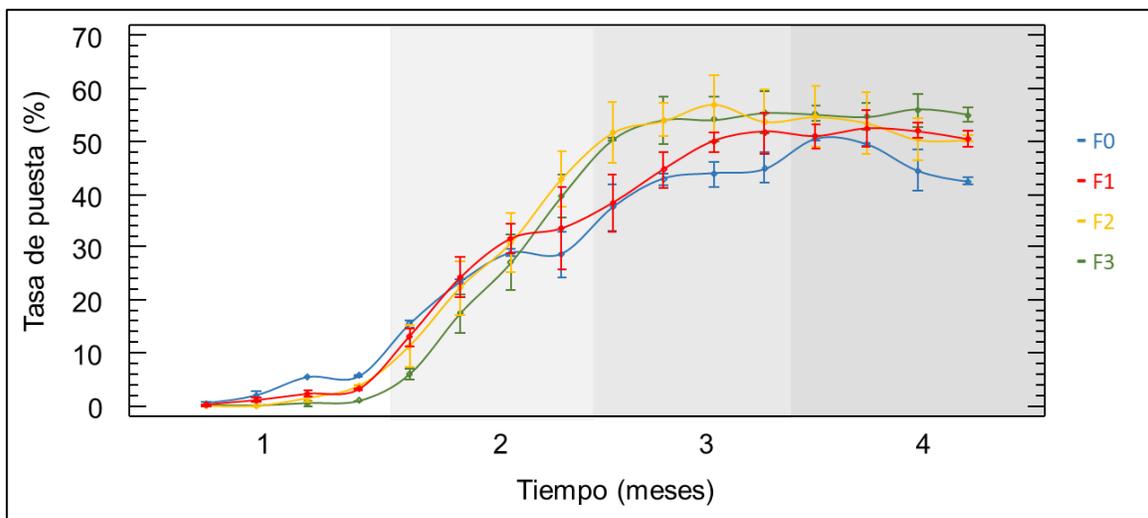


Figura 9. Comparación del comportamiento del porcentaje de puesta de los diferentes tratamientos durante el periodo de producción.

A pesar de que se tuvieron distintos tiempos en el inicio de puesta, los cuatro tratamientos aplicados alcanzaron el pico de producción en la semana 23; además

se observa que la tasa de puesta de los tratamientos F0 y F1 resultó menor que en F2 y F3.

5.4 Hormona luteinizante

Como parte del monitoreo de la fisiología de la gallina, se determinaron las concentraciones de hormona luteinizante en diferentes semanas del experimento, los resultados más obtenidos muestran en la semana 41 para el tratamiento F0 un 0.266 ng/ml, en F1 un valor de 0.381 ng/ml, en F2 de 0.672 ng/ml y en F3 de 0.277 ng/ml. Siendo el tratamiento F2 el que obtuvo concentraciones más altas.

5.5 Determinación de la calidad física del huevo

5.5.1 Peso del huevo entero

Una de las principales categorías de clasificación de acuerdo a la norma NMX-FF-127-SCFI-2016 depende del tamaño, es decir, el peso del huevo obtenido; por lo que en la Figura 10 se muestra el comportamiento de los pesos durante las semanas de pico de producción.

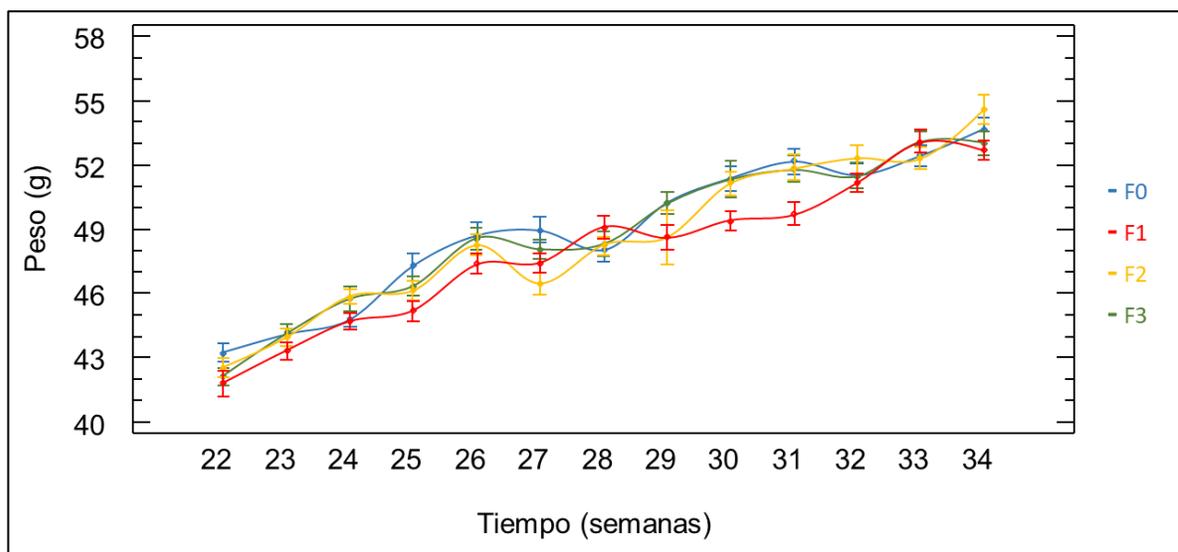


Figura 10. Comparación del peso de los huevos a partir de la semana 22 de los distintos tratamientos.

De acuerdo a la gráfica obtenida se observan diferencias significativas entre el tratamiento F1 y el resto de los tratamientos. A pesar de ello los huevos obtenidos de los cuatro tratamientos se clasifican como tamaño chico.

5.5.2 Peso de la yema y clara.

La Figura 11 muestra el monitoreo del peso de la yema de la semana 22 a la semana 34 de cada uno de los tratamientos aplicados, de manera general este componente debe ser un aproximado del 37% del peso total del huevo.

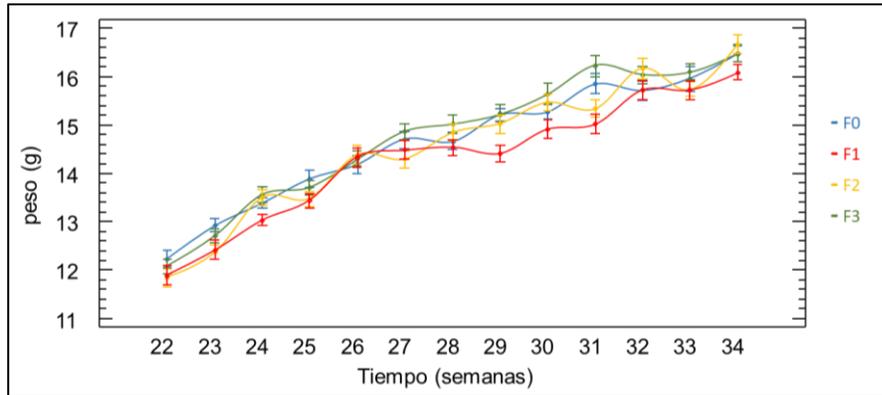


Figura 11. Comparación del peso de la yema a partir de la semana 22 de los distintos tratamientos.

En la gráfica de la Figura 11 se observan diferencias entre el tratamiento F1 y los demás tratamientos, principalmente a partir de la semana 29 donde se nota una disminución del peso de la yema. A pesar de ello al relacionar el resultado con los pesos del huevo integro representa un aproximado del 30%.

La comparación y monitoreo del peso de la clara durante las semanas de pico de producción se muestra en la Figura 12 este componente del huevo debe representar un 57% aproximadamente del peso total.

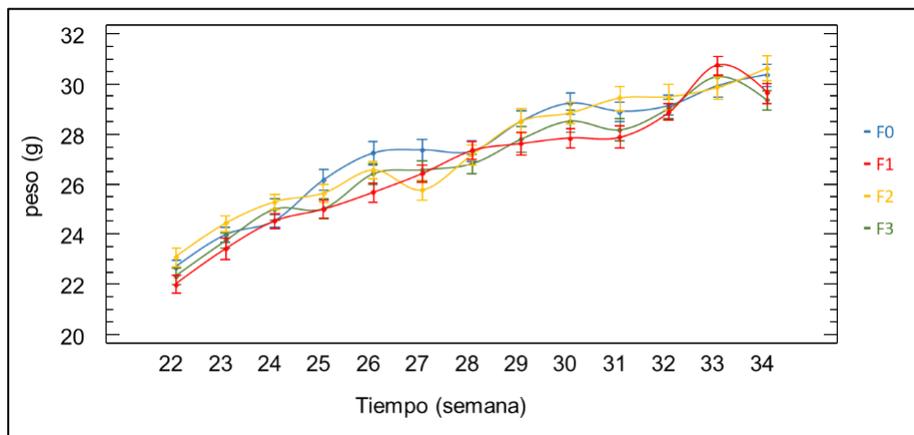


Figura 12. Comparación del peso de la clara a partir de la semana 22 de los distintos tratamientos.

Los resultados mostrados a continuación respecto al monitoreo del peso de la clara, indican que esta representa cerca del 54% del peso total del huevo integro, en promedio para todos los tratamientos, porcentaje que se encuentra dentro de los rangos aceptados.

5.5.3 Altura de la yema

Para determinar la frescura del huevo, se tomaron medidas de la altura de la yema como muestra la Figura 13, en la cual se observa el comportamiento de la altura de la yema de la semana 22 a la 34, comparando entre los diferentes tratamientos aplicados.

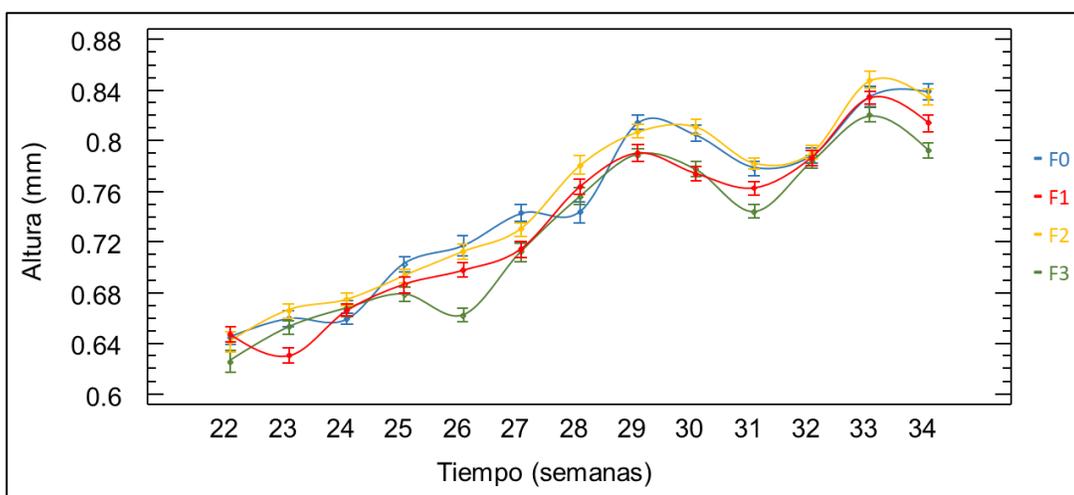


Figura 13. Comparación de la altura de yema a partir de la semana 22 de los distintos tratamientos.

La finalidad de obtener la altura de la yema es determinar la edad del huevo, es decir, mientras sea mayor el huevo es más fresco si se encuentra más aplanada o desplazada el huevo es más viejo. Los resultados obtenidos muestran diferencias en las mediciones en los tratamientos F1 y F3 contra F0 y F2; y de manera general una visible disminución de la altura en la semana 31 y 32 en todos los tratamientos.

5.5.4 Altura de la clara y unidades Haugh

Los resultados obtenidos de la comparación entre las medidas de la altura de la clara no muestran diferencias significativas entre los distintos tratamientos durante el pico de producción, valores que se encuentran en un aproximado de 3 mm, por lo que con los datos obtenidos se calcularon las unidades Haugh las cuales para los valores

de albumina calculados y según la NMX-FF-127-SCFI-2016 representan unidades Haugh de 45-55 en una escala del 10-110, con esto el huevo producido entra en la categoría II de clasificación de huevo fresco de dicha norma.

5.5.5 Peso y grosor del cascarón

En la Figura 14 se muestra el comportamiento del peso del cascarón de las semanas del pico de producción, para comparar entre los distintos tratamientos. Datos recabados con la finalidad de relacionar peso y grosor del cascarón con el tamaño del huevo producido.

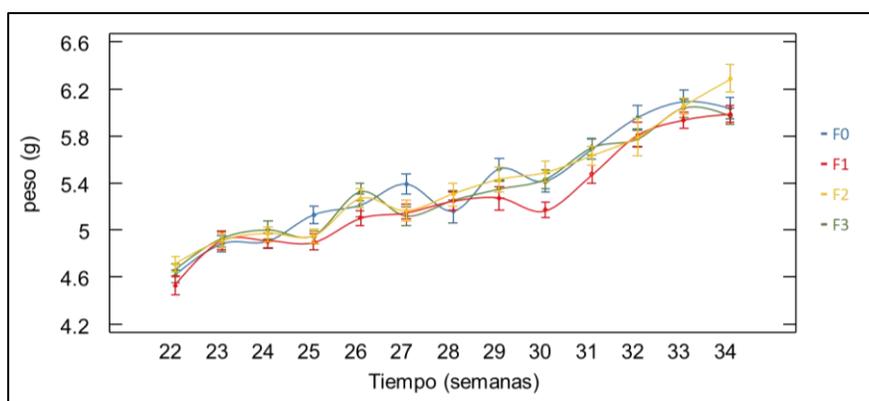


Figura 14. Comparación del peso del cascaron a partir de la semana 22 de los distintos tratamientos.

El grosor del cascarón es el indicador de resistencia del huevo, la comparación de los resultados obtenidos durante el pico de producción y su comportamiento en los distintos tratamientos se muestra en la Figura 15.

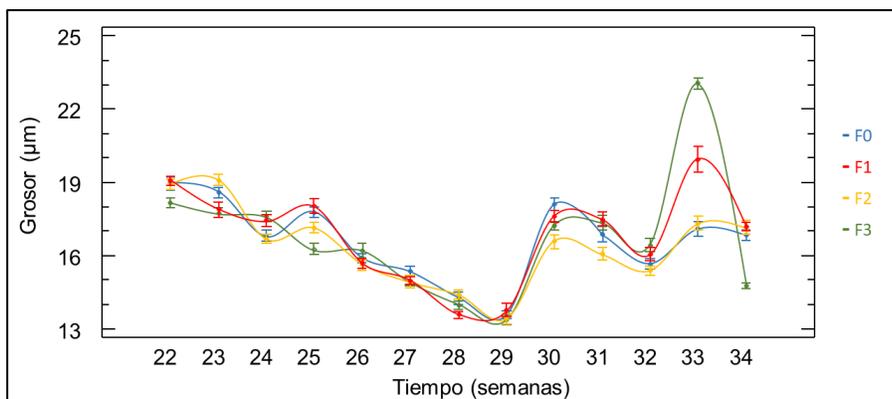


Figura 15. Comparación del grosor del cascaron a partir de la semana 22 de los distintos tratamientos.

El grosor del cascarón se esperaba observar una disminución de esta medida, sin embargo, los resultados muestran un incremento a partir de la semana 30; además en el tratamiento F3 se observa un gran aumento del grosor en la semana 33 comparado con el resto de los tratamientos.

Diámetro ecuatorial y diámetro polar.

En la Figura 16 se muestran las medidas del diámetro ecuatorial de todos los tratamientos durante el pico de producción, para clasificar al cascarón como normal. En los resultados se observan diferencias en la semana 31 del tratamiento F1 contra el resto de los tratamientos.

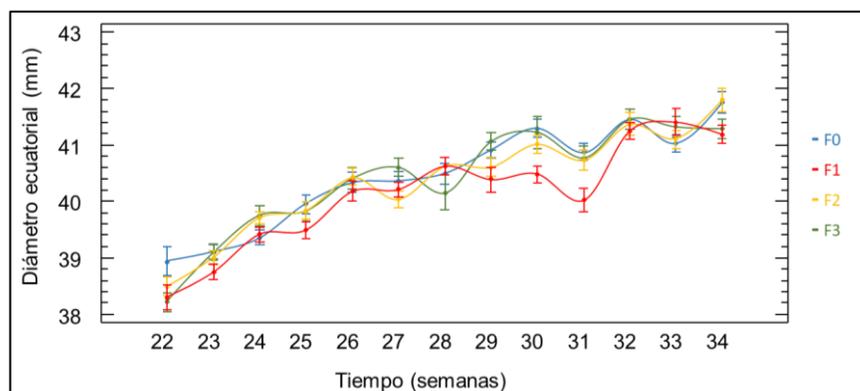


Figura 16. Comparación del diámetro ecuatorial del huevo a partir de la semana 22 de los distintos tratamientos.

Para definir el cascaron como normal, se comparó también las medidas de diámetro polar en los distintos tratamientos, Figura 17.

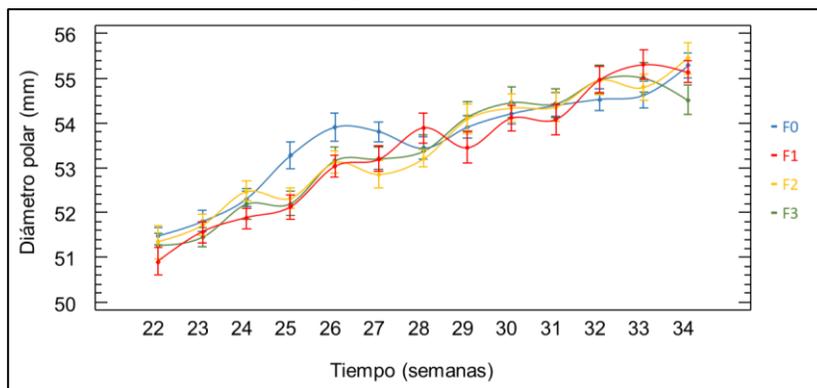


Figura 17. Comparación del diámetro polar a partir de la semana 22 de los distintos tratamientos.

De manera general se observan diferencias de la semana 25 a la 27, comparando el tratamiento F0 contra el resto.

Según la NMX-FF-127-SCFI-2016, para clasificar un cascarón como normal debe existir una relación entre el diámetro ecuatorial y el diámetro polar, donde el segundo debe ser un 25% mayor al primero, máximo. Al relacionar los resultados obtenidos de ambas gráficas se obtiene que en promedio el diámetro polar es aproximadamente 30% mayor que el ecuatorial

5.5.6 Cámara de aire.

En la Figura 18 se observa el comportamiento de las medidas de la cámara de aire durante el pico de producción. Cuando el huevo es recién puesto este espacio es relativamente pequeño, el aumento de la medida crece conforme el huevo se va deshidratando y haciendo más viejo.

La gráfica obtenida mostró variaciones durante todas las semanas, pero las diferencias más resaltantes se muestran en la semana 30 y 32 en el tratamiento F3 al compararlo con el resto de los tratamientos. Una cámara de aire aceptable no debería exceder los 5 mm, sin embargo, los resultados muestran medidas mayores a los 14 mm.

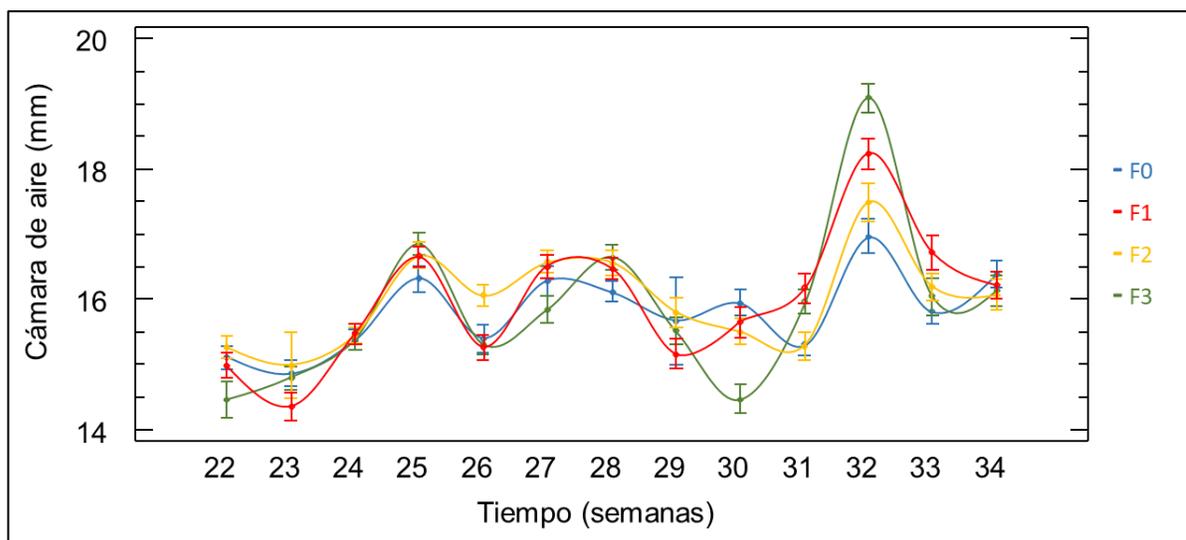


Figura 18. Comparación de las medidas de la cámara de aire a partir de la semana 22 de los distintos tratamientos.

5.5.7 Color de yema

En la Figura 19, se define la variable de color L^* de la yema durante el pico de producción para los distintos tratamientos, con el fin de determinar la luminosidad o claridad de la misma.

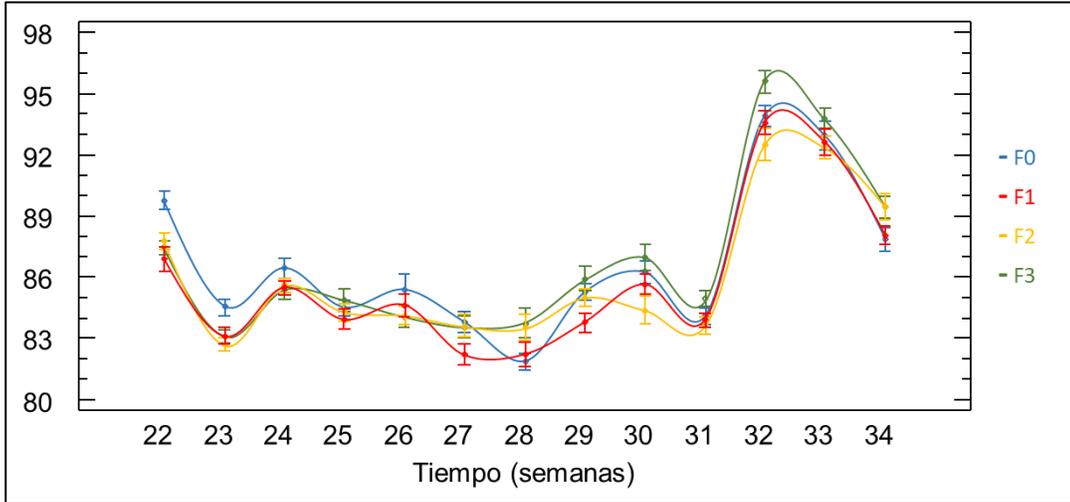


Figura 19. Comparación de la variable L para determinar el color de yema, a partir de la semana 22.

En la Figura 20 se comparan los valores de la variable a^* en yema para los distintos tratamientos, esta medida especifica el rango entre el rojo y el verde.

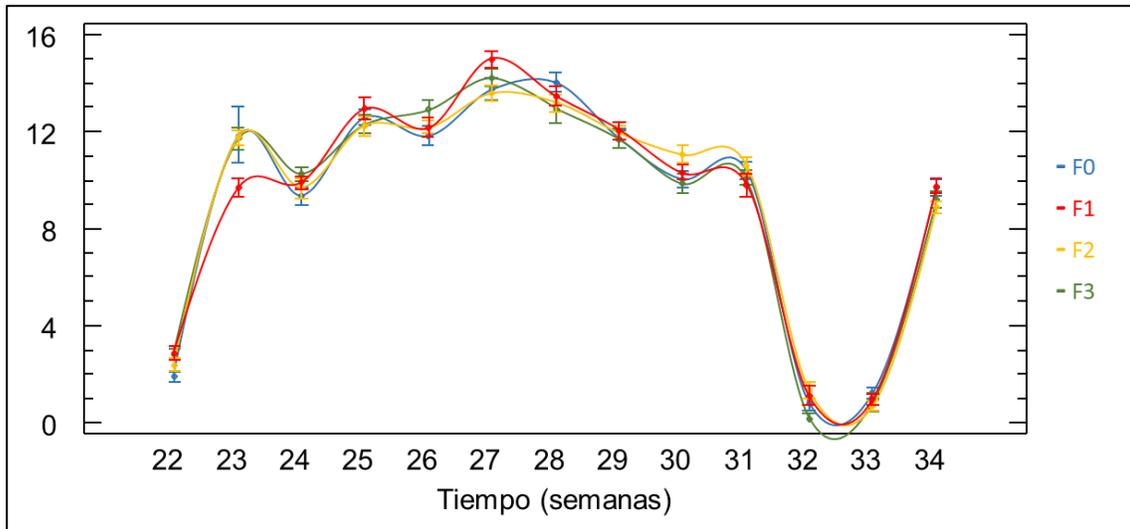


Figura 20. Comparación de la variable a para determinar el color de yema, a partir de la semana 22.

En la Figura 21 está definida la variable b^* en yema durante el pico de producción de todos los tratamientos, este valor indica la relación entre el amarillo y el azul.

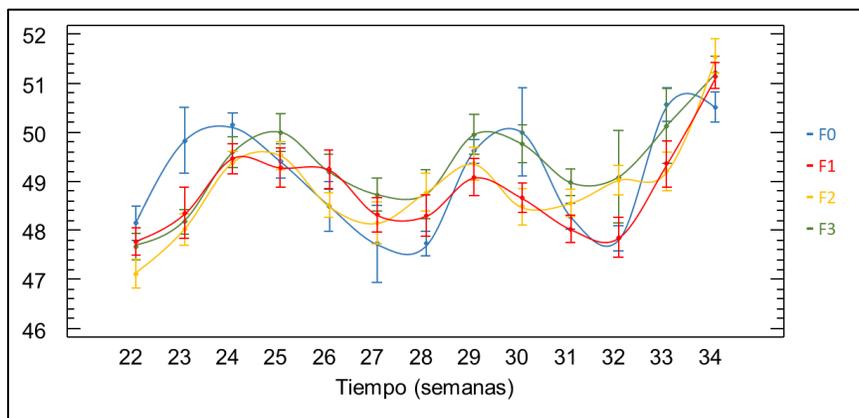


Figura 21. Comportamiento de la variable b para determinar el color de yema, a partir de la semana 22.

Para los consumidores el color de la yema es un factor importante para la elección de los mismos, siendo que tienen mayor preferencia las que presentan una tonalidad amarilla contrario a las de color anaranjado o rojizo. En este caso no se observan diferencias significativas en las tres variables entre los distintos tratamientos.

5.5.8 Color del cascarón

En la Figura 22 se muestra la comparación de las medidas de luminosidad, variable de color L^* , del cascarón de los huevos producidos durante las semanas de pico de producción.

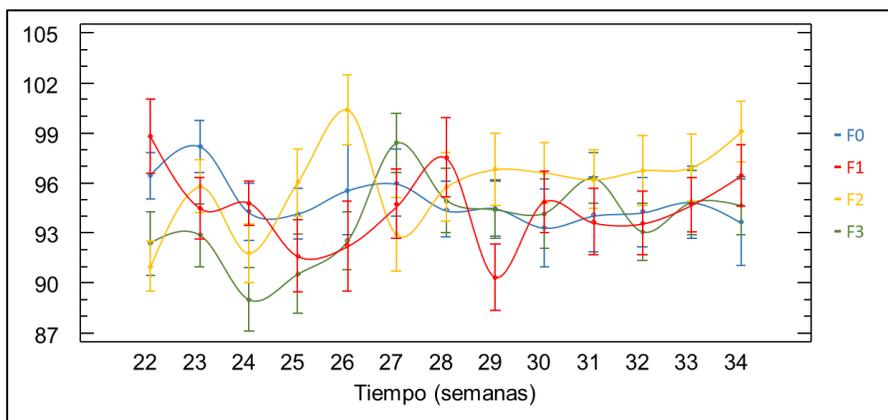


Figura 22. Comparación de la variable L para determinar el color del cascarón, a partir de la semana 22.

En la Figura 23 se muestra la comparación de la variable de color a^* del cascarón, de la semana 22 a la semana 34, valores utilizados para definir la relación rojo/verde.

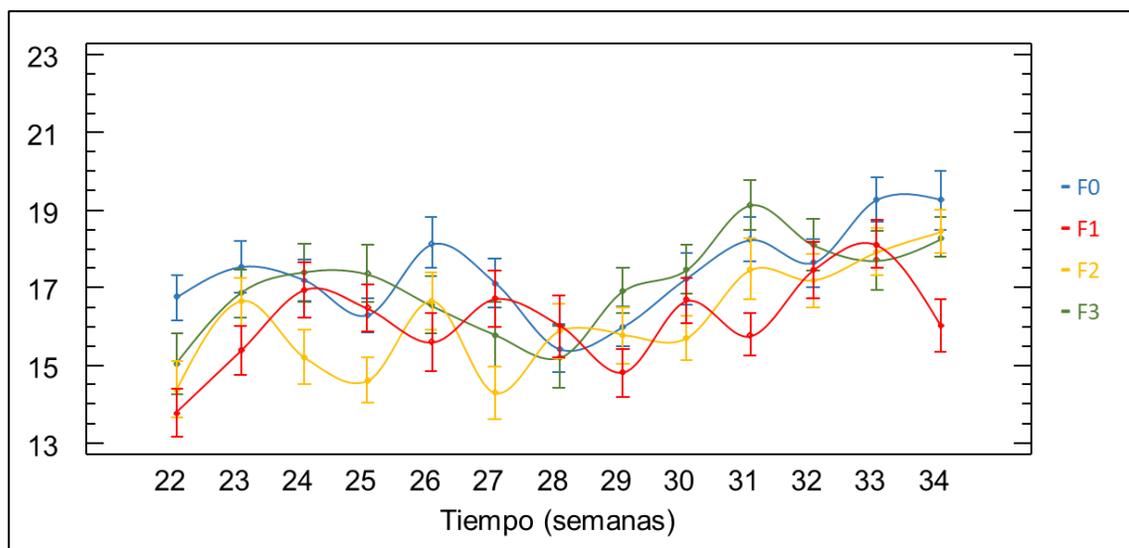


Figura 23. Comparación de la variable a para determinar el color del cascarón, a partir de la semana 22.

Y por último, en la Figura 24 se compara la variable de color b^* , para determinar el color del cascarón durante las semanas del pico de producción, la cual determina la relación entre amarillo/rojo.

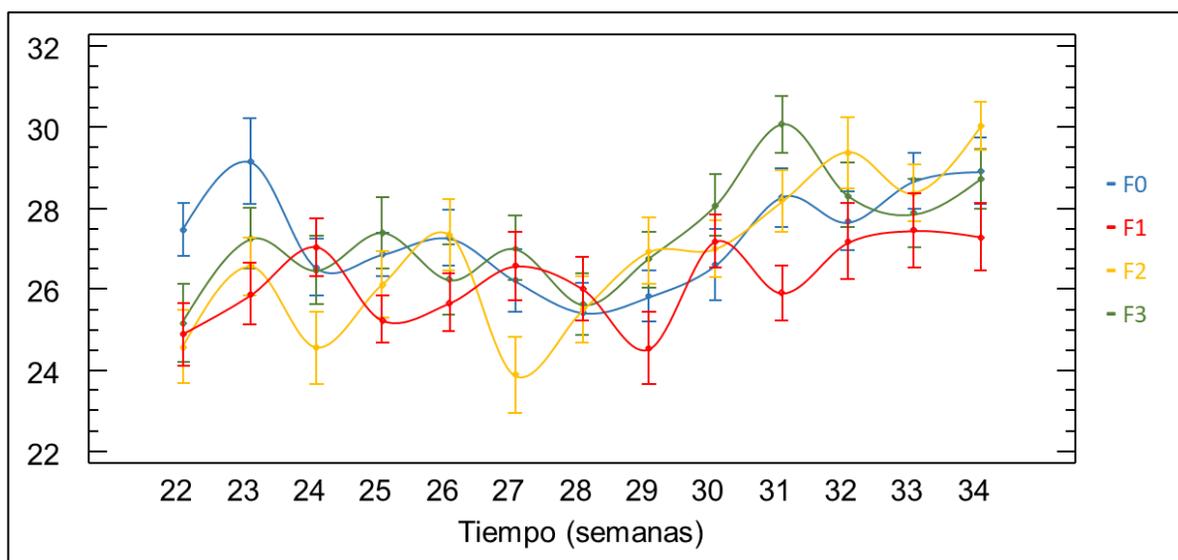


Figura 24. Comparación de la variable b para determinar el color del cascarón, a partir de la semana 22.

Estas graficas muestran gran cantidad de variaciones a lo largo del tiempo sin embargo las diferencias de color de cascarón entre los tratamientos no son significativas.

5.6 Determinación de la calidad química del huevo

El huevo es un alimento muy completo nutricionalmente, por lo que se determinaron los valores para grasas, calorías, proteína y carbohidratos, características más sobresalientes de este producto, con el fin de observar las posibles modificaciones por el efecto de los ciclos de iluminación. Estas determinaciones fueron evaluadas en cada componente del huevo por separado, es decir, la clara y la yema. Para realizar una comparación mas

En el Cuadro 4 se observa la comparación del aporte nutricional de la clara de huevo entre los distintos tratamientos, comparando la semana 22 en la cual se alcanza el pico de producción y la semana 34 en la que concluye este experimento.

Cuadro 4. Comparación de los resultados obtenidos de % grasa, % proteína, % carbohidratos y calorías en clara de los distintos tratamientos entre la semana 22 y semana 34.

Determinación en clara	Semana	Tratamiento			
		F0	F1	F2	F3
% Grasas	22	0.59	0.37	0.34	0.27
	34	0.23	0.28	0.267	0.25
% Proteína	22	86.17	85.64	87.07	86.22
	34	89.09	91.36	88.67	91.15
%Carbohidratos	22	2.45	2.297	2.41	2.23
	34	2.16	2.33	2.26	2.215
Kcal/g	22	4.846	4.812	4.828	4.833
	34	4.744	4.895	4.852	4.903

Los resultados alcanzados muestran diferencias entre los tratamientos, las determinaciones de grasa se observa un mayor porcentaje en la semana 22 del

tratamiento F0 que, en el resto, sin embargo, en la semana 34 este tratamiento tiene el menor porcentaje. Los valores de proteína son más similares tanto en la semana 22 como en la 34. Los datos obtenidos de carbohidratos muestran el mismo comportamiento que el porcentaje de grasas, siendo el tratamiento F0 el que tiene mayor contenido en la semana 22 pero uno más bajo en la semana 34. En cuanto a los valores de calorías los tratamientos F1, F2 y F3 muestran valores menores que el F0 en la semana 22 pero tienen un incremento para la semana 34 mientras que el F0 disminuye su aporte de calorías.

En el Cuadro 5 se muestran los resultados del aporte nutricional en yema para los distintos tratamientos al inicio del pico de producción y en la última semana de experimentación.

Cuadro 5 Comparación de los resultados obtenidos de % grasa, % proteína, % carbohidratos y calorías en yema entre los distintos tratamientos en la semana 22 y semana 34.

Determinación en yema	Semana	Tratamiento			
		F0	F1	F2	F3
% Grasas	22	40.69	40.06	39.63	40.52
	34	42.11	--	42.33	--
% Proteína	22	26.01	31.02	24.49	29.31
	34	30.22	--	28.82	--
%Carbohidratos	22	0.23	1.23	0.22	0.19
	34	0.24	--	0.26	--
Kcal/g	22	7.593	7.548	7.595	7.125
	34	7.783	--	7.780	--

Para los resultados obtenidos en yema no se muestran diferencias significativas en porcentaje de grasas en ninguna de las semanas comparadas. En los datos obtenidos de proteína se encuentra mayores diferencias, el tratamiento F2 tiene el menor porcentaje con un 24.49 y el mayor el F1 con 31.02 en la semana 22. Los valores de carbohidratos en la semana 22 son muy variados obteniendo un 0.19 en F3 y 1.23 el mayor valor en F1. Mientras que, para los valores de calorías, no se

tienen diferencias entre el tratamiento F0, F1, y F2, pero si se observa un valor bajo en el tratamiento F3. Los datos de la semana 34 no pueden compararse entre los tratamientos ya que se tuvieron problemas con el manejo de las muestras y no fue posible obtener todos los resultados, sin embargo, no se muestran diferencias en los datos obtenidos entre el tratamiento F0 y F2.

6. DISCUSIÓN

Este trabajo tuvo como objetivo determinar el fotoperiodo óptimo que genere un adelanto de postura además de que no interfiera en la salud y bienestar de las gallinas ni en la calidad fisicoquímica del huevo producido.

Para obtener una buena producción de huevos y calidad de los mismos es necesario que las gallinas ponedoras tengan un buen peso corporal. Según Lorenzo y colaboradores (2011) el uso de tratamiento de fotoperiodo afecta las características físicas de la gallina para producción de carne aumentando su peso en un 11-13%. De igual manera, Rueda (2015) evalúa el comportamiento productivo de aves de postura utilizando diferentes ciclos de iluminación, con los cuales utilizando 14 h luz al día alcanza pesos de 1.64 kg promedio en la semana 22. De acuerdo a ellos esperaríamos observar en nuestros resultados diferencias significativas, mas no las obtuvimos entre tratamientos, pero si observamos pesos menores comparados con la curva estándar para gallinas de doble propósito, Figura 7, esto puede ser influenciado por la calidad de vida que se les dio a las aves, las cuales tenían acceso al aire libre lo cual generaba mayor actividad física y parte de su alimentación era pastura o gusanos que encontraban en su libre pastoreo.

La maduración sexual de las gallinas es influenciada directamente por la cantidad de luz que reciben las aves durante el día, por lo que, la estimulación con fotoperiodos afecta la actividad de puesta (Bédécarrats y Hanlon, 2017). El tiempo de postura inicia entre las semanas 20 y 22 o bien, cuando los días son más largos, es decir, las horas luz son mayores. En este caso para los fotoperiodos utilizados se mostró un adelanto en el comienzo de la ovoposición, obteniendo que el tratamiento F0 y F1 iniciaron desde la semana 16, en cambio el F2 y el F3 hasta la semana 18. Los resultados mostrados en la Figura 8, también mostraron un pico de producción mayor en F2 y F3 desde la semana 23 contra un menor en F0 y F1 desde la misma semana, lo cual podría estar relacionado a que al dar inicio a una edad más temprana los ovarios no alcanzan la madurez sexual necesaria para mantener la producción de huevo durante su vida.

Para comprobar el efecto de luz sobre la tasa de puesta y las respuestas endocrinas de las aves, Geng y colaboradores (2014), evaluaron 6 ciclos de iluminación distintos en los que obtuvieron diferencias significativas en la tasa de puesta, obteniendo un 59% de postura en el periodo de semanas 20-26 utilizando un tratamiento de 12 horas luz, 2 oscuridad, 4 luz y 6 oscuridad. Los mismos autores en el 2018, comparan distintos fotoperiodos aplicados de manera intermitente y continua para evaluar la producción de huevo y la calidad física del mismo, sin embargo, ellos concluyen que la primera no es afectada por el uso de luz, obteniendo en promedio una tasa de puesta de 55-58% de las semanas 22 a la 43, valores que son muy aproximados a los obtenidos por los tratamientos aplicados en este experimento, Figura 9.

Para llevar a cabo la madurez sexual, las aves requieren de un estímulo luminoso que incremente la concentración de hormonas tales como LH (hormona luteinizante), FSH (hormona folículo estimulante), principalmente, las cuales están involucradas directamente con la ovoposición (Bédécarrats y Hanlon, 2017). Los valores obtenidos en esta experimentación muestran diferencias significativas entre los tratamientos, lo cual se ve reflejado directamente en la tasa de puesta de las aves, observando una mayor producción en las últimas semanas en el tratamiento F2, en el cual fue encontrado la mayor concentración de hormona LH. Geng y col. (2014) obtienen un aumento de hormona LH de hasta 6.74 ng/ml en gallinas comerciales BYC, al igual que Zhang y col. (2014), quienes evalúan el efecto de fuentes de luz sobre el ritmo reproductivo en gorriones, encontrando que utilizando luz artificial de 6 lux se genera una secreción precoz de LH. Los datos que se obtuvieron se encuentran claramente por debajo de los obtenidos por Geng y col., esto se puede atribuir a un mal manejo de la técnica, sin embargo, el patrón de secreción hormonal observado si permite comparar los ciclos de iluminación y determinar que estos influyen directamente en el adelanto de postura mediante la secreción de LH y afectan la cantidad de huevo producido con el incremento de la misma hormona.

El peso del huevo entero integro aumenta conforme a la madurez de la gallina, es decir, mientras avanza el tiempo y el ave madura el tamaño de los huevos aumenta, de igual forma es afectado por el peso corporal del ave, el manejo nutricional y de

sanidad del lote. Según la NMX-FF-127-SCFI-2016 el peso del huevo es un valor necesario para la clasificación por tamaños, la cual es necesaria para la venta al público. Los resultados obtenidos, Figura 10, mostraron menores pesos en el tratamiento F1 que el resto, atribuido principalmente a la madurez sexual de las aves las cuales en las semanas donde se refleja la disminución tenían menor cantidad de horas luz comparadas con los demás. Rodríguez (2016) en una producción ecológica obtuvo pesos promedio de 62 g y, por otro lado, Hernández y colaboradores (2013) en un sistema intensivo obtienen valores promedio de 55 g, resultados que se encuentran muy aproximados con los obtenidos, por lo que se puede decir que el fotoperiodo no afecta el tamaño de los huevos producidos en este experimento.

En relación al peso de la yema y de la clara, Figura 11 y Figura 12, respectivamente, los resultados obtenidos incrementan de manera gradual en cuanto al peso del huevo, observando de igual forma una diferencia entre el tratamiento F1 y el resto. Zhang y colaboradores (2005) utilizando un fotoperiodo de 17 h luz muestran pesos de 14.7 y 32.2 g en yema y clara respectivamente, valores que concuerdan con los obtenidos en este trabajo.

La altura de la yema obtenida en los distintos tratamientos es otra característica física importante de los huevos, aunque no es definida como primordial, es una determinación útil para conocer la edad de estos, las principales diferencias obtenidas fueron de la semana 29 a la 31 donde se nota una altura menor en los tratamientos F1 y F3, Figura 13, esto podría deberse a que de manera general los huevos obtenidos en F1 han resultado ser de menor tamaño que el resto, por lo que también la yema es más pequeña y por consiguiente la altura.

Por otro lado, la altura de la clara es indispensable para la clasificación por categorías según la Norma Mexicana, al igual que el cálculo de unidades Haugh son medidas necesarias para determinar la frescura del huevo. Los resultados obtenidos fueron bajos dentro del rango para categoría I que dicta la norma, esto se puede explicar por una variable que no se tomó en cuenta, los días de almacenamiento, la altura de la clara se vuelve más fluida conforme avanza el tiempo lo que da una disminución

de la altura. Hernández y colaboradores (2013) encontraron disminuciones en la altura conforme transcurren los días de almacenamiento, con lo que se podrían justificar nuestros resultados. Para el efecto del fotoperiodo, Zhang y colaboradores (2005) utilizando un ciclo de 17 horas luz encontraron unidades Haugh de 86, valores que se encuentran por encima de los obtenidos.

Un factor determinante de la calidad física del huevo es el cascarón, el cual se define principalmente por su peso y grosor, ambas dependen del metabolismo de las gallinas y a su vez de una alimentación adecuada. También influyen el estado sanitario y el ambiente en el que viven las aves, por lo tanto, un huevo con mayor grosor en el cascaron puede indicar que la gallina vive saludablemente. El punto a resaltar en estos resultados es un incremento del grosor en la semana 33 en el tratamiento F3, el cual no tenía ningún ciclo de luz, Figura 15. Al igual que Geng y col. en 2018 y Zhang y col. en 2009, se obtuvo una disminución del grosor del cascaron, ellos en la semana 37 y en este trabajo en la 32, este resultado está asociado a un incremento del tamaño de los huevos, ya que mientras es más grande se requiere mayor cantidad de calcio, el cual disminuye conforme a la edad de las gallinas.

El diámetro ecuatorial y polar de los huevos tuvo un incremento lineal conforme el tiempo, se alcanzaron tamaños de diámetro ecuatorial de 41 mm y polar de 54 mm en la semana 34,

Figura 16 y

Figura 17, respectivamente, con los cuales y según la Norma Mexicana puede clasificarse como una relación normal de cascarón, además los resultados van conforme a lo obtenido por Hernández y colaboradores (2013) quienes en un sistema intensivo obtienen diámetros ecuatoriales de 42 mm.

De acuerdo con la norma NMX-FF-127-SCFI-2016 se determina que la cámara de aire es el principal determinante de la frescura del huevo, si esta es mayor el huevo es viejo y viceversa. Los resultados obtenidos muestran variaciones en todas las semanas, Figura 18, esto puede explicarse debido a que las muestras se tomaban semanalmente por lo que incrementa el porcentaje de error de tomar huevos con más de 1-2 días de almacenamiento lo que influye en los datos obtenidos.

El color de la yema es claro indicativo para la preferencia comercial, las coordenadas obtenidas para determinar el color de esta indican que mientras mayor sea el número de b^* más amarilla es la yema y cuanto más elevado es a^* es más roja, sin embargo, no se obtuvieron diferencias significativas por el uso de ciclos de iluminación en el color de yema en ninguna de las variables obtenidas; Geng y col. (2018) menciona que no se tienen diferencias significativas en el color a causa de fotoperiodos intermitentes ni continuos.

Respecto al color del cascarón se observa un comportamiento diferente entre las tres variables definidas, así como entre tratamientos; lo que indica la existencia de distintas tonalidades de marrón, este parámetro está más relacionado a factores genéticos y fisiológicos de la gallina especialmente conforme aumenta la edad de esta, ya que los depósitos de calcio y de pigmentos disminuyen y generan cambios de tonalidades en el cascarón. A pesar de que esta no es una medida determinante de la calidad del huevo, es importante su consideración ya que los consumidores en América Latina, sudeste asiático, Nueva Zelanda, Australia y Europa, a excepción de Alemania prefieren colores marrones, a diferencia de EEUU donde prefieren color blanco (Hunton, 1981).

La composición nutricional es otra característica que define la calidad del huevo, dentro de esta se toman en cuenta valores como proteína, grasas, carbohidratos, calorías, entre otros, Según lo descrito por Moreiras y col. (2013) en tablas de composición de alimentos, por cada 100 g de clara hay un aporte de 11 g de proteína, 0.2 g de grasa total, 0.7 g de carbohidratos y 48 kcal. Los resultados obtenidos en el Cuadro 4 muestran valores similares a los anteriores, a excepción del tratamiento F0 el cual tiene un aumento en el porcentaje de grasa que puede deberse a la alimentación de las gallinas en ese periodo, principalmente. Los porcentajes de proteína obtenidos son muy elevados comparados con lo descrito. Este incremento de proteínas se ve al igual reflejado en las kcal/g obtenidas, que también son elevadas comparadas con los datos mencionados. Las tablas de composición de alimentos, describen, por cada 100 g de yema, un contenido de 16 g de proteína, 33 g de grasa total, 0.6 g de carbohidratos y 363 kcal. Los resultados obtenidos en yema, Cuadro 5, también se observan más elevados para todas las determinaciones a excepción de los carbohidratos los cuales se encuentran en un porcentaje menor. Sin embargo, los datos recabados tanto en clara como en yema no afectan negativamente la calidad nutricional del huevo, esto ya que la proteína es de fácil digestión por lo que es considerada de alto valor biológico y, por otro lado, las grasas encontradas en mayor porcentaje en yema se consideran de buena cantidad ya que suelen tener mayor contenido de ácidos grasos monoinsaturados (Carbajal, 2006).

7. CONCLUSIONES

El uso de tecnología de fotoestimulación puede mejorar los ciclos reproductivos de las aves lo que contribuye de manera benéfica en el desarrollo de la avicultura.

El uso de ciclos de iluminación en gallinas, raza Rhode Island, generaron cambios en su fisiología reproductiva mostrando un adelanto de postura en las aves, además de una mayor producción de huevo para el tratamiento F2. Así como un incremento en las concentraciones de hormona luteinizante, en el mismo tratamiento. Por otro lado, no se vio afectado el desarrollo ni la calidad de vida de las aves.

El fotoperiodo afecta indirectamente las características físicas-químicas de los huevos producidos, sin embargo, se encuentran dentro del rango de calidad determinado por la Norma Mexicana, NMX-FF-127-SCFI-2016.

Con los resultados obtenidos, un ciclo óptimo de iluminación es el tratamiento F2, debido a que fue el que presentó un adelanto de postura y una mayor tasa de puesta, siendo estos los resultados más relevantes obtenidos.

8. REFERENCIAS

Albarran P, Cruz-Coke M, Gandarrillas M. La nueva forma de producir huevos. *Agronomía y forestal UC*. **2011**: 30-35.

Bédécarrats GY, Hanlon C. Effect of lighting and photoperiod on chicken egg production and quality. En: Department of animal and aquacultural sciences. Egg innovations and strategies for improvements. IN United States: **2017**: 65-75.

Bell DD, Weaver WD. Commercial chicken meat and egg production. California, EEUU: Springer **2002**.

Boni IJ, Paes AÓ. Programas de Luz para Matrices: Machos e Femeas. 2o Simpósio Técnico sobre Matrices de Frangos de Corte. Chapecó, SC, Brasil. **1999**.

Calvo, FC. Principales razas de gallinas ponedoras. *Producción animal III*. **2015**.

Carbajal A. Calidad nutricional de los huevos y relación con la salud. *Revista de Nutrición Práctica*. **2006**; 10:73-76.

Cruz A. Caracterización del comportamiento productivo de dos razas de gallina ponedora durante las semanas 36 a 52. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. **2016**.

Diario oficial de la federación. NMX-FF-127-SCF1-2016, productos avícolas, huevo fresco de gallina, especificaciones y métodos de prueba. México, **2018**.

Echeverría A. Aves de corral. México, **1992**.

Elson H. Sistemas de Alojamiento para Gallinas Ponedoras en Europa: Desarrollo Actual y Datos Técnicos. XLVI Symposium Científico de Avicultura. **2009**; 57-68.

Ernest R, Millam J, Matther F. Review of life-history lighting programs for commercial laying fowls. *World's Poultry Science Journal*. **1987**.

Geng A, Xu S, Zhang Y, Zhang J, Chu Q, Liu H. Effects of photoperiod on broodiness, egg-laying and endocrine responses in native laying hens. *British Poultry Sciences*. **2014**; 55: 264-269.

Geng A, Zhang Y, Zhang J, Wang H, Chu Q, Liu H. Effects of lighting pattern and photoperiod on egg production and egg quality of a native chicken under free-range condition. *Poultry Science*. **2018**: 1-7.

Gutiérrez G. Hormonas y reproducción en aves: la influencia de factores ambientales y sociales. *Revista Latinoamericana de Psicología*. **1999**; 31: 151-174.

Hernandez J, Perez I, Gonzalez A, Villegas Y, Rodriguez G, Meza V. Calidad de huevo de cuatro líneas genéticas de gallinas en clima cálido. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. **2013**; 6: 1107-1118.

Hernandez A, Ruesga E, Orozco JR, Serratos JA, Flores HE. Efecto de la densidad de aves en jaula y energía alimentaria en la producción y calidad de huevo en gallinas Bovans. *RelbCi*. **2015**; 2: 49-54.

Hunton P. ¿Por qué huevos marrones? *Shaver Focus*. **1981**; 10: 2-4.

Hy-Line. La ciencia de la calidad del huevo. Boletín técnico Hy-Line [serie en internet] **2017** (consultado 12 de agosto de 2018). Disponible en: www.hyline.com.

Instituto de estudios del Huevo. El gran libro del huevo. Madrid, **2009**.

Jensen L., Maurice D. An assessment of nutritional factors affecting the condition of egg albumen. *Zootecnia Int*. **1982**.

Lorenzo J, Purriños L, Garcia G, Garcia-Fontan M, Franco D. Influencia del fotoperiodo en las características de la canal de gallinas de desvieje. Simposio científico de avicultura. **2011**.

Mariaca R. El conocimiento de la gallina (*Gallus gallus domesticus*) entre los tseltales y tsotsiles de los Altos de Chiapas, México. *Etnobiología*. **2013**; 11: 29-34.

Mendoza YY, Brambilia JdJ, Arana JJ, Sangerman DM, Molina JN. El mercado de huevo en México: tendencia hacia la diferencia en su consumo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. **2016** 7: 1455-1466.

MINAGRO. Manual de avicultura Buenos Aires, **2018**.

Molina P. Comparación de dos sistemas de producción y manejo sanitario de las aves criollas de traspatio en los municipios de Ignacio de la Llave y Teocelo. Facultad de medicina veterinaria y zootecnia. **2013**; 47.

Moreiras O, Carbajal A, Cabrera L, Cuadrado M. Tablas de composición de alimentos. Ediciones Pirámide. Madrid. **2005**.

Ostrander C, Turner C. Effect of various intensities of light on egg production of single comb white leghorn pullets. *Poultry Science*. **1962**; 1440-1445.

- Peralta M.** Bases de la reproducción aviar 1. Aparato reproductor. Fav Prod Animal. **2017**: 21.
- Pérez F,** Figueroa E, García A, Godínez L. La avicultura en México: retos y perspectivas. En: Aportaciones en ciencias sociales: economía y humanidades. México: Universidad Autónoma Chapingo, **2014**: 293-300.
- Phil G.** Alojamiento y manejo de las gallinas ponedoras. En FAO, Revisión del Desarrollo Avícola. **2013**: 41-43.
- Prieto-Gómez B,** Velázquez-Paniagua M. Fisiología de la reproducción: hormona liberadora de gonadotrofinas. Rev Fac Med UNAM. **2002**; 45: 252-257.
- PROFECO.** ¿Qué fue primero, el sabor o la nutrición? Revista del consumidor. **2012**: 55-67.
- Revelo M.** Efecto modulador de agonistas de GnRH en los procesos de apoptosis en las células de la granulosa del ovario de la gallina doméstica (*Gallus gallus domesticus*). Universidad de Buenos Aires. **2014**: 173.
- Rueda DC.** Evaluación del efecto de distintos programas de luz, para aves ponedoras de la raza (Rhode Island), en la ciudad de Loja. Universidad Nacional de Loja. **2015**: 88.
- SAGARPA.** Manual de buenas prácticas pecuarias en la producción de huevo para plato. México, **2016**.
- Rodríguez A.** Tipificación de la calidad del huevo de gallina ecológico y convencional. **2016**: 259.
- Secretaría de Agricultura,** Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. Pollos, gallinas y la avicultura en México. [serie en internet] **2015** (consultado 30 de junio de 2018). Disponible en: <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/pollos-gallinas-y-la-avicultura-en-mexico>.
- Tortuero F.** Lecciones sobre el huevo. Madrid, **2002**.
- Trujillo R,** Berrocal J, Moreno L, Ferron G. Producción ecológica de gallinas ponedoras. Sevilla: Secretaría General Técnica y Servicio de publicaciones y divulgación, **2014**.
- Villanueva C,** Oliva A, Torres A, Rosales M, Moscoso C, Gonzalez E. Manual de producción y manejo de aves de patio. Turrialba CR, **2015**.

Zhang J, Chu q, Liu H. Study of egg quality of different breeds at earlier stage of laying. Proc 14 th National Poult Sci Symposium Harbin. **2009**: 444-447.

Zhang L, Ning Z, Xu G, Hou Z, Yang N. Heritabilities and genetic and phenotypic correlations of egg quality traits in broen-egg dwarf layers. Poultry Science. **2005**; 84: 1209-1213.