



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

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

CAMPUS MONTECILLO

**PROGRAMA DE POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y
PRODUCTIVIDAD**

GANADERÍA

ALIMENTACIÓN DIFERENCIADA EN GALLINAS DE POSTURA

MARÍA GUADALUPE ZAMBRANO VELASCO

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

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2019

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

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe María Guadalupe Zambrano Velasco, alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Juan Manuel Cuca García por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis "Alimentación diferenciada en gallinas de postura" y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 4 de febrero de 2019.



Firma de la alumna







Vo. Bo. Del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: “**Alimentación diferenciada en gallinas de postura**”, realizada por la alumna: **María Guadalupe Zambrano Velasco** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO	 _____
	DR. JUAN MANUEL CUCA GARCÍA
ASESOR	 _____
	DR. ARTURO PRO MARTÍNEZ
ASESORA	 _____
	DRA. LEONOR MIRANDA JIMÉNEZ
ASESORA	 _____
	DRA. JENNIFER PÉREZ MARTÍNEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, febrero de 2019

ALIMENTACIÓN DIFERENCIADA EN GALLINAS DE POSTURA

María Guadalupe Zambrano Velasco, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

La formación de las diferentes partes del huevo se realiza a horas distintas del día, por ello se comparó una dieta convencional (DCL) respecto a dietas diferenciadas (DDF), formuladas a base de sorgo-soya en gallinas Bovans White de 52 semanas de edad. La DCL, en la mañana (DM) y en la tarde (DT) contenía: 2750 kcal/kg de energía metabolizable (EM), 16.5 % de proteína cruda (PC), 4.0 % de calcio (Ca) y 0.3 % de fósforo disponible (PD). En las DDF, se ofreció una DM con: 2950 kcal/kg de EM, 19.5 % de PC, 2.0 % de Ca y 0.3 % de PD, y la DT con: 2600 kcal/kg de EM, 15.5 % de PC, 5.38 de Ca % y 0.16 % de PD. Cada sistema de alimentación se asignó aleatoriamente a 160 gallinas en total, con 10 unidades experimentales, de ocho gallinas cada una. El diseño experimental fue completamente al azar. Los consumos de alimento, energía metabolizable aparente, Ca y P fueron menores con las DDF ($P < 0.05$). El peso del huevo fue mayor en las gallinas sometidas a la DCL, en comparación con las DDF ($P < 0.05$). La digestibilidad aparente total de nitrógeno, energía y P fueron mayores con las DDF, así como las unidades Haugh ($P < 0.05$), pero disminuyó el grosor de cascarón ($P < 0.05$). Al someter a las gallinas a DDF, es posible mejorar algunas características del comportamiento productivo y unidades Haugh, e incrementar valores de digestibilidad total de nitrógeno, energía y fósforo.

Palabras clave: necesidades nutrimentales, formación de huevo, eficiencia, digestibilidad aparente, producción.

DIFFERENTIATED FEEDING IN LAYING HENS

María Guadalupe Zambrano Velasco, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

Different parts of the egg formation is done at different times throught of the day, so we compared a conventional diet (DCL) with differentiated diets (DDF); formulated from soy sorghum old Bovans White hens at 52 week. DCL, in the morning (DM) and in the afternoon (DT) contained: 2750 kcal/kg of metabolizable energy (EM), 16.5% crude protein (PC), 4.0% calcium (Ca) and 0.3% available phosphorus (PD). In the DDF, a DM was offered with a content of: 2950 kcal/kg of EM, 19.5 % of PC, 2.0 % of Ca and 0.3 % of PD, and the TD with: 2600 kcal/kg of EM, 15.5 % of PC, 5.38 of Ca % and 0.16 % of PD. Each feeding system was randomized to 160 hens in total, with 10 experimental units of eight hens each. The experimental design was completely random. Feed consumption, apparent metabolizable energy, Ca and total P were lower with DDF ($P < 0.05$). Egg weight was higher in DCL hens compared to DDF ($P < 0.05$). Total apparent nitrogen digestibility, energy and P were higher with DDF, as well as Haugh units ($P < 0.05$), but eggshell thickness decreased ($P < 0.05$). By subjecting laying hens to DDF, it is possible to improve some characteristics of productive performance and Haugh units , and increase total values of nitrogen digestibility, energy and phosphorus.

Key words: nutritional requirements, egg formation, efficiency, apparent digestibility, production.

DEDICATORIA

A **Dios**, por iluminarme siempre, darme la fortaleza necesaria, hacer que las cosas fueran posibles y poner en mis manos las herramientas para cumplir esta meta.

A mi hija **Hannia Sofia Bello Zambrano**, por ser la bendición más grande en mi vida y mi motor para continuar superándome personal y profesionalmente.

A mi esposo **Benito Bello Olivera**, quien ha sido mi acompañante y apoyo incondicional en el caminar de esta etapa tan importante para nosotros.

A mis padres **Leticia Velasco Anzueto e Ignacio Zambrano Archila**, porque aun en la distancia han sido mis pilares y quienes han sembrado la semilla en mí para perseguir los objetivos que me he planteado.

A mis **tías**, porque me educaron como a una hija y me guiaron con disciplina para ser una persona de bien.

A mis hermanos **Leonardo y Medardo**, quienes espero hagan de este logro también el suyo, y no dejen de perseguir sus objetivos.

A mis amigos y compañeros, por su amistad, apoyo y comprensión en los momentos que lo requería.

Con amor: Lupita

AGRADECIMIENTOS

A **CONACYT** (Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología) por brindarme los recursos económicos y solventar mi permanencia en el posgrado.

Al **Colegio de Postgraduados** por ser la Institución forjadora de mis conocimientos y facilitarme los medios adecuados para mi formación.

A **mi esposo Benito Bello Olivera**, por su gran ayuda en la fase experimental y por su disposición absoluta en la realización del proyecto. .

Al **Dr. Juan Manuel Cuca García**, le agradezco por sus consejos no solo en mi desarrollo académico, sino también en mi formación como persona y preparación para la vida.

Al **Dr. Arturo Pro Martínez**, gracias por sus observaciones y exigencias, que finalmente me guiaron para obtener un mejor trabajo de investigación.

A la **Dra. Jennifer Pérez Martínez** y a la **Dra. Leonor Miranda Jiménez**, por sus sugerencias oportunas y por su disponibilidad en la revisión del proyecto y la tesis.

A los **Doctores Gustavo Ramírez Valverde** y **Eliseo Sosa Montes**, quienes realizaron valiosas aportaciones al trabajo de investigación y al **Dr. Omar Hernández Mendo**, por su aceptación como sinodal.

Al personal académico y administrativo, especialmente a la **Sra. Celsa Fragoso Garay**, por su disponibilidad para resolver mis dudas. A todas aquellas personas y en especialmente a mis amigos y compañeros que contribuyeron en mi trabajo de investigación e hicieron mi estadía más agradable en el postgrado.

A todos ustedes “gracias”

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVO GENERAL	2
III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
IV. HIPÓTESIS	2
V. REVISIÓN DE LITERATURA	3
5.1. Situación de la avicultura en México	3
5.2. Estrategias de alimentación de alta precisión.....	4
5.3. Producción de huevo	8
5.3.1. Composición del huevo.....	8
5.3.2. Formación del huevo.....	9
5.3.3. Lugar y momento de la síntesis proteínica	12
5.3.4. Formación del cascarón	13
5.3.5. Oviposición.....	16
5.4. Calidad de huevo y nutrición	16
5.5. Necesidades nutrimentales en gallinas de postura	17
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
6.1. Localización y tratamientos experimentales	19
6.2. Consumo de alimento y nutrimentos.....	21
6.3. Comportamiento productivo	21
6.4. Digestibilidad total aparente de nutrimentos.....	22
6.5. Calidad física de huevo	22
6.6. Cálculos y análisis estadístico.....	23
VII. RESULTADOS	25
7.1. Consumo de alimento y nutrimentos.....	25
7.2. Comportamiento productivo	25

7.3. Digestibilidad total aparente de nutrimentos.....	26
7.4. Calidad física de huevo	29
VIII.DISCUSIÓN	30
IX. CONCLUSIÓN Y SUGERENCIAS	34
X. LITERATURA CITADA	35

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Necesidades diarias nutrimentales en gallinas de postura.....	19
Cuadro 2. Composición de las dietas experimentales convencional y diferenciadas.	20
Cuadro 3. Consumo diario nutrimental de gallinas en postura de 52 a 76 semanas de edad con dieta convencional y diferenciadas.	25
Cuadro 4. Comportamiento productivo promedio de gallinas en postura de 52 a 76 semanas de edad, con dieta convencional y diferenciadas.....	26
Cuadro 5. Digestibilidad aparente de energía y fósforo en gallinas de 60 a 76 semanas de edad con dieta convencional y dietas diferenciadas.	28
Cuadro 6. Calidad física de huevo en gallinas de 60 a 76 semanas de edad, sometidas a dieta convencional y a dietas diferenciadas.....	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráfica que representa el aporte de proteína por el sector pecuario (UNA, 2018).	4
Figura 2. Consumo de nutrimentos a lo largo del día con alimentación única y un sistema de autoselección de nutrimentos (Chah, 1972).....	7
Figura 3. Componentes del tracto reproductivo de la gallina (Adaptado de: Asencio, 2009).....	10
Figura 4. Corte transversal de un huevo (Adaptado de: http://www.institutohuevo.com/estructura_huevo/).	11
Figura 5. Esquema del ciclo de postura en aves; la formación del cascarón está sombreada (Van.....)	13
Figura 7. Tasa fraccional de formación del cascarón (Kebreab <i>et al.</i> , 2009).	14
Figura 6. Tiempo desde el inicio de la formación del cascarón (Kebreab <i>et al.</i> , 2009).	14
Figura 8. Digestibilidad total aparente de N (%).	27
Figura 9. Digestibilidad total aparente de Ca (%).	28

I. INTRODUCCIÓN

Las necesidades nutrimentales de las gallinas en aminoácidos, energía, calcio y fósforo, varían durante el día porque están en función al ciclo de formación del huevo (Rose y Kyriazakis, 1991), por lo que suministrar una sola dieta durante el día, con niveles constantes de nutrimentos, puede causar deficiencias en el aprovechamiento óptimo de éstos (Leeson y Summers, 2005).

Ante esta problemática, existen sistemas de alimentación para lograr que la nutrición sea más precisa, con el ajuste de las dietas a los requerimientos de las aves, esta situación involucra elaborar una dieta de mañana y una de tarde (Romero, 2015). Las dietas diferenciadas representan una alternativa para aumentar la eficiencia productiva y mantener la calidad del huevo, porque se proporcionan altos niveles de energía y proteína por la mañana, necesarios para la síntesis de albúmina y altas concentraciones de calcio en la tarde, indispensables para la formación del cascarón (Hiramoto *et al.*, 1990).

Otro de los factores importantes es la excreción que resulta de la composición de las dietas, como en el caso del nitrógeno (N), ya que más del 50 % de éste en el alimento es excretado como ácido úrico, lo cual podría reducirse al manipular los esquemas de alimentación (Uremovic *et al.* 2001).

De ahí la importancia de proporcionar los nutrimentos en relación al tiempo en que se forman los componentes del huevo. Es por ello, que se planteó el presente estudio, con los objetivos de evaluar el comportamiento productivo, digestibilidad total de nutrimentos y calidad de huevo, al comparar una dieta convencional con respecto a dietas diferenciadas durante el día, considerando que, al someter a las aves a dietas diferenciadas, las variables del comportamiento productivo no disminuirán y podrá aumentar la digestibilidad total de los nutrimentos.

Adicionalmente, con dietas diferenciadas se podrán cubrir los requerimientos nutrimentales de las aves de acuerdo a la etapa de formación de huevo, la calidad podrá conservarse y de ésta manera se logrará mayor eficiencia de utilización nutrimental.

II. OBJETIVO GENERAL

- 🐔 Evaluar el efecto de suministrar alimentación diferenciada con respecto a la convencional en gallinas de postura.

III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 🐔 Evaluar el comportamiento productivo en gallinas de postura al suministrar dietas diferenciadas en comparación con una dieta convencional.
- 🐔 Determinar la digestibilidad total de nutrimentos en gallinas de postura al proporcionar dietas diferenciadas con respecto a una dieta convencional.
- 🐔 Evaluar la calidad de huevo proveniente de gallinas en postura con dietas diferenciadas en relación a una dieta convencional.

IV. HIPÓTESIS

Alimentar a gallinas de postura con dietas diferenciadas no modifica el comportamiento productivo y la digestibilidad total de la dieta.

Al proporcionar dietas diferenciadas, se podrá cumplir mejor con las necesidades nutrimentales de las gallinas en base a la formación de los diferentes componentes del huevo por lo que su calidad podrá conservarse.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 Situación de la avicultura en México

A mediados del 2018, la producción acumulada de huevo era de 1, 908, 314 de las cuales 6 de cada 10 personas incluyen en su dieta alimentos como pollo, huevo y pavo (SIAP, 2018). El huevo es uno de los productos más accesibles económicamente para el consumidor, contiene proteína de alto valor biológico aunado a un bajo valor energético (Kovacs *et al.*, 2005).

FAO (2018), reportó un aumento del hambre en el mundo. El número de personas subalimentadas, es decir, las personas que padecen privación crónica de alimentos, ha incrementado de 804 millones en 2016 a 821 millones en 2017 y en México el incremento en la pobreza no ha sido la excepción. Es por ello que el huevo además de poseer características sobresalientes ante otros productos también representa una de las alternativas en los hogares donde existe escasez de recursos alimenticios, por lo que se ha incrementado su consumo al ser uno de los alimentos de mayor accesibilidad a la población.

De acuerdo con Mendoza *et al.* (2016), el consumo de huevo de 2010 a 2020 será de 1.9 % y la tasa de crecimiento anual de la población es de 1.8 %. Los autores mencionados realizaron una proyección en la que el consumo de huevo *per cápita* en México hasta 2020 será de 24.61 kg por persona.

En este contexto, la avicultura es la industria principal en la transformación de proteína vegetal a proteína animal. Tan solo de 1994 al 2017 el consumo de insumos agrícolas ha crecido 82 %, con tasa de crecimiento media anual de 2.6 % (UNA, 2018). Este producto es de gran importancia en nuestro país, ya que aporta 17 % de proteína al sector pecuario, después de la leche de vaca

(Figura 1), y es de calidad excelente, comparable a otros productos de alto consumo como la carne y la leche.

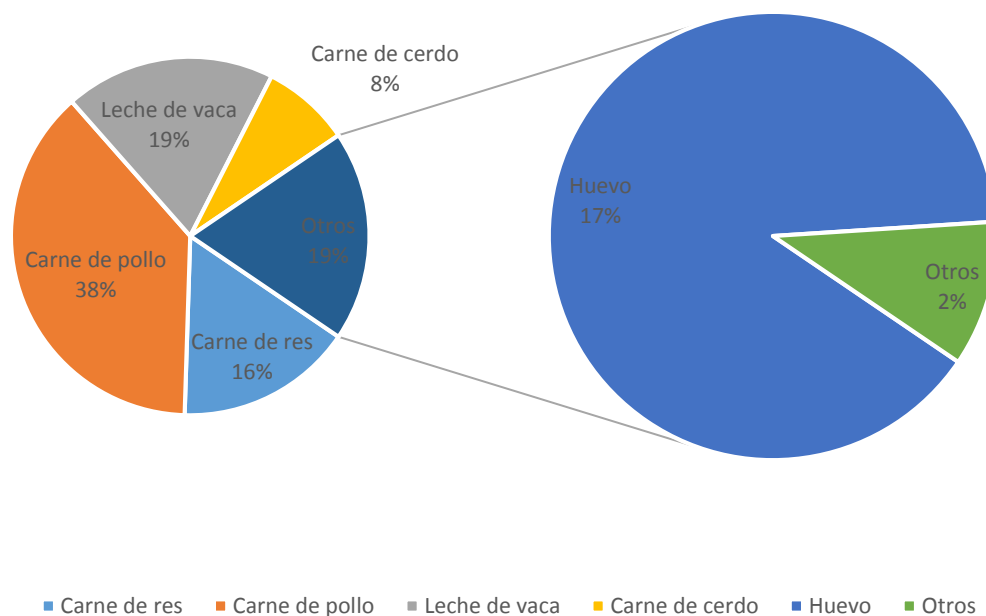


Figura 1. Gráfica que representa el aporte de proteína por el sector pecuario (UNA, 2018).

Por lo anterior, el desafío de los productores para lograr mayor eficiencia en la producción de huevo se ha hecho aún mayor, y la búsqueda de más y mejores estrategias de alimentación en la avicultura es prioritaria.

5.2 Estrategias de alimentación de alta precisión

La fisiología de la gallina indica que la ovulación ocurre generalmente en las primeras horas de la mañana. En éste sentido, las necesidades de las gallinas en aminoácidos, energía (EM), calcio (Ca) y fósforo (P) no son constantes, varían durante el día de acuerdo al proceso de formación del huevo. Los sistemas de alimentación en gallinas con dieta única, en la que los niveles de nutrimentos son

constantes, podría resultar en la subutilización de estos (Chah, 1972; Leeson y Summers, 1997). La formación del huevo da lugar a la deposición de albúmina en las horas de la mañana, mientras que la deposición del cascarón ocurre en las horas de la noche (Etches, 2000). Esto implica mayor requerimiento de proteína y aminoácidos en la mañana, pero alto requerimiento de Ca en las horas de la noche. La absorción de Ca varía durante el día; durante las primeras 5 a 6 h de formación de huevo, cuando se produce la ovulación y la formación de albúmina, solo 40 % del Ca disponible de la dieta se absorbe, mientras que, durante la formación del cascarón, esta proporción aumenta de 70 a 80 % (Hurwitz y Bar, 1965). Además, se ha demostrado que las gallinas tienen mayor apetito de Ca en la última h del período de luz (Mongin y Sauveur, 1974).

Asimismo las necesidades de P disponible son mayores durante la mañana en la medida que este es altamente requerido para reabsorber Ca y remodelar los recursos de hueso medular que se utilizaron durante la noche en la formación del cascarón. De esta manera el requerimiento de aminoácidos y macro minerales cambia durante el día, y una forma de lograr mayor exactitud en la nutrición es ajustar las dietas a estos requerimientos, situación que implica elaborar dos dietas, una para la mañana y una para la tarde (Romero, 2015). Nys *et al.* (2017) mencionan algunos sistemas de alimentación como:

1. **De libre elección o también llamada *de cafetería***, con dos o tres dietas de forma simultánea, en distintos comederos, las gallinas tienen la capacidad de seleccionar entre granos enteros, concentrado de proteína y partículas de Ca para cubrir sus necesidades nutrimentales. Éste método permite al ave “formular su propia dieta”, seleccionando los alimentos de acuerdo a las necesidades de mantenimiento y producción, lo que puede incrementar la eficiencia en comparación con dietas completas.

Los resultados en las variaciones en el consumo de alimento con este sistema pueden influir en la digestibilidad aparente de los nutrientes, ya sea alterando la contribución relativa del material exógeno a la digestión total o influyendo en el tiempo de tránsito del alimento consumido (Cherry y Siegel, 1978). Un factor que debe considerarse es la evaluación del valor nutricional del alimento que las aves consumen, ya que no todos los alimentos son digeridos y absorbidos eficientemente. Por lo que, un buen indicador de cómo el ave puede procesar y absorber los nutrientes de una dieta suministrada es la determinación de la digestibilidad de los nutrientes (Angel, 1993), que se obtiene al comparar la cantidad de nutrientes ingeridos respecto a la excretada.

Los productores que carecen de experiencia pueden adaptarse al sistema, que ahorra mano de obra, resultando en programas viables de mejoramiento para lograr alta producción (Oliveira, 1999).

2. **A discreción**, ofrecida durante todo el día en un solo comedero, en el que contiene los tres nutrientes con tamaños diferentes de partículas mezcladas. Este es un sistema que permite la distribución al mismo tiempo en una sola dieta e interfiere en la capacidad de la gallina para elegir el cereal entero, las partículas de Ca y el concentrado proteínico.

3. **Alimentación secuencial**, o denominada en diferentes estudios como **alimentación dividida, separada o diferenciada**, con dos dietas con distinta composición en energía, proteína y Ca, en el mismo comedero todo el día para proveer los nutrientes necesarios durante las fases de formación del huevo.

Chah (1972) realizó un estudio en el que las gallinas pudieron autoseleccionar los nutrientes. Se seleccionaron dos grupos de gallinas en condiciones semejantes (edad, manejo o alojamiento en cuanto a su alimentación): en tanto, en uno de los grupos de animales se colocó un comedero de alimentación única, en el otro grupo se habilitaron tres comederos con nutrientes diferentes,

siendo uno de ellos un alimento energético, otro proteínico y el tercero una fuente de Ca; con la alimentación única el ave se vio forzada a consumir mayor cantidad de proteína por la tarde, lo que ocasionó mayor consumo diario respecto al otro grupo al que se le permitía la selección de nutrimentos. No obstante, el comportamiento alimenticio se presenta de forma distinta en el consumo del Ca. Se encontró que el consumo de proteína fue 11 % más bajo mientras que el de energía y Ca fueron 8 y 26 % menores, respectivamente, en las gallinas que pudieron autoseleccionar los nutrimentos con respecto a las alimentadas con dieta única (Figura 2).

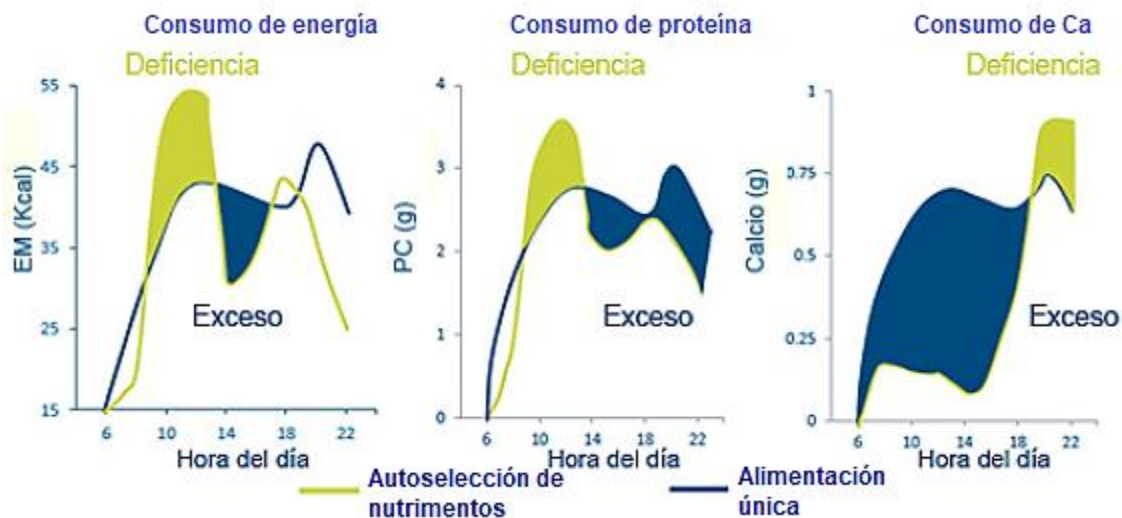


Figura 2. Consumo de nutrimentos a lo largo del día con alimentación única y un sistema de autoselección de nutrimentos (Chah, 1972).

Se ha informado que la alimentación secuencial incrementa el consumo total cuando las aves se alimentan de una mezcla de cereales integrales y concentrado de proteínas de forma secuencial (Blair *et al.*, 1973). Sin embargo, el porcentaje de postura y el peso de los huevos no se afectaron, lo que disminuyó la eficiencia de la utilización del alimento de las aves. Leeson y Summers (1978), Robinson (1985) y Lee y Ohh (2002) encontraron que el consumo de alimento se redujo cuando las gallinas tuvieron acceso a diferentes dietas de forma secuencial. Los primeros dos estudios informaron que el porcentaje de postura y el peso de huevo disminuyeron, mientras que

los últimos informaron que no hubo diferencias en producción de huevo y se redujo el peso de huevo en comparación con la alimentación convencional.

Esta estrategia de alimentación se ha realizado en explotaciones comerciales utilizando dos silos, con una dieta suministrada por la mañana de alta energía, proteína y fósforo, y bajo en calcio, y otra por la tarde con baja energía, proteína y fósforo y alto en calcio, o bien añadiendo un tercer silo para el suministro de calcio en la noche. El objetivo principal es reducir la conversión alimenticia e incrementar la calidad del cascarón.

Además, en un estudio realizado por Lewis (2001), se encontró que por cada unidad porcentual reducida en la dieta, las pérdidas de N en las excretas disminuyeron en 8 %, el amonio libre en el aire a 19 % y los olores a 17.5 %, es decir que al haber menor excreción de productos no digeridos, se redujo la acción negativa de la producción avícola en el ambiente.

5.3 Producción de huevo

5.3.1 Composición del huevo

El peso promedio de un huevo proveniente de gallinas domésticas es de 57 g, y se constituye aproximadamente de 63.8 % de albumen, 27.2 % de yema y 9 % de cascarón. El peso del cascarón es de 5.1 g y se compone de 95 % de CaCO_3 , principalmente en forma de cristales de calcita y 5 % de material orgánico, en forma de membranas y una matriz orgánica (Parsons, 1982).

El mineral más abundante en la yema es el P, esto sin considerar el cascarón, con 120 mg de P en un huevo de 60 g y 34 mg de Ca (AEB, 2013); el cascarón del huevo contiene 2.4 g de Ca por huevo, por lo que casi el 0.1 % del Ca está en el huevo sin cascarón.

5.3.2 Formación del huevo

Es importante conocer los mecanismos fisiológicos que se desencadenan durante la formación de los diferentes componentes del huevo, ya que estos explican en gran parte el planteamiento del presente estudio.

El consumo de nutrimentos como energía y proteína está relacionado con la actividad fisiológica y esto es porque la gallina ovula aproximadamente 30 minutos después de la oviposición del huevo anterior, aunado a que el incremento de Ca por la tarde se asocia al apetito de este mineral, debido a que un huevo tarda de 4 a 5 horas para llegar a la glándula del cascarón, después de la ovulación (Chah, 1972).

En los sistemas modernos, la mayoría de los huevos (90 %) se ponen durante la mañana (Leeson y Summers, 1978). Es pertinente recalcar que el ovario y el oviducto derecho no se desarrollan en la gallina, por lo que el crecimiento de los folículos se realiza en el ovario izquierdo (Roberts, 2004). Una vez que inicia la madurez sexual, estos se desarrollan por acumulación de lípidos, lo que garantiza un folículo preovulatorio por día (Johnson y Woods, 2007).

El oviducto es un órgano en forma tubular, que se divide en cinco segmentos principales: infundíbulo, magno (parte sintetizadora de la albúmina), istmo, útero o glándula del cascarón y vagina (Figura 3).

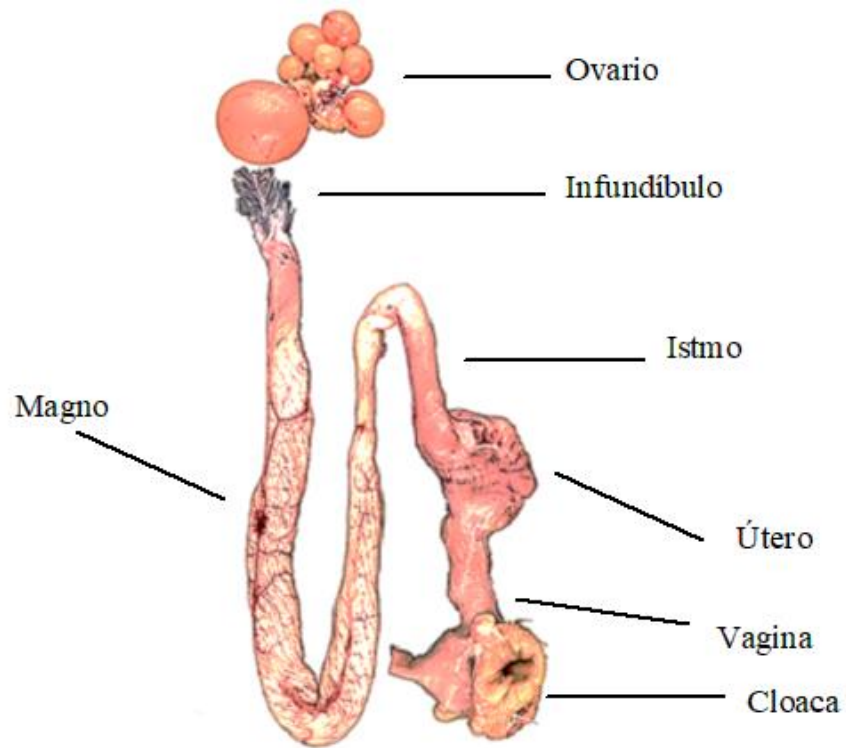


Figura 3

), 2009).

En el proceso de ovulación, la masa vitelina del folículo más grande es capturada por el infundíbulo, donde el huevo en proceso permanece por 15 minutos aproximadamente y es aquí donde ocurre la formación de la membrana vitelina y las chalazas (Figura 4).

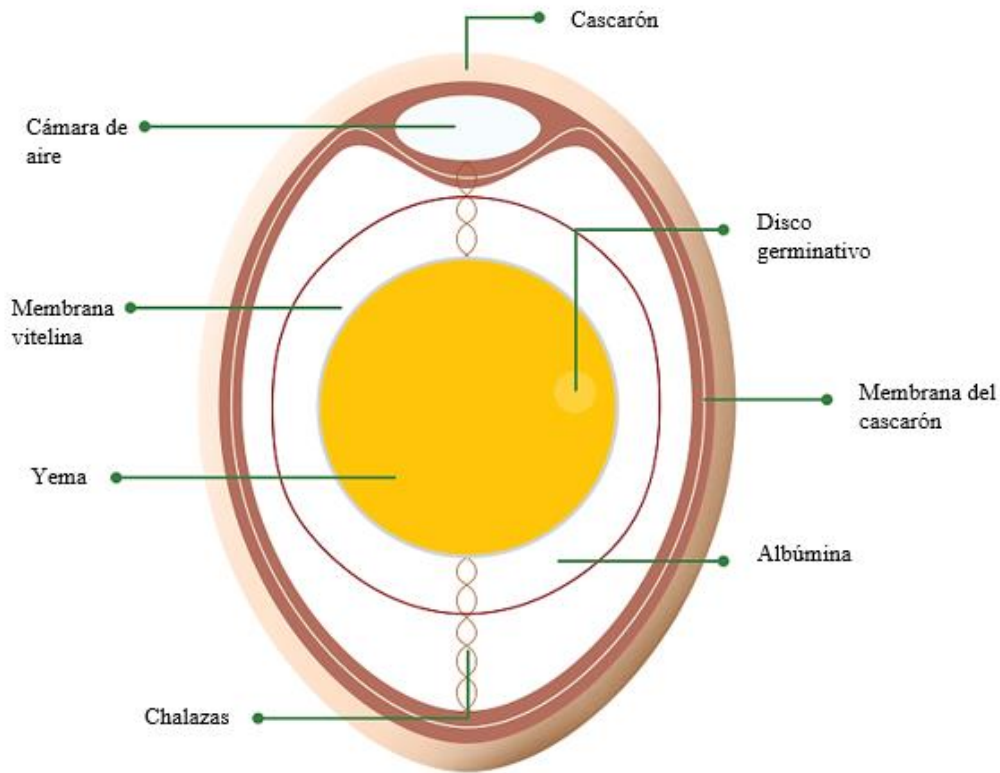


Figura 4. Corte transversal de un huevo (Adaptado de:

http://www.institutohuevo.com/estructura_huevo/).

La ovulación del ovocito se origina 24-25 h antes de la oviposición del óvulo que contiene la yema correspondiente y el intervalo entre la oviposición y la ovulación posterior dura de 15 a 45 min (Sauveur y de Reviere, 1988; Etches, 1996). Posteriormente, el folículo desciende por el oviducto y se somete a la deposición de los demás componentes del huevo (Romanoff y Romanoff, 1949).

Después, el huevo se transfiere al magno, en donde permanece durante 3 horas mientras se producen las proteínas de la clara de huevo (albúmina), entre otras. Esta capa de proteínas proporciona protección mecánica y bacteriana para la yema, y a la vez crea una plantilla para la formación sucesiva de las membranas del cascarón (Roberts, 2004).

En la literatura se menciona que la síntesis de proteínas en todo el oviducto es mayor cuando un óvulo se encuentra en el magno que cuando está en cualquiera de las otras estructuras (Hiramoto *et al.*, 1990), esto se explica en gran parte por la síntesis proteínica de la albúmina, la cual se lleva a cabo en este segmento (Gilbert, 1979).

A continuación, el huevo en desarrollo pasa al istmo que, en una hora aproximadamente, produce las fibras que componen las membranas del cascarón interna y externa. El huevo entra en la glándula tubular del cascarón por donde el agua y los electrolitos ingresan en la albúmina y comienza la formación de los núcleos de la membrana testácea, en un período de 5 h. El tiempo más largo durante la formación del huevo transcurre en el útero (15 h) y es aquí donde se lleva a cabo la formación del cascarón y se completa el proceso de formación del huevo (Nys y Guyot, 2011). En gallinas de postura, el peso y el contenido proteínico de los componentes del oviducto varían a medida que el huevo en desarrollo pasa a través de éstos (Kumagai e Ishibashi, 1984). Conforme el huevo ingresa en la glándula, aumenta el requerimiento de Ca. Por lo tanto, una dieta más rica en Ca, puede ser necesaria durante la tarde y la noche (Molnár *et al.*, 2018).

5.3.3 Lugar y momento de la síntesis proteínica

La síntesis de proteína en el magno es continua y no depende de la presencia del huevo en oviducto. No obstante, es probable que la síntesis proteínica se acelere durante el paso del huevo en el magno, debido a que la concentración de ARNm en el tejido y la tasa de formación de albúmina son mayores durante esta fase de la formación del huevo (Muramatsu *et al.*, 1991). La síntesis de las proteínas de la clara de huevo es un proceso mucho más rápido (<2 días) que la síntesis de los componentes de la yema de huevo (8 a 10 días). Por lo tanto, una deficiencia en la dieta de la gallina afectará a la proteína de la albúmina mucho más rápido que a la de la yema (Nys y Guyot,

2011). Las proteínas sintetizadas en el magno se almacenan en gránulos adyacentes al lumen y se secretan durante el paso del huevo.

5.3.4 Formación del cascarón

Van de Velde *et al.* (1984) indican que la calcificación del huevo sólo está activa durante 13 h, y se conoce como período activo en contraste con el período inactivo (Figura 5).

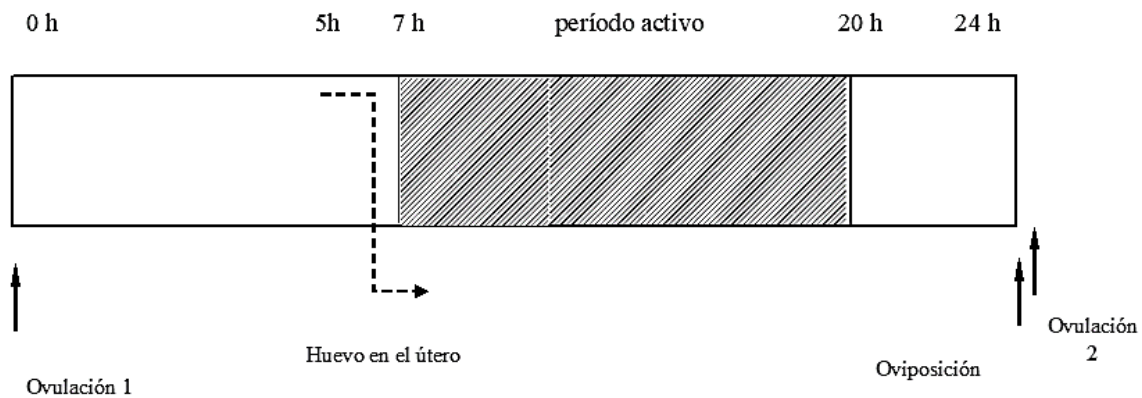


Figura 5. Esquema del ciclo de postura en aves; la formación del cascarón está sombreada (Van de Velde *et al.*, 1984).

La formación del cascarón ocurre durante las horas oscuras (tarde y noche), a este período se le conoce como scotofase (De Vries *et al.*, 2010). Kebreab *et al.* (2009) describen que el cascarón del huevo requiere 20 horas para estar 100 % completo y que la tasa de formación es la más alta, entre 7 y 13 horas después del inicio del proceso (Figuras 6 y 7). En tanto, el período entre dos oviposiciones es de aproximadamente 24 h, pero puede prolongarse, en gallinas jóvenes (Keshavarz, 1998).

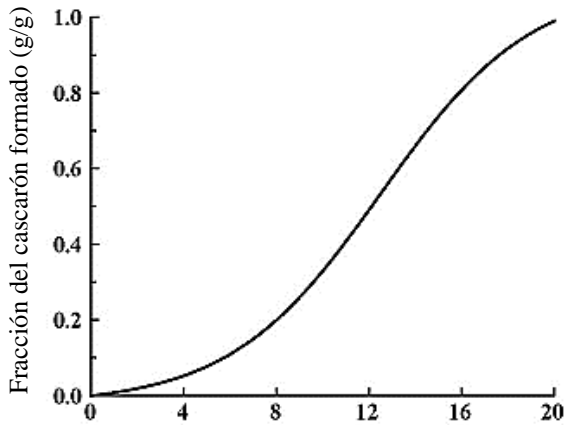


Figura 7. Tiempo desde el inicio de la formación del cascarón (Kebreab *et al.*, 2009).

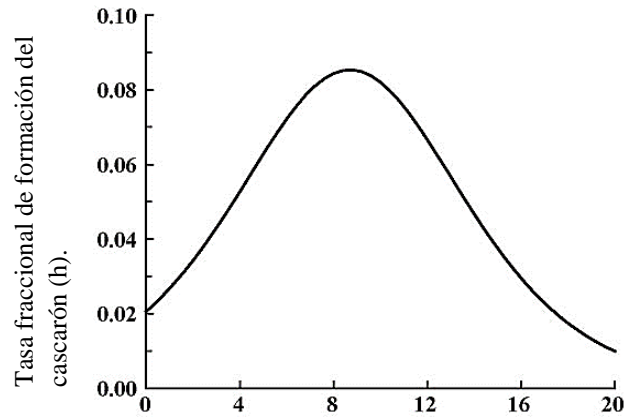


Figura 6. Tasa fraccional de formación del cascarón (Kebreab *et al.*, 2009).

El Ca es el principal elemento estructural en el cascarón y se requieren grandes cantidades para su síntesis. La glándula del cascarón está activa durante las horas oscuras, pero las reservas de Ca en el intestino pueden ser bajas en ese momento porque las gallinas no consumen alimento durante la noche (Scanes *et al.*, 1987).

El proceso fundamental que altera las concentraciones de Ca a nivel plasmático en gallinas de postura es la alta demanda de este mineral para la formación del cascarón. Dicho proceso da lugar al funcionamiento de los mecanismos homeostáticos que poseen las aves para compensar la excreción de Ca por esta vía (Correa, 1999).

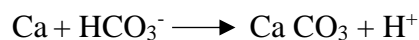
La formación del cascarón no se da a tasa constante. Esta es lenta al principio, posteriormente presenta una tasa máxima y se reduce al final (Etches, 1987; Clunies *et al.*, 1994). Clunies *et al.*, (1994) demostraron estas variaciones al determinar la cantidad de Ca depositado en el cascarón cada seis horas, empleando cinco niveles de concentración de este mineral en la dieta.

De los datos reportados por estos autores se infiere que, en general, la tasa de deposición de Ca en el cascarón es baja durante las primeras seis horas, lo que concuerda con el tiempo en que tarda el huevo en formación para llegar a la glándula del cascarón e iniciar la calcificación.

La deposición del cascarón es muy lenta durante las primeras cuatro horas ya que durante este período el principal proceso que se realiza es la absorción de agua, algunas sales y glucosa desde el fluido de la glándula hacia el interior del huevo incrementándose volumen del mismo (Nys y Guyot, 2011). Este proceso, comienza a estrechar las membranas del cascarón y resulta en la distensión del útero lo cual es considerado como estímulo para que se inicie la fase rápida de calcificación. La tasa máxima de deposición de Ca en el cascarón se presenta en el periodo comprendido entre las 12 y 18 horas, declinando posteriormente.

Durante la fase de máxima deposición de cascarón, la transferencia de Ca desde la sangre hacia éste oscila entre 100 y 200 mg/h (Etches, 1987; Clunies *et al.*, 1994). Según Etches (1987), la excreción de Ca desde la sangre podría reducir los niveles plasmáticos de este mineral a cero si no hubiera otra fuente disponible. Considerando que la formación del cascarón se presenta en las horas de oscuridad cuando los niveles de consumo de alimento son muy bajos o inexistentes, la única fuente que puede suministrar el Ca durante éste período es la médula ósea.

El cascarón se deriva de combinar iones de Ca con iones bicarbonato (Tullet, 1987):



Debido a que el Ca no es almacenado en las células del oviducto, este es transportado desde la sangre por mecanismos pasivos y, mucho más importante, por mecanismos activos (Tullet, 1987).

Lo anterior puede indicar que durante la formación del cascarón también se presentaría demanda de energía para el transporte de este ion hacia el cascarón.

5.3.5 Oviposición

La expulsión del óvulo (oviposición) por el oviducto es coordinada por factores fisiológicos que provocan la contracción del músculo uterino y la relajación del músculo abdominal y del esfínter entre el útero y la vagina (Johnson y Whittow, 2000). El proceso dura pocos minutos. La mayoría de los óvulos (90 %) se forman en el oviducto con la parte más angosta orientada hacia la vagina, pero al menos entre el 20 y el 30 % de los óvulos se colocan con el extremo más ancho, por lo que deben girarse de extremo a extremo mientras pasan por la parte posterior del oviducto (Romanoff y Romanoff, 1949). En la gallina, la contracción del músculo uterino aumenta en cada oviposición, incluso cuando no hay ningún óvulo presente en el útero como resultado de una oviposición prematura inducida experimentalmente o cuando ocurre la primera ovulación de una secuencia de óvulos. El momento y el proceso de oviposición dependen de un doble control hormonal: el primero, las hormonas neurohipofisarias, la vastocina arginina y la oxitocina, y el segundo, las prostaglandinas secretadas principalmente por el ovario pero también, por el útero a una menor magnitud (Saito *et al.*, 1993).

5.4 Calidad de huevo y nutrición

El proceso de formación de los diferentes componentes internos del huevo y del cascarón es complejo por lo que pueden presentarse problemas de calidad física en cualquiera de las etapas de este proceso.

Aunado a ello, los problemas con la calidad interna del huevo y la calidad del cascarón pueden deberse a una combinación de factores (Roberts, 2004). Debido a esto, se han realizado investigaciones para poder identificar las posibles causas por las cuales la calidad del huevo disminuye.

Para las gallinas, el Ca y el P son minerales fundamentales, y su disponibilidad es de vital importancia en la fase de postura (De Vries *et al.*, 2010). El Ca constituye aproximadamente 1.5% del peso de la gallina y el 40% del peso del cascarón (Bolukbasi *et al.*, 2005). Se almacena en forma de CaCO₃ en el cascarón (Bar, 2009). Por lo que las dietas de las gallinas deben cubrir los requerimientos, de manera que puedan utilizar el Ca eficientemente.

Asimismo, El P dietético inadecuado puede ocasionar la desmineralización del esqueleto de la gallina de postura. Por ello es necesario tomar en cuenta la relación entre Ca:P en la dieta, ya que los altos niveles de P pueden interferir con la absorción de Ca del intestino, lo que reduce la calidad del cascarón (Boorman y Gunaratne, 2001). Cuando la cantidad de P es deficiente afecta negativamente la calidad del cascarón, producción y tamaño del huevo, e incrementa la excreción de Ca en orina. En contraparte, el exceso de fósforo disminuye la densidad del cascarón, producción y calidad de huevo (Gordon y Roland, 1997), e incrementa el costo de la dieta.

Por ejemplo, se han hecho estudios en lo que se han encontrado diferencias en la calidad del cascarón, dependiendo del momento en el que se les suministró el Ca. A las gallinas a las que se les suministró Ca a las 8:00 a.m. no mantuvieron el peso del cascarón de los huevos que produjeron, mientras que el peso del cascarón de los huevos producidos por las gallinas que recibieron Ca a partir de las 4:00 p.m. no se redujo (Lennards y Roland 1981).

5.5 Necesidades nutrimentales en gallinas de postura

La gallina de postura ajusta el consumo de alimento de acuerdo con el nivel de energía de la dieta (Leeson y Summers, 2005). No obstante, este ajuste es parcial y es que en la primera parte del período de postura pueden utilizarse dietas con alto contenido energético para cumplir con las necesidades de crecimiento y para promover un peso más alto y precoz de los huevos sin el riesgo

de sobrealimentarlas y tener "gallinas con sobrepeso" (Pérez-Bonilla, 2013). Sin embargo, la necesidad de energía de la gallina disminuye a medida que se establece la producción de huevo.

Para minimizar la deposición de grasa se puede suministrar una dieta con menos energía cuando se forma el cascarón, ya que las aves podrán aumentar el consumo de alimento posteriormente (Joly, 2004).

Es importante recalcar que la deposición de proteína, el principal componente de la albúmina y la yema, tiene lugar durante las horas de la mañana (Keshavarz, 1998), por lo tanto, las necesidades de este nutrimento están en función al proceso de formación del huevo.

Con respecto a las necesidades de Ca, una gallina ponedora necesita aproximadamente 2.2 g de Ca por cada huevo que pone. Dos tercios de este mineral pueden suministrarse directamente a través de la dieta y un tercio mediante la movilización de calcio del hueso, que se forma por el estrógeno cuando el ave entra en postura (Bouvarel *et al.*, 2011).

El Ca derivado del hueso es necesario durante las etapas finales de la formación del cascarón, ya que esto ocurre durante la noche cuando el ave no se alimenta. El hueso medular en comparación con el hueso estructural, tiene la capacidad de experimentar una rápida absorción y renovación (Whitehead, 2004).

En relación a las necesidades de P, se ha encontrado que la reducción de P dietético durante la tarde tiene un efecto positivo sobre la calidad del cascarón (Roland y Harms, 1973). Además, se ha demostrado (Holcombe *et al.*, 1976) que cuando a las gallinas se les dio la opción de consumir dietas altas o bajas en P, el consumo de P fue mayor durante la mañana (06:00 a 14:00 h) que durante la tarde y la noche (14:00 a 20:00 h).

El mayor requerimiento de P en la mañana es necesario para sustituir los minerales óseos que fueron reabsorbidos durante la noche cuando ocurre la formación del cascarón (Clunies *et al.*, 1992a, b; Gunaratne y Boorman, 1996).

En relación a los componentes de la dieta, Lesson y Summers (2005), sugieren los siguientes consumos diarios de nutrimentos en condiciones ideales de ambiente y manejo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Necesidades diarias nutrimentales en gallinas de postura.

		Edad (semanas)			
		18-32	32-45	45-60	60-70
Proteína	(g)	20	18.5	17.5	16
Energía metabolizable	(kcal)	260	290	285	280
Calcio	(g)	4	4.2	4.4	4.6
Fósforo	(mg)	550	450	380	330
Metionina	(mg)	500	430	390	340
Lisina	(mg)	950	840	780	730

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se cumplió con la Guía de Cuidado y Uso de Animales de Experimentación aprobada por el Consejo Académico General del Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, México (2001).

6.1 Localización y tratamientos experimentales

El experimento se realizó en el área experimental de gallinas en postura del Colegio de Postgraduados, *campus* Montecillo, Estado de México, México, ubicado a 2247 m de altitud (Vázquez y Pérez, 2000). Se emplearon 160 gallinas de la línea comercial Bovans White de 52 semanas de edad, con dietas a base de sorgo-pasta de soya (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición de las dietas experimentales convencional y diferenciadas.

Ingrediente %	DCL	DDF	
		Mañana	Tarde
Sorgo (8% PC)	64.12	65.45	63.74
Pasta de soya (46% PC)	22.29	21.71	20.72
Gluten de maíz (60% PC)	--	5.35	--
Aceite crudo	1.09	0.78	--
DL-Metionina	0.37	0.25	--
L-Lisina	0.05	0.01	--
L-Treonina	0.07	0	--
Carbonato de calcio fino [†]	5.23	2.46	7.37
Carbonato de calcio grueso [‡]	5.23	2.46	7.37
Fosfato dicálcico [§]	0.76	0.72	--
Premezcla de vitaminas y minerales ^p	0.30	0.30	0.30
Pigmento	0.15	0.15	0.15
Cloruro de sodio	0.35	0.35	0.35
Costo de la dieta (USD) ^m	0.27	0.28	0.23
Composición nutrimental calculada (%)			
Energía (kcal/kg)	2750	2950	2600
Proteína cruda	16.50	19.50	15.50
Calcio	4.00	2.00	5.37
Fósforo disponible	0.30	0.30	0.16
Lisina	0.77	0.77	0.68
Metionina+cistina	0.78	0.78	0.40
Triptofano	0.19	0.20	0.18
Treonina	0.60	0.61	0.50

DCL = Dieta convencional, DDF = Dietas diferenciadas.

[†] Contiene 36 % de calcio molido a malla 1 mm. [‡] 36 % de calcio con malla de 5 mm. [§] Contiene 19 % de Calcio y 21 % de fósforo; ^p aporta por kg de alimento: vitamina A, 9000 UI; vitamina D3, 2500 UI; vitamina E, 20 UI; vitamina K, 3.0 mg; vitamina B2, 8.0 mg; vitamina B12, 0.015 mg; Ac. pantoténico, 10 mg; niacina, 40 mg; Ac. fólico, 0.5 mg; colina, 300 mg; biotina, 0.055 mg; tiamina, 2.0 mg; hierro, 65.0 mg; zinc, 100 mg; manganeso, 100 mg; cobre, 9.0 mg; selenio, 0.3 mg; yodo, 0.9 mg; ^mEquivalente al tipo de cambio del dólar estadounidense en México (20.33 pesos), consultado el 05 de junio de 2018: <http://www.anterior.banxico.org.mx/portal-mercado-cambiarior/>

Las dietas satisfacían las necesidades nutrimentales de gallinas en postura (NRC, 1994). Las aves se sometieron a dos sistemas de alimentación, con dieta convencional (DCL) y dietas diferenciadas

(DDF). La DCL consistió en suministrar la misma dieta en la mañana (DM) y en la tarde (DT): 2750 kcal/kg de energía metabolizable (EM), 16.5 % de proteína cruda (PC), 4.0 % de calcio (Ca) y 0.3 % de fósforo disponible (PD). En las DDF, se ofreció una DM con un contenido de: 2950 kcal/kg de EM, 19.5 % de PC, 2.0 % de Ca y 0.3 % de PD, y la DT con: 2600 kcal/kg de EM, 15.5 % de PC, 5.38 de Ca % y 0.16 % de PD. Cada sistema de alimentación se asignó aleatoriamente a 160 gallinas en total, con 10 unidades experimentales, de ocho gallinas cada una. Se colocaron dos gallinas por jaula (45 × 30 × 60 cm), con comederos lineales y un bebedero de copa automático. El diseño experimental fue completamente al azar. El programa de alimentación fue 16.5 h de luz y 7.5 h de oscuridad. El agua y el alimento se ofrecieron *ad libitum*. El experimento duró 24 semanas, con dos semanas de adaptación a las dietas experimentales.

6.2 Consumo de alimento y nutrientes

El consumo de alimento (CDA) se calculó por diferencia entre el alimento ofrecido y sobrante. La DM se ofreció de las 7:00 a las 13:45 h y la DT de las 14:00 a 7:00 h. El alimento sobrante en la mañana y la tarde siempre se retiró antes de ofrecer la dieta correspondiente. El consumo de nutrientes se calculó en base al CDA y el contenido nutricional determinado en cada una de las dietas.

6.3 Comportamiento productivo

El peso de huevo (PH), porcentaje de postura (PP), masa de huevo (MH) y conversión alimenticia (CA) se midieron diariamente de la semana 52 de edad hasta finalizar el período experimental (76 semanas de edad).

Los huevos se pesaron con una balanza electrónica (Modelo L-EQ-5/10, Torrey, México). La MH se calculó mediante la siguiente fórmula: (porcentaje de postura \times peso de huevo)/100).

6.4 Digestibilidad total aparente de nutrimentos

La digestibilidad total aparente se determinó a las 60, 68 y 76 semanas de edad de las gallinas. Para cada período se seleccionaron al azar 30 aves de cada tratamiento (15 jaulas, dos aves por jaula). Se utilizó dióxido de titanio (TiO_2) como marcador no digerible con 3 g/kg de inclusión en las dietas experimentales durante ocho días, con cinco días de adaptación a la dieta y tres de recolección de excretas (Myers *et al.*, 2004).

Las excretas se recolectaron cada tres horas durante las 16.5 h de luz. Se colocó una bandeja de plástico debajo de la jaula. Cuando finalizó el período de recolección, las excretas se homogeneizaron y se depositaron en una bolsa de polietileno para acidificarse hasta $\text{pH} < 5$ con H_2SO_4 al 5% v/v para evitar pérdida de nitrógeno, las excretas fueron congeladas y liofilizadas para su posterior análisis en laboratorio.

6.5 Calidad física de huevo

En las semanas 60, 68 y 76 de edad de las aves, se seleccionaron aleatoriamente 40 huevos de cada tratamiento para evaluar: peso del huevo (PHC), altura de albúmina (AA), unidades Haugh (UH), y peso de cascarón (PCAS) utilizando el equipo Egg Multi Tester (QCM System, Technical Services and Supplies, Dunnington, Reino Unido). Para medir el grosor de cascarón (GC) se extrajeron las membranas internas del huevo y se realizaron tres mediciones (polo superior, medio e inferior), con un tornillo micrométrico marca Mitutoyo.

6.6 Cálculos y análisis estadístico

El porcentaje de TiO_2 , se cuantificó en el alimento y las excretas (Myers *et al.*, 2004). Los contenidos de nitrógeno (N), Ca y P se determinaron en el alimento y excretas (AOAC, 1990). La energía se determinó mediante un calorímetro isoperibólico (N° 1266, Parr instruments, Moline, IL).

Para el cálculo de la DTA de los nutrimentos se empleó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de DTA del nutrimento} = 100 - \left(100 \times \frac{\% TiO_2 \text{ en el alimento}}{\% TiO_2 \text{ en las excretas}} \times \frac{\% \text{ del nutrimento en excretas}}{\% \text{ del nutrimento en el alimento}} \right)$$

Las variables de CDA, consumo de nutrimentos, comportamiento productivo y calidad de huevo fueron analizadas mediante el procedimiento lineal generalizado (GLM), como un diseño completamente al azar (SAS, 2014). Los datos de la DTA de nutrimentos se analizaron con el procedimiento MIXED (SAS, 2014), con un arreglo factorial de tratamientos (3×2). Las medias de los tratamientos fueron comparadas con la prueba de Tukey, con una significancia de $P \leq 0.05$ (Steel y Torrie, 1980).

El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij} \quad i = 1, 2 \quad j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$$

Donde:

Y_{ij} = Variables respuesta en tratamiento i , repetición j .

i = número de tratamientos j = número de repeticiones.

μ = media general.

T_i = efecto del i -ésimo tratamiento.

ε_{ij} = error aleatorio; $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$

Los datos relacionados con digestibilidad total aparente de nutrimentos, se analizaron usando el procedimiento MIXED (SAS, 2014), bajo un arreglo factorial de tratamientos (3×2), como un diseño completamente al azar.

Las medias de los tratamientos fueron comparadas con la prueba de Tukey ajustada, con una significancia de $P \leq 0.05$ (Steel y Torrie, 1980), en todas las variables estudiadas.

VII. RESULTADOS

7.1 Consumo de alimento y nutrimentos

El consumo de alimento (CDA), así como el consumo de EMA, Ca y P total de las gallinas que recibieron DDF fueron menores con respecto a las gallinas que recibieron DCL ($P < 0.05$; Cuadro 3), mientras que el consumo de PC fue similar en los dos grupos de gallinas.

Cuadro 3. Consumo diario nutrimental de gallinas en postura de 52 a 76 semanas de edad con dieta convencional y diferenciadas.

Nutrimento	DCL	DDF	EE	P- valor
CDA (g/d/ave)	101.00a	98.7b	0.490	0.0009
EMA (kcal)	292.27a	269.77b	2.964	≤ 0.0001
Ca (g)	4.69a	4.38b	0.048	≤ 0.0001
P (g)	0.46a	0.35b	0.004	≤ 0.0001
PC (g)	19.40	19.22	0.202	0.5238

Letras distintas dentro de una misma hilera indican diferencia significativa ($P < 0.05$). EE=Error estándar. DCL: dieta convencional, DDF: dietas diferenciadas, EMA: energía metabolizable aparente, PC: proteína cruda, Ca: calcio, P: fósforo.

7.2 Comportamiento productivo

El PH (Cuadro 4) fue mayor en gallinas que recibieron DCL ($P < 0.05$). No hubo diferencias significativas en el PP, MH y CA por efecto del sistema de alimentación.

Cuadro 4. Comportamiento productivo promedio de gallinas en postura de 52 a 76 semanas de edad, con dieta convencional y diferenciadas.

Variable productiva	DCL	DDF	EE	P- valor
PH (g)	60.57a	59.06b	0.253	≤0.0001
PP (%)	91.38	91.73	0.627	0.6857
MH (g)	54.77	54.11	0.472	0.3182
CA (g/g)	1.85	1.84	0.018	0.6769

Letras distintas dentro de una misma hilera indican diferencia significativa ($P < 0.05$). EE=Error estándar. DCL: dieta convencional, DDF: dietas diferenciadas, PHC: peso de huevo, PP: porcentaje de postura, MH: masa de huevo CA: conversión alimenticia.

7.3 Digestibilidad total aparente de nutrimentos

La digestibilidad de N fue afectada significativamente por una interacción del sistema de alimentación × edad ($P < 0.001$; Figura 8). Ésta variable fue mayor en las aves con DDF a las tres edades evaluadas ($P < 0.05$).

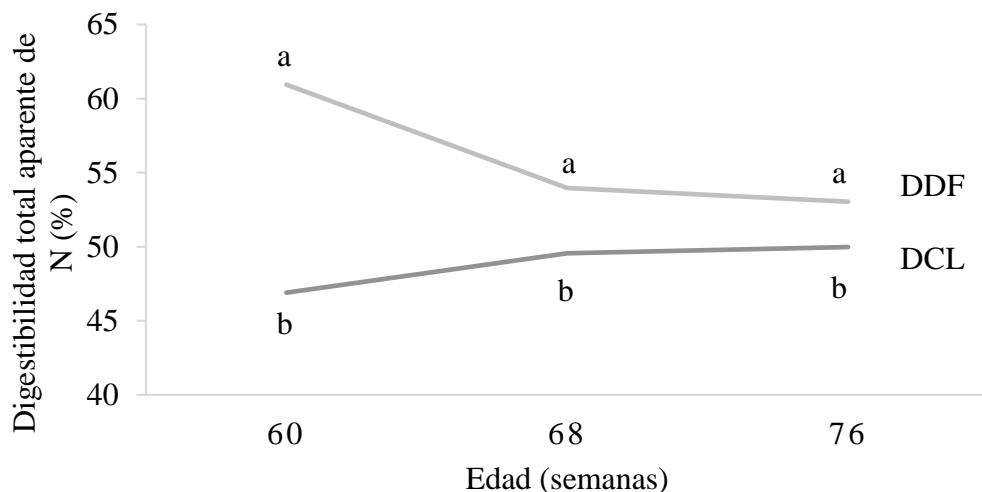


Figura 8. Digestibilidad total aparente de N (%).

Digestibilidad total aparente de N (%) en gallinas de 60 a 76 semanas de edad. DCL=Dieta convencional, DDF=Dietas diferenciadas. Letras distintas en líneas diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

La interacción sistema de alimentación \times edad fue significativa ($P < 0.001$) para la digestibilidad total aparente de Ca (Figura 9). A las 60 semanas de edad de las gallinas, los valores para esta variable fueron mayores con la DCL ($P < 0.05$). Sin embargo, no hubo diferencia significativa a las 68 y 76 semanas de edad ($P > 0.05$).

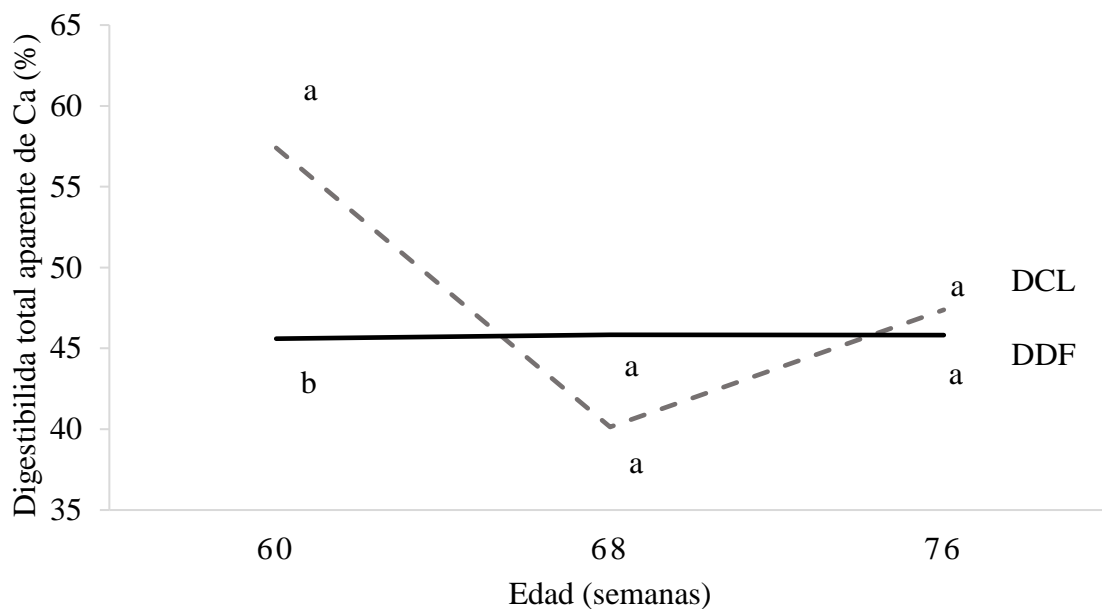


Figura 9. Digestibilidad total aparente de Ca (%).

Digestibilidad aparente de Ca (%) en gallinas de 60 a 76 semanas de edad. DCL=Dieta convencional, DDF=Dietas diferenciadas. Letras distintas en líneas diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

En relación a la digestibilidad aparente de energía y fósforo (P), no se observó efecto de interacción. En las gallinas que recibieron DDF se encontraron valores más altos de digestibilidad de energía total y P ($P < 0.05$) con respecto a las que recibieron la DCL (Cuadro 5).

Cuadro 5. Digestibilidad aparente de energía y fósforo en gallinas de 60 a 76 semanas de edad con dieta convencional y dietas diferenciadas.

Digestibilidad total aparente del nutrimento	DCL	DDF	EE	P-valor
Energía total (%)	79.35b	81.53a	1.1386	≤ 0.0001
Fósforo (%)	41.33b	50.93a	1.2860	≤ 0.0001

Letras distintas dentro de una hilera sin superíndice común son diferentes significativamente ($P < 0.05$). EE= Error estándar. DCL: dieta convencional, DDF: dietas diferenciadas.

7.4 Calidad física de huevo

El GC fue menor en los huevos provenientes de gallinas que recibieron DDF ($P < 0.05$). No obstante, las UH fueron mayores en este mismo grupo de gallinas ($P < 0.05$). No hubo diferencia significativa entre sistemas de alimentación en el PHC, AA y PCAS (Cuadro 6).

Cuadro 6. Calidad física de huevo en gallinas de 60 a 76 semanas de edad, sometidas a dieta convencional y a dietas diferenciadas.

Variable de calidad física	DCL	DDF	EE	P-valor
GC	0.37a	0.35b	0.0033	≤ 0.0001
UH	85.65b	87.83a	0.7173	0.0445
PHC	60.51	60.71	0.5611	0.8068
AA	7.49	7.81	0.1177	0.058
PCAS	6.51	6.32	0.0787	0.0864

Letras distintas dentro de una misma hilera indican diferencia significativa ($P < 0.05$).

EE= Error estándar. DCL: dieta convencional, DDF: dietas diferenciadas, GC: grosor de cascarón, UH: unidades Hauhg, PHC: peso de huevo, AA: altura de albúmina, PCAS: peso de cascarón.

VIII. DISCUSIÓN

En este estudio, las gallinas con DDF tuvieron menor: CDA, EMA, Ca y P, con respecto a las que recibieron DCL, consecuentemente estas aves tuvieron PH menor sin afectar el PP, MH y CA, Además, el consumo de PC tampoco fue diferente por efecto de la DCL o DDF. Este comportamiento podría deberse a que la DM de las DDF contenía niveles mayores de EM y PC, los cuales cubrieron las necesidades de estos nutrimentos para la síntesis de albúmina y la formación de la membrana del cascarón en las primeras 5 a 6 h del día (Hiramoto *et al.*, 1990); aunado a que el consumo de energía y proteína está relacionado con la actividad fisiológica, porque la gallina ovula aproximadamente 30 minutos después de la oviposición del huevo anterior, lo que demanda mayor cantidad de EM y PC en esta etapa (Mongin y Sauveur, 1974). En tanto, el mayor nivel de Ca contenido en la DT, pudo satisfacer las necesidades del ave cuando la absorción y el requerimiento para la formación del cascarón son mayores (Lee y Ohh, 2002), lo cual se explica porque a medida que el huevo en proceso de formación ingresa al útero, la necesidad de Ca aumenta (Hiramoto *et al.*, 1990). Es interesante observar que aunque en este estudio el PH fue menor con las DDF, la MH no fue diferente entre los sistemas de alimentación, indicando entonces un incremento en la eficiencia en la digestión porque no se afectó el PP (Umar *et al.*, 2010).

Los resultados coinciden con el estudio de Lee y Ohh (2002) en el que proporcionaron mayor cantidad de proteína y energía en la mañana (18 %, 3040 kcal) y niveles menores en la tarde (13.7 %, 2320 kcal o 12.3 %, 2080 kcal) en comparación a una dieta testigo (16.5 %, 2800 kcal), con el mismo efecto de la alimentación secuencial sobre el consumo de alimento y el rendimiento en el porcentaje de postura, esto pudiera deberse a que las gallinas ajustan el consumo de alimento, siendo mayor por la tarde, ya que de acuerdo a Keshavarz (1998), el Ca se requiere en mayores

cantidades para la formación del cascarón y la absorción de este mineral aumenta (Hurwits y Bar, 1965; Etches, 1987). En esta investigación, el consumo de Ca y P en las gallinas que recibieron DDF, estuvo dentro del nivel requerido (4.3 a 4.6 g / d y 0.35 g / d, respectivamente) (ISA, 2007). En tanto, la mejor utilización de Ca en las gallinas ponedoras ocurre al proporcionar niveles altos por la tarde, la cual está asociada al control de apetito de este mineral por los ciclos de luz-oscuridad y con modulaciones en las últimas horas del día por la calcificación del cascarón (Chah, 1972), mientras que las necesidades de fósforo disponible son mayores durante la mañana en la medida que es altamente requerido para reabsorber calcio y renovar el hueso medular, el cual se utiliza durante la noche para la formación del cascarón (Summers, 1993).

La digestibilidad total aparente del N fue mayor en las aves que recibieron las DDF en las tres edades a las que se evaluó esta variable, en tanto la digestibilidad aparente del Ca fue similar en los mismos y coincidió con la de las gallinas con la DCL en las 68 y 76 semanas de edad, probablemente debido a que las aves con DDF tuvieron mejor adaptación a éstas dietas. Adicionalmente, la digestibilidad de la energía y del P fue mayor en este grupo de aves, y podría ser el motivo del menor CDA durante el experimento, ocasionando mayor eficiencia en la utilización de estos nutrimentos, específicamente de N (Lichovnikocva, 2007) y por tanto mayor utilización de este cuando se forma la albúmina, y la concentración de ARNm aumenta para la síntesis proteínica (Muramatsu *et al.*, 1991). Desafortunadamente, hasta donde sabemos no existen reportes de la digestibilidad de los nutrimentos y su interacción con la edad de las gallinas, por lo que es imperante seguir investigando en ésta área.

En el presente estudio, la digestibilidad aparente de Ca fue similar en los tres períodos evaluados, lo que podría deberse al menor consumo de éste durante el experimento. Los datos relacionados

con la digestibilidad aparente de energía y P, pueden estar relacionados con el aumento en la capacidad para digerir los nutrientes con CDA, EMA y P menores.

La mayor digestibilidad aparente de P con las DDF en este estudio, podría estar asociada a la función del P, debido a que las necesidades de fósforo disponible son mayores durante la mañana en la medida que este es altamente requerido en la reabsorción de Ca para remodelar el tejido óseo medular (De Vries *et al.*, 2010), logrando mayor eficiencia en la utilización de este nutriente, para el momento en el que las aves lo requerían y podría resultar en un efecto positivo en los costos de producción y en relación a la digestibilidad del P, menor contaminación ambiental, por la cantidad de P excretado (De los Mozos *et al.*, 2012).

Las UH de los huevos provenientes de gallinas con DCL, fueron menores que las de las gallinas con DDF, esta diferencia pudo deberse al PH mayor de las gallinas que se sometieron a DCL durante el experimento. No obstante, en el PHC, AA, PCAS no se encontró efecto por sistema de alimentación, contrariamente, estas aves tuvieron GC menor. Con base en la fórmula de las UH, éstas tienen relación negativa con el PH (Wu *et al.*, 2007), lo que concuerda con este estudio.

La digestibilidad del Ca permaneció constante en los dos últimos períodos evaluados, lo que pudo haber influido en el menor GC de los huevos provenientes de gallinas con DDF y en su habilidad para incrementar la utilización y absorción del Ca y satisfacer las necesidades para la formación del cascarón, por lo tanto, disminuir la cantidad de Ca en la mañana y aumentarla por la tarde no aumentó el GC. En contraste, estudios previos informaron que la reducción del nivel de Ca en la mañana (0.5 %) y el aumento del nivel en la tarde (9.5 o 12.5 %) incrementó el GC y por consecuencia se observó resistencia a la rotura en comparación con un nivel de Ca constante de 3.5% en la dieta (Waldroup y Hellwig, 2000).

Aunado a lo anterior, se investigó el efecto de proporcionar la mayor parte del Ca en la tarde, pero no se encontró aumento en la calidad del cascarón en comparación con una dieta convencional, en la que el nivel de Ca fue constante (Keshavarz, 1998; De los Mozos, 2012).

IX. CONCLUSIÓN Y SUGERENCIAS

La alimentación con dietas diferenciadas en gallinas de postura es una buena alternativa, con la cual es posible disminuir el consumo de alimento y aumentar las unidades Haugh, así como incrementar valores de digestibilidad total de nitrógeno, energía y fósforo.

Es necesario desarrollar más investigaciones al respecto, evaluando diferentes niveles de Ca en las dietas diferenciadas que pudieran mejorar la calidad del cascarón.

X. LITERATURA CITADA

- AEB. 2013. Nutrient Composition, Available. <http://www.aeb.org/food-manufacturers/egg-nutrition-andtrends/nutrient-composition>
- AOAC. Official methods of analysis. 15th ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists. 1990.
- Angel RC. Research update: age changes in digestibility of nutrients in ostriches and nutrients profiles status of the hen and chick. 16° Proceedings of the Association of Avian Veterinarians; 1993. pp 275-81.
- Asencio, EA. 2009. Fisiología Aviar. Universidad de Lleida. Lleida, España. p. 18.
- Bar A. Calcium transport in strongly calcifying laying birds: Mechanisms and regulation. *Comp Biochem Physiol Part A* 2009;152:447-469.
- Blair R, Dewar WA, Downer, JN. Egg production responses of hens given a complete mash or unground grain together with concentrate pellets. *Br Poult Sci* 1973;14:373-377.
- Bolukbasi SC, Çelebi S, Utlu N. The effects of calcium and vitamin D in diet on plasma calcium and phosphorus, eggshell calcium, and phosphorus levels of laying hens in late laying production period. *Int J Poult Sci* 2005;4:600-603.
- Boorman KN, Gunaratne SP. Dietary phosphorus supply, egg-shell deposition and plasma inorganic phosphorus in laying hens. *Br Poult Sci* 2001;42:81-91.
- Bouvarel I, Nys Y, Lescoat P. Hen nutrition for sustained egg quality. In: Nys, Y., Bain, M. & Vanimmerseel, F. (Eds) *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products*, Vol

- 1: Egg Chemistry, Production and Consumption, (Cambridge, Woodhead Publishing Ltd.).
2011:261-290.
- Chah CC. A study of the hens nutrient intake as it relates to egg formation. MSc. Thesis, Univ. Guelph, Canada. 1972.
- Cherry JA, Siegel PB. Selection for body weight at eight weeks of age: 15. Feed passage and intestinal size of normal and dwarf chicks. *Poult Sci* 1978;57:336-40.
- Choi JH, Namkung H, Paik IK. 2004. Feed consumption pattern of laying hens in relation to time of oviposition. *Asian-australas. J Anim Sci* 2004;17:371-373.
- Clunies M, Parks D, Leeson S. Calcium and Phosphorus Metabolism and Eggshell Formation of Hens Fed Different Amounts of Calcium. *Poult Sci* 1994;71:482-489.
- Clunies M, Parks D, Leeson S. Calcium and phosphorus metabolism and eggshell formation of hens fed different amounts of calcium. *Poult Sci* 1992a;71:482-489.
- Clunies M, Parks D, Leeson S. Calcium and phosphorus metabolism and eggshell thickness in laying hens producing thick or thin shells. *Poult Sci* 1992b;71:490-498.
- Correa HJ. Ritmos circadianos en el metabolismo del calcio en aves de postura. *Rev Fac Nac de Agr Medellín* 1999;52; 643-656.
- De Los Mozos JT, Del Alamo AG, Van GT, Sacranie A, De Ayala PP. Oviposition feeding compared to normal feeding: effect on performance and eggshell quality. *Proc. of 23 rd Aust. Poult Sci Symp. Sydney, Australia* 2012:180-183.

- De Vries S, Kwakkel RP, Dijkstra J. Dynamics of calcium and phosphorus metabolism in laying hens, in: Phosphorus and Calcium Utilization and Requirements in Farm Animals. D. M. S. S. Vitti and E. Kebreab, ed. CAB International, Wallingford, UK. 2010. pp: 133-150.
- Etches RJ. Reproduction in poultry. CBA International. London, UK. 2000:195-235.
- Etches RJ. Reproduction In Poultry. Wallingford: CAB International.; 1996.
- Etches, RJ. Calcium Logistics in the Laying Hen. The J of Nut 1987. 117:3; 619-28.
- Gilbert AB. Female genital organs. In A.S. King & J. Mc Lelland (eds.). Form and function in birds. New York: Academic Press.; 1979.
- Gordon RW, DA Roland Sr. Performance of commercial laying hens fed various phosphorus levels, with and without supplemental phytase. Poult Sci 1997;76:1172–1177.
- Gunaratne SP, Boorman BM. Egg-shell deposition and blood plasma inorganic phosphorus concentration in individual laying hens. Br Poult Sci. 1996;37:213-222.
- Hiramoto K, Muramatsu T, Okumura J. Protein synthesis in tissues and in the whole body of laying hens during egg formation. Poult Sci 1990;69:264-269.
- Holcombe DJ, DA Roland Sr, Harms RH. The ability of hens to regulate phosphorus intake when offered diets containing different levels of phosphorus. Poult Sci 1976;55:308-17.
- Hurwitz S, Bar A. Absorption of calcium and phosphorus along the gastrointestinal tract of the laying fowl as influenced by dietary calcium and egg shell formation. The J Of Nutr 1965;86:433-438.
- Instituto del huevo. Estructura del huevo. http://www.institutohuevo.com/estructura_huevo/
Consultado el 03 de Octubre de 2018.

ISA. 2007. Nutrition Management Guide. ISA Hendrix Genetics, Saint Brieuc, France.

Johnson AL, Whittow GC. Reproduction in the female. Sturkie's Avian Physiology (Fifth Edition). San Diego, Academic Press. 2000.

Johnson AL, Woods DC. Ovarian dynamics and follicle development. In: Jamieson, B.G.M. Ed. Reproductive Biology and Phylogeny of Aves. Science Publishers Inc. 2007. Cap. 6 pp. 243-277.

Joly P. 2004. Niveaux énergétiques des aliments pour poudeuses: influence sur les performances et l'ingéré (France, Revue technique de l'ISA).

Kebreab E, France J, Kwakkel RP, Leeson S, Darmani Kuhi H, Dijkstra J. 2009. Development and evaluation of a dynamic model of calcium and phosphorus flows in layers. Poult Sci 2009;88:680-689.

Keshavarz K. Investigation on the possibility of reducing protein, phosphorus, and calcium requirements of laying hens by manipulation of time of access to these nutrients. Poult Sci 1998;77:1320-1332.

Kovacs-Nolan J, Phillips M, Mine Y. Advances in the value of eggs and egg components for human health. J Agric Food Chem 2005;53:8421-8431.

Kumagai T, Ishibashi T. The rate of accumulation of egg albumin in laying hens. Japan Poult Sci 1984;21:245-251.

Lee KH, Ohh YS. Effects of nutrient levels and feeding regimen of a.m. and p.m. diets on laying hen performances and feed cost. Korean J Poult Sci 2002;29:195-204.

- Leeson S, Summers JD. 1997 Commercial Poultry Production. 2nd. Edition. University Books, Guelph. Ontario Canada.
- Leeson S, Summers JD. Commercial poultry nutrition. 3rd ed. Ontario, Canada: University books; 2005.
- Leeson S, Summers, JD. Voluntary Food Restriction by Laying Hens Mediated through Dietary Self Selection, Br Poultry Sci 1978;19:417-424.
- Lennards RM, DA Roland Sr. The influence of time of dietary calcium intake on shell quality. Poultry Science 1981;60:2106-2113.
- Lewis, AJ. Amino acids in swine nutrition. 2nd Ed. CRC Press. USA. 2001:131.
- Lichovnikocva M. The effect of dietary calcium source, concentration and particle size on calcium retention, eggshell quality and overall calcium requirement in laying hens. British Poultry Sci 2007;48:71-75.
- Mendoza RYY, Arana CJJ, Sangerman-Jarquín DM, Molina GJN. El mercado de huevo en México: tendencia hacia la diferenciación en su consumo. Rev Mex Cienc Agríc 2016;7:1455-1466.
- Mercado cambiario, tipo de cambio, Banco de México. Accedido en Junio de 2018. <http://www.anterior.banxico.org.mx/portal-mercado-cambiario/>
- Molnár A, Hamelin C, Delezie E, Nys Y. Sequential and choice feeding in laying hens: adapting nutrient supply to requirements during the egg formation cycle. World's Poultry Sci J 2018;74:199-210.

- Mongin P, Sauveur B. Voluntary food and calcium intake by the laying hen. *Br Poult Sci* 1974;15:349-359.
- Muramatsu, T.; Hiramoto, K.; Okumura, J., 1991: Changes in ovalbumin and protein synthesis in vivo in the magnum of laying hens during the egg formation cycle. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology* 1991;99:141-146.
- Myers WD, Ludden PA, Nayigihugu V, Hess BW. Technical note: a procedure for the preparation and quantitative analysis of samples for titanium dioxide. *J. Anim. Sci* 2004;82:17-183.
- NRC (National Research Council). *Nutritional Requirements of Poultry*. 9th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC. 1994.
- Nys Y, Guyot N. Egg formation and chemistry. In *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products: Egg Chemistry, Production and Consumption* 2011. pp. 83-132.
- Nys Y, Molnar A, Hamelin C. Alimentación secuencial y de elección de las ponedoras, ¿hasta cuánto ayuda para adaptarse al ciclo de puesta? En: *21 st Symp. Of Poultry Nutrition*. Salou/Villa-seca. 2017:32-38.
- Oliveira, PMA. *Alimentação dos animais monogástricos: suínos, coelhos e aves*. 2. ed. São Paulo: Roca; 1999. 245p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO). *La cadena de valor del sector avícola*. <http://www.fao.org/poultry-production-products/socio-economic-aspects/es/>
Consultado el 03 de Octubre de 2018.
- Parsons AH. Structure of the eggshell. *Poult Sci* 1982;61:2013-2021.

- Pérez BA. Influencia de factores nutricionales y de manejo sobre la productividad y la calidad de huevo en gallinas ponedoras. En: Congreso Científico de Avicultura. Llena. Simposio WPSA-AECA. 2013.
- Roberts, JR. Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens. *The Journal of Poultry Science* 2004;41;161-177.
- Roland DA Sr, Harms RH. Calcium metabolism in the laying hen. 5. Effect of various sources and size of calcium carbonate on shell quality. *Poult Sci* 1973;55;369-372.
- Robinson, D. Performance of laying hens as affected by split time and split time composition dietary regimens using ground and unground cereals. *Br Poult Sci* 1985;26;299-309.
- Romanoff AL, Romanoff AJ. *The avian egg*. The avian egg.; 1949.
- Romero, H. Alimentación de alta precisión en ponedoras comerciales: Split Feeding. Congreso Latinoamericano de Avicultura XXIV. 2015. Trouw nutrition.
- Rose SP, Kyriazakis I. Diet selection of pigs and poultry. *Proc Nutr Soc* 1991;50:87-98.
- Saito N, Shimada K, Koike TI. Ovarian prostaglandin and arginine vasotocin in relation to oviposition. In Sharp, P. J. (Ed.) *Avian Endocrinology*, Bristol: Society for Endocrinology.; 1993.
- SAS Institute. Inc. 2014. SAS/ETS® 9.3 User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC. 2861 p.
- Sauveur B, De Reviens MD. *Reproduction and Egg Production in Poultry [Reproduction des Volailles et Production d'œufs]* (Paris, INRA).; 1988.
- Scanes CG, Campbell R, Griminger P. Control of energy balance during egg production in the laying hen. *J Nutr* 1987;117;605-611.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Acciones y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp

Consultado el 02 de Septiembre de 2018.

Steel RGD, Torrie JH. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. 2nd ed. New York, USA: McGraw-Hill Book Co.; 1980.

Summers JD. Reducing nitrogen excretion of the laying hen by feeding lower crude protein diets. *Poult Sci* 1993;72:1473-1478.

Tullet, SG. Egg shell formation and quality. In : Wells, R.G. and BEYAVIN, C.G. Egg quality : Current problems and recent advances. 1987. Poultry Science Symposium No. 20. England: Butterworths.

Umar-Faruk M, Bouvarel I, Mème N, Rideau N, Roffidal L, Tukur HM, Bastianelli D, Nys Y, Lescoat P. Sequential feeding using whole wheat and a separate protein mineral concentrate improved feed efficiency in laying hens. *Poult Sci* 2010;89:785-796.

Unión Nacional de Avicultores (UNA). 2018. Compendio de Indicadores Económicos del Sector Avícola. 172 p.

Uremovic Z, Uremovic M, Lukovic Z, Katalinic I. Effect of feeding and housing system in fattening pigs on environmental pollution. *Agronomski-Glasnik* 2001;63:215-231.

Van de Velde JP, Vermeiden, JP, Touw JJ, Veldhuijzen, JP. Changes in activity of chicken medullary bone cell populations in relation to the egg-laying cycle., *Metabolic Bone Disease & Related Research* 1984;5: 191-193.

Vázquez GJ, Pérez PR. Valores gasométricos estimados para las principales poblaciones y sitios de mayor altitud en México. Rev. Inst. Nal. Enf Resp Mex 2000; 13:6-13.

Waldroup PW, Hellwig H. The potential value of morning and afternoon feeds for laying hens. J Appl Poult Res 2000;9:98-110.

Whitehead, CC. Overview of bone biology in the egg-laying hen. Poult Sci 2004;83:193-199.

Wu G, Bryant MM, Gunawardana P, Roland Sr DA. Effect of nutrient density on performance, egg components, egg solid, egg quality, and profits in Eight commercial Leghorn Strains during phase one. Poult Sci 2007;86:691-697.