



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS Y FORESTALES**

**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN
CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*)
EN LA DIETA DE GALLINAS PLYMOUTH ROCK BARRADA
SOBRE EL CONTENIDO DE COLESTEROL EN HUEVO**

MVZ. MARICRUZ CALDERÓN GONZÁLEZ

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO. MARZO DE 2017



**INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS
Y FORESTALES**



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS Y FORESTALES**

**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN
CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**EFFECTO DE LA ADICION DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*)
EN LA DIETA DE GALLINAS PLYMOUTH ROCK BARRADA
SOBRE EL CONTENIDO DE COLESTEROL EN HUEVO**

TESIS

QUE PRESENTA:

MVZ. MARICRUZ CALDERÓN GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESIS

**DR. EN BIOTECNOLOGÍA MICROBIANA.
AURELIANO JUAREZ CARATACHEA**

CO- DIRECTORA DE TESIS

DRA. EN CIENCIAS BIOLÓGICAS.

ROSA ELENA PÉREZ SÁNCHEZ

ASESORES

**DRA. ERNESTINA GUTIERREZ VÁZQUEZ
DR. HÉCTOR EDUARDO MARTÍNEZ FLORES
MC. RUY ORTIZ RODRÍGUEZ**

MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO. MARZO DE 2017



**INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS
Y FORESTALES**



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas

DRA. LILIANA MÁRQUEZ BENAVIDES
COORDINADORA GENERAL DEL PROGRAMA INSTITUCIONAL DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
P R E S E N T E

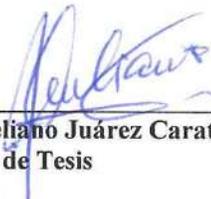
Por este conducto nos permitimos comunicarle que después de haber revisado el manuscrito final de la Tesis Titulada: “Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la dieta de gallinas Plymouth Rock Barrada sobre el contenido de colesterol en huevo” presentado por la MVZ. Maricruz Calderón González, consideramos que reúne los requisitos suficientes para ser publicado y defendido en Examen de Grado de Maestra en Ciencias.

Sin otro particular por el momento, reiteramos a usted un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

Morelia, Michoacán, a 02 de marzo de 2017

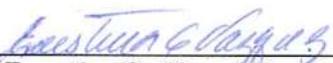
MIEMBROS DE LA COMISIÓN REVISORA



Dr. Aureliano Juárez Caratachea
Director de Tesis



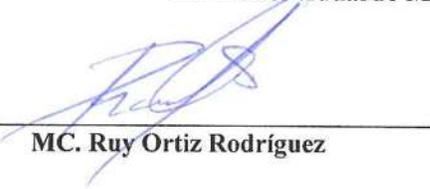
Dra. Rosa Elena Pérez Sánchez
Co directora



Dra. Ernestina Gutiérrez Vázquez



Dr. Héctor Eduardo Martínez Flores



MC. Ruy Ortiz Rodríguez

Dedicatoria

A mis padres Cristóbal Calderón Ruiz y Elsa González Camacho

A mis hermanos Cristóbal, Carolina, José Luis, Carmina y Francisco

A mis abuelos Esperanza y Rodolfo

Gracias por todo.

“No pienses que lo que se te dificulta es humanamente imposible; y si es humanamente posible, considéralo a tu alcance”

-MARCO AURELIO

AGRADECIMIENTOS

Hago externo mi agradecimiento a las instituciones que de forma directa fueron parte fundamental para la realización de este trabajo de tesis, entre ellas:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico para la realización de mis estudios de posgrado.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por el apoyo brindado al facilitar sus instalaciones para el desarrollo experimental del trabajo de investigación.

Al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF) por haber brindado la oportunidad de continuar con mi preparación profesional.

Y sobre todo un agradecimiento muy especial, al cuerpo tutorial que me acompañó durante el proceso y desarrollo del trabajo de investigación:

Al Dr. Aureliano Juárez Caratachea por brindarme su confianza y por aceptarme como su alumna de maestría.

A la Dra. Rosa Elena Pérez Sánchez por sus consejos, su apoyo y contribución para realizar el trabajo de investigación.

A la Dra. Ernestina Gutiérrez Vázquez por sus comentarios y aportaciones para enriquecer este trabajo.

Al Dr. Héctor Eduardo Martínez Flores por su orientación y apoyo brindado como asesor de ésta tesis.

Al MC. Ruy Ortiz Rodríguez por todo su apoyo, paciencia, contribución y sobre todo por su enseñanza realizada a lo largo de éste proceso.

ÍNDICE	Pág.
Resumen general	i
General abstract	iii
Introducción general	1
Hipótesis general	8
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
Metodología general	10
Bibliografía	15
Resultados:	
Capítulo I. El efecto de la adición de nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>) a la dieta de gallinas Rhode Island Red sobre calidad de huevo con énfasis en el nivel colesterol	
Resumen	19
Introducción	20
Materiales y métodos	21
Resultados	24
Discusión	28
Conclusión	33
Bibliografía	34
Capítulo II. Efecto de la adición de nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>) en la dieta de gallinas de postura sobre colesterol en huevo e indicadores productivos	
Resumen	38
Introducción	39
Materiales y métodos	40
Resultados y Discusión	43
Conclusión	47
Bibliografía	47

Capítulo III. Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la dieta de gallinas productoras de huevo fértil sobre colesterol e incubabilidad del huevo

Resumen	50
Introducción	51
Materiales y métodos	52
Resultados y Discusión	56
Conclusión	60
Bibliografía	60

Capítulo IV. Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la dieta de gallinas productoras de huevo fértil sobre viabilidad del pollito

Resumen	63
Introducción	64
Materiales y métodos	66
Resultados y Discusión	68
Conclusión	71
Bibliografía	71
Discusión general	73
Conclusión general	79
Bibliografía	80

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	Pág.
CAPÍTULO I	
Tabla 1. Análisis bromatológico de la dieta del grupo control y grupo experimental	21
Tabla 2. Características morfológicas y bromatológicas de los cladodios de <i>O. ficus-indica</i> del tercer nivel	22
Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados para los niveles de glucosa sanguínea (mg dL ⁻¹) de acuerdo a la interacción Grupo*periodo	25
Figura 1. Glucosa sanguínea (mg dL ⁻¹) semana ⁻¹ en gallinas Rhode Island Red de acuerdo al Grupo*periodo*Semana	25
Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados de consumo de alimento diario de las gallinas de acuerdo al grupo	26
Tabla 5. Medias de mínimos cuadrados para el contenido de colesterol total mg g ⁻¹ yema ⁻¹ de huevo de las gallinas de acuerdo al grupo	27
Tabla 6. Medias de mínimos cuadrados para la calidad de huevo de las gallinas de acuerdo al grupo	28
CAPÍTULO II	
Tabla 1. Análisis bromatológico del alimento suministrado a las gallinas del grupo control y experimental	41
Tabla 2. Características morfológicas y bromatológicas de los cladodios de <i>O. ficus-indica</i> del tercer nivel	42
Tabla 3. Consumo de alimento diario de las gallinas durante el periodo experimental de acuerdo al tratamiento	43

Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados para peso vivo de las gallinas al inicio y final del periodo experimental de acuerdo al grupo 44

Tabla 5. Medias de mínimos cuadrados para colesterol en huevo mg g^{-1} yema⁻¹ de acuerdo al grupo experimental 45

Tabla 6. Medias de mínimos cuadrados para indicadores productivos en las gallinas de acuerdo al grupo 46

CAPÍTULO III

Tabla 1. Análisis bromatológico de la dieta de grupo control y experimental 53

Tabla 2. Características morfológicas y bromatológicas de los cladodios de *O. ficus-indica* del tercer nivel 54

Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados para indicadores de incubación y colesterol en huevo mg g^{-1} yema⁻¹ de acuerdo al grupo 56

Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados para los pesos de los pollitos en el periodo de ayuno de acuerdo al grupo 57

CAPÍTULO IV

Tabla 1. Análisis bromatológico de dieta de grupo control y experimental 67

Tabla 2. Características morfológicas y bromatológicas de los cladodios de *O. ficus-indica* del tercer nivel 67

Tabla 3. Porcentaje de los indicadores que conforman el índice de calidad de pollito de acuerdo al grupo 69

RESUMEN GENERAL

Los objetivos de la presente investigación fueron: determinar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) en la dieta de gallinas de postura sobre el contenido de colesterol, producción y calidad de huevo, así como, sobre los indicadores de incubación de huevo fértil y la viabilidad del pollito en las primeras 48 h de vida. De acuerdo con estos objetivos, el presente trabajo de investigación se presenta por capítulos: **Capítulo I**, en éste se utilizaron doce gallinas Rhode Island Red de 40 semanas de edad, con las cuales se formaron dos grupos (G): $G_{Control}$ (n=6) alimentadas únicamente con alimento comercial[®] y $G_{Experimental}$ (n=6), grupo al cual se suministró alimento comercial[®] más 24 g de nopal en base fresca (BF) gallina⁻¹ día⁻¹. Durante la fase experimental (10 semanas) las gallinas fueron confinadas en jaulas individuales. En ésta etapa, se evaluó: nivel de glucosa sanguínea (NGS), porcentaje de postura (PP), calidad y colesterol total en huevo (CTH) y la información recabada fue analizada a través de la metodología de modelos lineales generalizados y las diferencias entre grupos se obtuvieron mediante medias de mínimos cuadrados. Se encontró efecto de grupo sobre NGS post-prandial ($P < 0.0001$): 197.9 ± 16.2 mg dL⁻¹ para $G_{Control}$ y 188.5 ± 16.5 mg dL⁻¹ en $G_{Experimental}$. El CTH fue mayor ($P < 0.05$) en $G_{Experimental}$ (336.7 ± 47.9 mg huevo⁻¹). La calidad del huevo fue mejor en $G_{Experimental}$ (92.6 ± 5.1 UH). El PP fue mayor ($P < 0.05$) en $G_{Experimental}$: 95.1 ± 2.6 vs $86.6 \pm 7.7\%$ en $G_{Control}$. En el **Capítulo II**, se utilizaron catorce gallinas Plymouth Rock Barradas de 40 semanas de edad, divididas en grupos (n=7) similares a los del Capítulo I. Así mismo, se evaluó: consumo de alimento, peso vivo, colesterol total en huevo (CTH), peso de huevo (PH) y porcentaje de postura (PP). La información recabada, se analizó estadísticamente a través de la metodología de modelos lineales generalizados y las diferencias entre grupos se obtuvieron a través de medias de mínimos cuadrados. Se encontró, que el CTH fue mayor ($P < 0.05$) en $G_{Experimental}$ (322.0 ± 65.6 mg huevo⁻¹) en comparación con el $G_{Control}$ (262.7 ± 44.7 mg huevo⁻¹). El PH fue mayor ($P < 0.05$) en $G_{Control}$ (60.5 ± 3.3 g). El PP fue de 86.8 ± 9.6 y $92.4 \pm 6.2\%$, para $G_{Control}$ y $G_{Experimental}$ respectivamente, ambos promedios diferentes entre sí ($P < 0.05$). Para el **Capítulo III**, se dio seguimiento a las gallinas del Capítulo II, en lo referente a los indicadores de incubación y la viabilidad del pollito. Se evaluó: porcentaje de fertilidad (%F) e incubabilidad (%I). En los pollitos nacidos se midió triglicéridos, NGS y, pérdida de peso corporal (PPC) al

término del ayuno de 0, 12, 24 y 48 h. La información obtenida en los indicadores de triglicéridos, NGS, %F y %I fue analizada a través de los modelos lineales generalizados y, para la información referente al peso corporal de los pollitos se utilizó el método de mediciones repetidas y, las diferencias entre grupos se obtuvieron a través de medias de mínimos cuadrados. No se encontró efecto de grupo ($P > 0.05$) sobre %F, %I, y triglicéridos. Se encontró diferencia en NGS entre grupos ($P < 0.05$): 137.5 ± 22.1 y 163.0 ± 21.3 mg dL⁻¹, para G_{Control} y G_{Experimental} respectivamente. La PPC fue mayor ($P < 0.05$): 8.2 ± 1.4 g en los pollitos procedentes de gallinas del G_{Control}. En el **Capítulo IV**, continuación del Capítulo III, se evaluó la calidad de pollito en base a: cierre del ombligo, deshidratación, peso corporal, apariencia, patas y dedos, cloaca, ojos, abdomen, mortalidad e índice de calidad. Los datos obtenidos se analizaron mediante la metodología de modelos categóricos y las diferencias entre grupos se obtuvieron por medio de X^2 . Se encontró que los indicadores de calidad del pollito fueron mayores ($P < 0.05$) en G_{Experimental} con respecto a G_{Control}: 85.3 vs 70.3% (ombligo bien cerrado), 68.7 vs 55.6% (peso corporal superior a 42 g), 91.0 vs 79.6% (patas y dedos normales), 75.4 vs 56.1% (abdomen reducido), lo cual dio como resultado un índice de calidad total de 186.0 vs 175.9% (índice de calidad) para G_{Experimental} y G_{Control}, respectivamente. De acuerdo con los resultados encontrados en los cuatro capítulos de la investigación, la adición de 24 g de *O. ficus-indica* BF día⁻¹, a la dieta de las gallinas de postura, provoca efectos hipoglucémico e hipercolesterolemico en las aves lo que genera mayor depósito de colesterol en huevo, en respuesta a la disminución de compuestos lipídicos en la dieta. No obstante, ésta dieta mejora otros indicadores productivos en las aves, tales como: incremento en la producción y calidad de huevo y, en los pollitos provenientes de huevos -con mayor contenido de colesterol- presentan mayor índice de calidad y sus niveles de energía (glucosa y triglicéridos) son más altos lo que asegura menor pérdida de peso corporal en ayunos de hasta 48 h. Aspectos que podrían ser atractivos para la industria de la incubación.

Palabras clave: *Opuntia* spp, calidad de huevo, homeostasis, metabolismo energético.

GENERAL ABSTRACT

The objectives of the investigation were to determine the effect of the addition of nopal (*O. ficus-indica*) on laying hens diet on cholesterol content, egg production and quality, egg incubation indicators fertile and viability of the chick within the first 48 hours of life. The present work is distributed in chapters: **Chapter I**, twelve Rhode Island Red hens of 40 weeks of age were used, with which two groups (G) were formed: G_{Control} (n=6) feed only commercial food and $G_{\text{Experimental}}$ (n=6) food, to which commercial feed plus 24 grams nopal on fresh basis (FB) $\text{hen}^{-1} \text{day}^{-1}$ was supplied. During the experimental phase (10 weeks) the hens were confined in individual cages. At this stage, total blood glucose (TBG), percentage of posture (PP), quality and total cholesterol in egg (TCE) were evaluated and the information collected was analyzed through the generalized linear models methodology and the differences between groups were obtained by least squares means. Group effect on post-prandial TBG ($P < 0.0001$) was found: $197.9 \pm 16.2 \text{ mg dL}^{-1}$ for G_{Control} and $188.5 \pm 16.5 \text{ mg dL}^{-1}$ in $G_{\text{Experimental}}$. The TCE was higher ($P < 0.05$) in $G_{\text{Experimental}}$ ($336.7 \pm 47.9 \text{ mg egg}^{-1}$). The quality of the egg was better in $G_{\text{Experimental}}$ ($92.6 \pm 5.1 \text{ HU}$). The PP was greater ($P < 0.05$) in $G_{\text{Experimental}}$: 95.1 ± 2.6 vs $86.6 \pm 7.7\%$ in G_{Control} . In **Chapter II**, fourteen Plymouth Rock Barradas hens of 40 weeks of age were divided into groups (n=7) similar to those in Chapter I. Likewise, we evaluated: feed intake, live weight, total cholesterol in egg (TCE), egg weight (EW) and percentage of posture (PP). The information collected was statistically analyzed through the methodology of generalized linear models and the differences between groups were obtained through least squares means. It was found that the TCE was higher ($P < 0.05$) in $G_{\text{Experimental}}$ ($322.0 \pm 65.6 \text{ mg egg}^{-1}$) compared to G_{Control} ($262.7 \pm 44.7 \text{ mg egg}^{-1}$). The EW was higher ($P < 0.05$) in G_{Control} ($60.5 \pm 3.3 \text{ g}$). The PP was 86.8 ± 9.6 and $92.4 \pm 6.2\%$, for G_{Control} and $G_{\text{Experimental}}$ respectively, both different averages from each other ($P < 0.05$). For **Chapter III**, the hens of Chapter II were followed in terms of incubation indicators and chick viability. It was evaluated: percentage of fertility (PF) and hatchability (PH). In the born chicks, triglycerides, TBC and body weight loss (BWL) were measured at the end of the fast of 0, 12, 24 and 48 hours. The information obtained in the triglycerides, TBC, PF and PH indicators was analyzed through the generalized linear models and, for the information referring to the body weight of the chicks, the method of repeated measurements was used and the differences between groups Were obtained through least

squares means. No group effect ($P > 0.05$) was found on PF, PH, and triglycerides. Differences in TBC were found between groups ($P < 0.05$): 137.5 ± 22.1 and 163.0 ± 21.3 mg dL⁻¹, respectively for G_{Control} and G_{Experimental}. The BWL was higher ($P < 0.05$): 8.2 ± 1.4 g in the chickens from G_{Control} hens. In **Chapter IV**, continuation of Chapter III, chick quality was evaluated based on: navel closure, dehydration, body weight, appearance, legs and toes, sewer, eyes, abdomen, mortality and quality index. The obtained data were analyzed using the methodology of categorical models and the differences between groups were obtained by means of X^2 . It was found that the quality of the chick was higher ($P < 0.05$) in G_{Experimental} compared to G_{Control}: 85.3 vs 70.3% (navel well closed), 68.7 vs 55.6% (body weight greater than 42 g), 91.0 vs 79.6% (Normal legs and toes), 75.4 vs 56.1% (reduced abdomen), which resulted in a total quality index of 186.0 vs 175.9% (quality index) for G_{Experimental} and G_{Control}, respectively. According to the observed, the addition of 24 grams of *O. ficus-indica* FB dia⁻¹, to the diet of laying hens, causes hypoglycemic and hypercholesterolemic effects in chickens which generates greater deposit of cholesterol in egg, in response the decrease of lipid compounds in the diet. However, this diet improves other productive indicators in chickens, such as: increased egg production and egg quality and, in chicks from eggs -with higher cholesterol content- they present a higher quality index and their energy levels (Glucose and triglycerides) are higher which ensures less loss of body weight in fasts of up to 48 h. Aspects that could be attractive to the hatchery industry.

Key words: *Opuntia* spp, egg quality, homeostasis, energy metabolism.

INTRODUCCIÓN GENERAL

La creciente demanda de productos pecuarios y los cambios tecnológicos han ocasionado amplias transformaciones en los sistemas de producción y han afectado, de forma radical, la estructura de las partes más avanzadas del sector de la producción, tanto en los países desarrollados como en áreas del mundo en desarrollo (FAO, 2009a; Hernández y Padilla, 2015). A escala mundial, gran parte de la respuesta ante el aumento de la demanda pecuaria se ha realizado a través de la producción industrializada, ante esto, las grandes unidades de producción tienen una ventaja en comparación con las unidades más pequeñas a la hora de avanzar hacia un mercado comercial mundial globalizado (FAO, 2009b). En este sentido, la avicultura no se encuentra exenta, la dinámica de la producción nacional del huevo, al igual que la demanda, mantienen un crecimiento constante (Torre *et al.*, 2008).

Con respecto, a la demanda de huevo para plato, este producto se quintuplicó desde la década de 1960 (FAO, 2009). Y en la actualidad (2016) el consumo per cápita de huevo en México fue próximo a los 23 kg; cifra que lo ubica como el primer país a nivel mundial en consumo de huevo fresco y, sexto lugar en cuanto a producción (118 millones de piezas anualmente) (UNA, 2016). Este elevado consumo se debe, en parte, al incremento en la demanda por proteína animal (Hernández y Padilla, 2015). Sin embargo, la principal razón por la cual el huevo presenta tanta demanda en el país, se debe a que se considera una fuente de proteína animal de bajo costo (Mendoza *et al.*, 2016); su precio representa aproximadamente la mitad de un kilogramo de carne de pollo (Torre *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2013). Además, es uno de los alimentos más completos, por la variedad de nutrimentos que contiene, entre ellos: aminoácidos esenciales (Barroeta, 2002), proteínas, lípidos, hidratos de carbono y vitaminas (Torre *et al.*, 2008).

Quintana (2012), refiere que el huevo es un alimento recomendable para una dieta variada y equilibrada para el hombre. Puesto que su contenido energético es de 75 kcal en un huevo de 60 g, contribuye con el 4% del total de las kilocalorías diarias (considerando una dieta de 2000 kcal diarias). La proteína es aproximadamente de 6 g huevo⁻¹; repartidos entre la yema y la clara principalmente (Millward, 2004). Contiene 11% de fracción grasa, misma que proviene exclusivamente de la yema y dentro de este porcentaje los triglicéridos representan el 66%, los fosfolípidos el 28% y el de colesterol 5% (Codony, 2002). Finalmente el contenido de ácidos grasos en huevo se distribuye en: 3% de ácidos grasos saturados (palmítico y esteárico), 4% son ácidos grasos monoinsaturados (oleico) y un 2% son poliinsaturados (Codony, 2002).

Una de las desventajas del huevo de gallina dentro de la alimentación humana es su contenido de colesterol, el cual en promedio es de 385 mg/100 g de huevo entero o de aproximadamente 210 mg en un huevo de 60 g; cantidad que se encuentra depositada en la yema (Quintana, 2011). Aunque se sabe que al consumir un huevo la cantidad de colesterol del presente actúa en el organismo como precursor de ácidos biliares, hormonas sexuales y algunas vitaminas. No obstante, el organismo dispone de dos fuentes de colesterol: la endógena (sintetizándolo) y en este caso el que procede del huevo (exógena). No obstante, el colesterol exógeno puede provenir de otras fuentes de origen animal (Ros, 2015). En este sentido y el temor de los consumidores al colesterol contenido en el huevo, se debe tomar en cuenta que, éste compuesto graso se incrementa al combinar diferentes productos de origen animal al momento de formar la dieta para el consumo humano (Rodríguez y Simón, 2008). Sin embargo, el huevo por si solo se ha posicionado dentro de los alimentos con mayor nivel de este compuesto (Farjas, 2003).

Para el sector salud, el consumo en exceso de colesterol, grasas y sodio, aunados a un sedentarismo contribuyen al aumento en la incidencia de las enfermedades cardiovasculares como arteriosclerosis, enfermedad coronaria, hipertensión y obesidad (FAO, 2009). En este sentido, éstas enfermedades cardiovasculares constituyen un problema de salud pública (Socarrás y Bolet, 2010). Lo que inevitablemente, ha orillado a las autoridades en el sector salud a asociar estos padecimientos al consumo de huevo principalmente (Cornejo *et al.*, 2008). Por lo que, se recomienda, para los pacientes con enfermedad cardiovascular, una dieta baja en grasas saturadas, colesterol y ácidos grasos *trans* (Socarrás y Bolet, 2010).

De acuerdo con el párrafo anterior, el exceso de colesterol en sangre es la principal consecuencia en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares (Socarrás y Bolet, 2010). No obstante, el colesterol es un componente fundamental de las membranas celulares; además, de ser el precursor de sales biliares, necesarias en la digestión de las grasas, hormonas sexuales (testosterona y progesterona) y hormonas corticoides implicadas en una diversidad de funciones fisiológicas (Cachofeiro, 2009). Sin embargo, un incremento excesivo de sus niveles puede ser perjudicial para la salud (Socarrás y Bolet, 2010).

A partir de los años setenta, se generó la creencia de que el colesterol en la dieta causaba un incremento de colesterol en la sangre y la principal recomendación se enfocó en la reducción del consumo de huevo (Mendoza *et al.*, 2016). Criterio que ha permanecido en los últimos 40 años y, permeando en la cultura de la población una baja en el consumo de huevo (Oriondo *et al.*, 2013). Si no se quiere padecer una enfermedad coronaria. Sin embargo, los actuales especialistas en enfermedades cardiovasculares continúan con la controversia del efecto del colesterol del huevo en dichas enfermedades. Así por ejemplo, Rodríguez en el (2008) y Oriondo en el (2013), determinaron que la relación que puede existir entre el consumo de huevo y la

probabilidad de desarrollar padecimientos coronarios agudos, se ha convertido en una opción de investigación en la Medicina actual.

A pesar de que, los resultados referentes al rol del colesterol en huevo y su influencia en la dieta son poco concluyentes, el porcentaje significativo de la población hipercolesterolemica, es la razón que hace validos los esfuerzos para disminuir el contenido de colesterol en huevo (Rodríguez, 2000). Aunado a ello, la tendencia anti colesterol y demonización hacia los alimentos que contienen elevado contenido de colesterol y evitar el consumo de éstos alimentos (principalmente el huevo), conllevó al inicio del uso de estrategias en la alimentación de gallinas de postura para disminuir el contenido de colesterol en huevo (Ros, 2015); mismas que, se centraron en la modificación de las dietas y en la selección genética de las aves. Puesto que, el colesterol en huevo varía dependiendo de la constitución genética de las gallinas (Elkin, 2006).

La selección genética para la reducción de colesterol en huevo no ha sido tan exitosa debido a la pobre contribución en la reducción de este compuesto graso en el huevo para plato. Además de que el decremento de colesterol se relaciona con una disminución en la productividad de las gallinas (menor cantidad de huevos por ciclo) (Ramesh *et al.*, 2009). Esta disminución de la productividad de las gallinas provocado por la selección hacia la reducción de colesterol en huevo, se debe principalmente a que una menor deposición de colesterol afecta la síntesis y liberación de las hormonas sexuales (Cachofeiro 2009). Por lo que, se incrementó el uso de estrategias nutricionales para reducir la concentración de colesterol en huevo (Ramesh *et al.*, 2009).

Además de las estrategias nutricionales, el uso de compuestos farmacológicos así como de compuestos naturales se investigan con la finalidad de reducir el contenido de colesterol en el huevo (Elkin, 2006). Entre los agentes farmacológicos se encuentra la lovastatina, mevastatina,

simvastatina y atorvastatina, mismas que han demostrado reducir el contenido de colesterol en huevo (Olgun *et al.*, 2013). Principalmente estos compuestos farmacológicos se catalogan como agentes inhibidores de la 3-hidroxi3-metilglutaril-coenzima A reductasa; enzima reguladora de la biosíntesis del colesterol en hígado en el humano (Kim *et al.*, 2004; Olgun *et al.*, 2013).

Para el caso de la reducción de colesterol en huevo provocado por la adición de compuestos naturales en la dieta de las gallinas, Rodríguez (2000), observó que la inclusión del 45% de amaranto y alga marina en la dieta de estas aves, reduce 12 y 24% el contenido de colesterol respectivamente. Mesut *et al.* (2009) encontraron una disminución de casi 35% de colesterol en huevo adicionando 2% de polvo de ajo en la dieta de las gallinas. Carrillo *et al.* (2012), obtuvieron reducción en el colesterol del 26% cuando adicionaron de 8% de algas marinas. Para estos investigadores los compuestos del alga marina interfieren en la síntesis endógena del colesterol y provocan una competencia entre el colesterol y los ácidos grasos en los sitios de absorción en el intestino delgado.

Martínez *et al.* (2012) establecen que, la solución para disminuir el colesterol en huevo se debe centrar en la incorporación de alimentos funcionales en la dieta de las aves. Puesto que estos son ricos en fitoesteroles, fibra dietética y ácidos grasos esenciales y además, aportan, ácidos grasos omega 3 y Omega 6. Esta solución se sustenta en la observación de que una disminución en la absorción de lípidos, provoca un mecanismo de homeostasis en las aves: ante la disminución de lípidos en la dieta el organismo incrementa la síntesis de colesterol endógeno provocando mayor depósito de lípidos en huevo (Yin *et al.*, 2008). Este mecanismo homeostático debe considerarse al momento de investigar las diferentes alternativas en la reducción del colesterol en huevo; puesto que por un lado el organismo intentara compensar la

deficiencia de lípidos incrementando el colesterol en huevo y por el otro la disminución de lípidos en la dieta provocará una menor síntesis de hormonas sexuales afectando la producción de huevo (Osorio y Flórez, 2011; Carrillo *et al.*, 2012).

Idowu *et al.* (2006) determinaron que la manipulación en la dieta de gallinas ponedoras permite modificar de forma efectiva el perfil nutricional de los huevos, dejando como posibilidad el enriquecimiento de los micronutrientes y la reducción de contenido de colesterol en el huevo a través de la manipulación del contenido de fibra dietética en el alimento de las gallinas. Bajo este contexto, el nopal forrajero es una planta muy atractiva como alimento por su contenido de fibra, así como, principalmente por su alta eficiencia al convertir agua en biomasa, resistencia a sequías y por su contenido de energía digestible (Gutiérrez *et al.*, 2007).

Opuntia spp. representa un recurso alimenticio importante por su capacidad de producción de cladodios. Los rangos de materia seca oscilan entre 10 y 14%, proteína bruta de 4-6.4%, fibra detergente neutra del 25-35%, fibra detergente ácido 17-23%, carbohidratos totales de 75-87%, carbohidratos no fibrosos 50-61% (Cavalcante y Carvalho, 2007). Además, ésta cactácea se caracteriza principalmente por presentar alrededor de 5% de proteína, una elevada concentración de carbohidratos solubles y calcio (Medina *et al.*, 2006). No obstante, el bajo contenido de proteína del nopal, recientemente ha incrementado el interés por el posible papel de *O. ficus indica* sobre el control de la obesidad puesto que posee efecto hipocolesterolemico (Bisson *et al.*, 2010; Butterweck *et al.*, 2011; Onakpoya *et al.*, 2015).

Algunos reportes indican que en individuos con dislipidemia y sobrepeso, la administración oral de 3 g de *O. ficus indica* día⁻¹ en base seca, mejora significativamente su perfil lipídico, así como una tendencia a mejorar la sensibilidad a la insulina y reducir los valores de glucosa y presión arterial (Muñoz *et al.*, 2014). Este mismo efecto, se ha reportado en ratas sanas y diabéticas

administrando licuado de nopal a una dosis de $4.28 \text{ g kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ por vía intragástrica y *ad libitum*; donde se obtuvo que el licuado de nopal no reguló los niveles de glucosa sanguínea en los animales sanos pero si tuvo un efecto significativo en los animales diabéticos (García *et al.*, 2007).

En otras investigaciones en las cuales se han utilizado especies animales, se ha observado que las dietas complementadas con nopal en bovinos productores de leche incrementa la producción láctea en época de estiaje (Ortiz *et al.*, 2013). En ovinos en engorda el uso del nopal como complemento de la dieta para estos animales produce ganancias diarias de peso similares a dietas administradas a base de granos y subproductos de estos (Méjia *et al.*, 2011). Por otro lado, en caprinos alimentados con dietas complementadas con nopal produce canales (carne) con mayor proporción de ácidos grasos insaturados en especial ácido linoléico (Atti *et al.*, 2006).

De acuerdo con lo expresado en los párrafos de esta introducción, la presente investigación se enfocó en evaluar el efecto de una dieta, para gallinas ponedoras, complementada con *O. ficus-indica* sobre la deposición de colesterol en huevo y su repercusión en la productividad y calidad del huevo, así como, en los indicadores de incubación de huevo fértil y la viabilidad del pollito en las primeras 48 horas de vida. En este sentido, este trabajo de investigación se presenta por capítulos abordando cada una de las variables mencionadas anteriormente.

HIPOTESIS GENERAL

La adición de 24 g de nopal (*O. ficus indica*) a la dieta de gallinas de postura activa el mecanismo homeostático ante el efecto hipocolesterolemico de esta cactácea provocando una mayor productividad de las gallinas (> 20 Piezas de huevo por mes), pero incrementa el contenido de colesterol del huevo (> 210 mg por huevo) lo que repercute en los índices de incubabilidad (> 90 %) y la viabilidad del pollito en las primeras 48 horas de vida (> 180 puntos).

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) en la dieta de gallinas de postura sobre el contenido de colesterol en huevo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- I. Determinar el efecto del nopal sobre el contenido de colesterol en huevo de gallinas de postura alimentadas con nopal y su repercusión en la producción y calidad de huevo.
- II. Establecer el efecto del nopal *O. ficus-indica* sobre consumo de alimento, peso vivo, colesterol total en huevo y producción de huevo.
- III. Determinar el efecto del nopal *O. ficus-indica* sobre colesterol en huevo y porcentaje de fertilidad e incubabilidad.
- IV. Evaluar la adición de *O. ficus-indica* a la dieta de gallinas sobre la viabilidad del pollito.

METODOLOGÍA GENERAL

El trabajo de investigación se realizó en un sistema de producción de gallinas de postura, el cual pertenece al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales en las instalaciones de la FMVZ-UMSNH, se localiza en el km 9.5 de la carretera Morelia Zinapécuaro, municipio de Tarímbaro, Michoacán, México. Metodológicamente la presente investigación se dividió en cuatro capítulos. Mismas que se presentan a continuación:

Capítulo I y II, en estos capítulos se seleccionaron 12 gallinas Rhode Island Red (Capítulo I) y 14 gallinas Plymouth Rock Barradas (Capítulo II). Todas las aves fueron de 40 semanas de edad en promedio. En cada Capítulo, se formaron dos grupos (G): G_{Control} (n=6 Capítulo I; n=7 Capítulo II), grupo que recibió 200 g gallina⁻¹ día⁻¹ de alimento comercial[®] para gallinas de postura y, $G_{\text{Experimental}}$ (n=6 Capítulo I; n=7 Capítulo II), grupo alimentado con 200 g gallina⁻¹ día⁻¹ de alimento comercial[®] para gallinas de postura más 24 g de *O. ficus-indica*, en base fresca (BF), gallina⁻¹ día⁻¹.

Los 200 g día⁻¹ gallina⁻¹ de alimento comercial ofrecido se establecieron para cumplir con el criterio de alimentación *ad libitum*, puesto que el consumo promedio de alimento gallina⁻¹ día⁻¹ es de 120 g (Quintana, 2011). Los 24 g día⁻¹ de nopal adicionados al alimento de las gallinas del $G_{\text{Experimental}}$ fue el equivalente al 20% del consumo gallina⁻¹ día⁻¹ del alimento comercial. El nopal fue ofrecido finamente picado y en base fresca.

En el capítulo I y II, las gallinas de ambos grupos fueron confinadas en jaulas individuales durante el periodo experimental (diez semanas), dichas jaulas poseían comedero lineal (tipo canaleta) y bebederos automáticos individuales. La caseta donde se alojaron a las aves no

permitió el control de la temperatura ambiente ni el control del fotoperiodo (natural con ascenso luminoso en la estación primavera-verano).

En los grupos del Capítulo I, se evaluó: nivel de glucosa en sangre (NGS) pre y post-prandial, consumo de alimento (CA) día⁻¹, peso vivo (PV) al inicio y al final del periodo experimental, peso de huevo (PH), porcentaje de postura (PP), éste se calculó al final del periodo experimental a través del total de huevos puestos ave⁻¹ durante la fase experimental, colesterol total en yema (mg g⁻¹ yema⁻¹) y en huevo completo (mg huevo⁻¹), estos indicadores se midieron en tres huevos ave⁻¹ grupo⁻¹ puestos al final del periodo experimental. La cantidad de colesterol huevo⁻¹ se obtuvo a través del método enzimático colorimétrico de acuerdo a la técnica descrita por Olgun *et al.* (2013). Para obtener la calidad del huevo, se utilizaron los pesos de los siguientes indicadores: huevo, yema, albumen y cascarón; así como, el espesor de cascarón y la pigmentación de la yema y, finalmente, se calcularon las unidades Haugh (UH) huevo⁻¹ a través de la ecuación utilizada por Estrada *et al.* (2010).

La cuantificación de los metabolitos en sangre se realizó bajo la siguiente metodología: para el muestreo de los niveles de glucosa sanguínea (NGS) ave⁻¹, se realizó una punción en la cresta de cada gallina con una lanceta e inmediatamente después se impregnaron de sangre las tiras reactivas y se colocaron en el glucómetro (Accu-chek[®]) para determinar NGS, éste procedimiento se realizó por ave⁻¹ semana⁻¹ grupo⁻¹, previo ayuno de 12 h (pre-prandial) y 1h (post-prandial). Para el caso del Capítulo II, validación de los resultados del Capítulo I, únicamente no se midió NGS, el resto de las variables mencionadas en el Capítulo I se volvieron a medir.

La información recabada en el Capítulo I y II, fue analizada bajo la metodología de modelos lineales generalizados (GLM, siglas en inglés) y las diferencias entre grupos se obtuvieron a

través de la metodología de medias de mínimos cuadrados (Lsmeans, siglas en inglés) (Faraway, 2006).

El Capítulo III, fue el seguimiento del Capítulo II, el cual tuvo como objetivo verificar el efecto del incremento de colesterol en huevo procedente de gallinas alimentadas con 24 g de nopal en BF sobre el porcentaje de fertilidad e incubabilidad de estos huevos, así como, la viabilidad del pollito en las primeras 48 horas de vida. Tanto la conformación de los grupos como la alimentación de las gallinas por grupo no sufrió modificación, éstas permanecieron tal como se planteó en el Capítulo I y II. En éste Capítulo (III) lo único que cambio fue la edad de las gallinas (50 semanas de edad). Las variables que se evaluaron fueron: porcentaje de fertilidad e incubabilidad y, viabilidad del pollito; en ésta última variable, se tomó en cuenta el peso corporal en los pollitos al inicio y al final de 0, 12, 24 y 48 h de ayuno.

Para determinar el porcentaje de fertilidad e incubabilidad de los huevos grupo⁻¹, primeramente se procedió con la identificación de cada gallina grupo⁻¹, puesto que en éste capítulo se requirió subdividir a cada grupo en dos grupos, es decir, del G_{Control} se eligieron cuatro gallinas para confinarlas en una jaula colectiva colocada a nivel del piso, el resto de las gallinas (n=3) que conformaban éste grupo, de igual manera se confinaron en su respectiva jaula colectiva a nivel de piso. De la misma forma se procedió con el G_{Experimental}: subdividirlo en dos grupos y colocar a las gallinas (n=4 o n=3) en sus respectivas jaulas colectivas. En cada una de éstas jaulas se alojó un gallo de la misma raza y edad de las gallinas.

El periodo que convivieron las gallinas con el gallo fue de cinco días, tiempo que se utilizó para asegurar la fertilidad de los huevos a incubar. Durante éste periodo, los machos fueron rotados en las diferentes jaulas con el propósito eliminar el efecto macho sobre la fertilidad. Una vez finalizado el periodo de interacción de las gallinas con los machos, éstas fueron nuevamente

confinadas en jaulas individuales para controlar y tener registro de la postura de cada gallina grupo⁻¹ y proseguir con el monitoreo del consumo de alimento gallina⁻¹ grupo⁻¹.

Iniciada la postura se recolectó y registró el huevo de cada gallina grupo⁻¹ durante un periodo de seis días. El total de huevos recolectados gallina⁻¹ grupo⁻¹ en dicho periodo, fueron desinfectados e incubados durante 21 días; en una incubadora comercial con una capacidad de 270 huevos a una temperatura de 37.5 ± 0.5 °C y humedad de 55 a 60%.

Durante el periodo de incubación, se evaluó: porcentaje de fertilidad, el cual se obtuvo con el total de huevos fértiles grupo⁻¹, así mismo, se calculó el porcentaje de incubabilidad con el total de pollitos eclosionados grupo⁻¹. Al momento de la eclosión, cuando fueron retirados los pollitos de la maquina incubadora, se seleccionaron al azar 25 pollitos grupo⁻¹ y, se les evaluó: glucosa y triglicéridos en sangre, utilizando los equipos Accu-chek® y Accu-trend® Plus respectivamente; la obtención de la muestra sanguínea se realizó conforme indica la NOM-062-ZOO-1999, y la cuantificación se obtuvo inmediatamente, cuando se colocó la muestra extraída sobre la tira reactiva del equipo portátil.

Así mismo, con el total de pollitos nacidos se formaron cuatro grupos (G): G1 (n=44) o control, grupo en el cual se suministró alimento *ad libitum*, mismos que tuvieron 0 horas de ayuno; G2 (n=44) grupo al cual se les restringió el acceso al alimento durante las primeras 12 h (12 h de ayuno); G3 (n=44) grupo sometido a 24 h de ayuno y G4 (n=44) grupo al cual se mantuvo sin alimento durante 48 h (ayuno de 48 h). En cada grupo se registró el peso corporal del pollito al inicio y final de cada periodo de ayuno.

Finalmente, la información recabada se analizó estadísticamente a través de la metodología de modelos lineales generalizados (GLM, siglas en ingles) para los indicadores de la incubación y,

mediciones repetidas (MIXED, siglas en inglés) para los indicadores de peso del pollito de acuerdo al periodo de ayuno. Las diferencias entre grupos, tanto para GLM como para MIXED, se obtuvieron a través de medias de mínimos cuadrados (Lsmeans, siglas en inglés) (Littel *et al.*, 1998; Faraway, 2006).

Capítulo IV, en éste capítulo el objetivo fue evaluar el índice de calidad del pollito. Pero, como fue continuación de la fase experimental del Capítulo III, se utilizó el total de pollitos obtenidos en dicho Capítulo (III) y en donde se aplicó el índice de calidad del pollito; propuesto por Quintana (2011) y, por lo cual, cada pollito grupo⁻¹ se sometió a la inspección, evaluación y clasificación de acuerdo con los siguientes indicadores físicos: cierre del ombligo, deshidratación, peso corporal, apariencia corporal (vitalidad), apariencia de las patas (tonalidad), patas y dedos (conformación), cloaca (aspecto), ojos (apariencia), abdomen (volumen) y mortalidad. Posteriormente, la información recabada fue estadísticamente analizada a través de la metodología de modelos categóricos (CATMOD, siglas en inglés) y mediante el método de X^2 se obtuvieron las diferencias ($\alpha=0.05$) entre grupos (Agresti, 2007).

BIBLIOGRAFÍA

- Atti, N., Mahouachi, M., Rouissi, H. 2006. The effect of spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) supplementation on growth, carcass, meat quality and fatty acid composition of male goats kids. *Meat Science*, 73(2): 229-235.
- Agresti, A. 2007. An Introduction to Categorical Data Analysis. Second edition. Chi-Squared Test of Independence. Wiley Series in Probability and Statistics. Pp. 34-40.
- Barroeta, L.A.C. 2002. Formación del huevo. Lecciones sobre el huevo. Instituto de Estudios del Huevo. Madrid. Pp. 45-56.
- Bisson, J.F., Daubié, S., Hidalgo, S., Guillemet, D., Linarés, E. 2010. Diuretic and antioxidant effects of Cacti-Nea[®] a dehydrated water extract from prickly pear fruit, in rats. *Phytotherapy Research*. 24(4): 587-594.
- Butterweck, V., Semlin, L., Feistel, B., Pischel, I., Bauer, K., Verspohl, E.J. 2011. Comparative evaluation of two different *Opuntia ficus-indica* extracts for blood sugar lowering effects in rats. *Phytotherapy Research*. 25: 370-375.
- Cachofeiro, V. 2009. Alteraciones del colesterol y enfermedad cardiovascular. Libro de la Salud Cardiovascular del Hospital Clínico San Carlos. España. Editorial Fundación BBVA. 131-140.
- Carrillo, S., Bahena, A., Casas, M., Carranco, M.E., Calvo, C.C., Ávila, E., Pérez, G.F. 2012. El alga *Sargassum Spp.* como alternativa para reducir el contenido de colesterol en el huevo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 46(2): 181-186.
- Cavalcante, F.S., Carvalho, C.L. 2007. Palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill.) como alternativa na alimentação se ruminantes. *Revista Electrónica Veterinaria*. 8(5): 1-11.
- Codony, R. 2002. Composición y valor nutritivo del huevo. Lecciones sobre el huevo. Editorial Instituto de Estudios del Huevo. Madrid España.
- Cornejo, S., Hidalgo, H.; Araya, J., Pokniak, J. 2008. Suplementación de dietas de gallinas de postura comercial con aceites de pescado de diferentes grados de refinación. Efectos productivos en las aves y en la calidad organoléptica de los huevos. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 40: 45-50.
- Elkin, G.R., Zhong, Y., Donkin, S.S., Otnad, H.E., Shneider, J.W. 2006. Effects of atorvastatin on lipid metabolism in normolipidemic and hereditary hyperlipidemic, non-laying hens. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 143: 319-329.
- Estrada, M. M., Galeano, F. L., Herrera, R. M., Restrepo, F. L. 2010. Efecto de la temperatura y el volteo durante el almacenamiento sobre la calidad del huevo comercial. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 23: 183-190.
- Eren, M., Uyanik, F. 2007. Influence of dietary boron supplementation on some serum metabolites and egg yolk cholesterol in laying hens. *Acta Veterinaria Hungarica*. 55(1): 29-39.

- Faraway, J.J. 2006. Extending the Linear Model with R Generalized Linear, Mixed Effects and Nonparametric Regression Models. Chapter 6 Generalized Linear Models. Texts in Statistical Science. Pp. 126-148.
- Farjas, A.P. 2003. Sobre los alimentos funcionales. Revista Española Salud Pública. 77: 313-316.
- Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO). 2009a. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Cambios en el sector pecuario [En línea] <http://www.fao.org/docrep/019/i3531s/i3531s.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO). 2009b. Condiciones estructurales, evolución (1990-2000) y perspectivas (2010, 2020, 2030) [En línea] http://www.fao.org/ag/againfo/resources/es/publications/sector_reports/lsr_MEX.pdf
- García, V.G., Olguín, R.A., Ramos, G.M., Rodríguez, G.M.E., Reynoso, C.R. 2007. Efecto antidiabético del cladodio del nopal comercial en ratas sanas y diabéticas. [En línea] [http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2007/.../38_garcia-verdi_y_col.\(b\).pdf](http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2007/.../38_garcia-verdi_y_col.(b).pdf)
- Gutiérrez, O.E., Elías, A., Bernal, H., Morales, H. 2007. Usos alternativos del nopal forrajero. VI Symposium Taller Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noreste de México. Marín, N.L. México. 7 y 8 de Diciembre del 2007. Edición Especial. No. 14.
- Hernández, T.J.M., Padilla, H.R. 2015. Evolución reciente de la producción y consumo de huevo en México. Mundo Siglo XXI, revista del CIECAS – IPN. 37(11): 75-87.
- Idowu, O.M.O., Laniyan, O.A., Kuye, V.O., Oladele, O., Eruvbetine, D. 2006. Effect of copper salts on performance, cholesterol, residues in liver, eggs and excreta of laying hens. Archivos de Zootecnia. 55(212): 327-338.
- Kim, J.H., Hong, S.T., Lee, H.S., Kim, H.J. 2004. Oral administration of pravastatin reduces egg cholesterol but not plasma cholesterol in laying hens. Poultry Science. 83: 1539-1543.
- Littel, R.C., Henry, P.R., Ammerman, C.B. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. Journal Animal Science. 76: 1216-1231.
- Martínez, Y., Valdivié, M., Solano, G., Estarrón, M., Martínez, O., Córdova, J. 2012. Efecto de la harina de semilla de calabaza (*Cucurbita maxima*) en el colesterol total y ácidos grasos de los huevos de gallinas ponedoras. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 46(1): 73-78.
- Medina, R.M., Tirado, E.G., Mejía, H.I., Camarillo, S.I., Cruz, V.C. 2006. Digestibilidad in situ de dietas con harina de nopal deshidratado conteniendo un preparado de enzimas fibrolíticas exógenas. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 41(7): 1173-1177.
- Mejía, H.J., Delgado, H.J.L., Méjia, H.I., Guajardo, H.I. Valencia, P.M. 2011. Efectos de la suplementación con bloques nutricionales a base de nopal fermentado sobre la ganancia de peso de ovinos en crecimiento. Acta Universitaria. 21(1): 11-16.
- Mendoza, R.Y.Y., Brambilia, P.J. J., Arana, C.J.J., Sangerman, J.D.M., Molina, G.J.N. 2016. El mercado de huevo en México: tendencia hacia la diferenciación en su consumo. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 7(6): 1455-1466.

- Mesut, K.S.C., Erdogan, Z., Baylan, M., Kucukgul, A., Duzguner, V., Ozugur, A. 2009. Effect of garlic powder on egg yolk and serum cholesterol and performance of laying hens. *Bull Vet Inst Pulawy* 53: 515-519.
- Millward, D.J. 2004. Macronutrient intakes as determinants of dietary protein and amino acid adequacy. *Journal of Nutrition*. 134: 1588-1596.
- Muñoz, L., Díaz, Y., González, C., Medina, E., Cardona, E. 2014. Efecto de la administración oral de nopal deshidratado sobre perfil de lípidos en individuos con dislipidemia y sobrepeso/obesidad. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 1(1). 149-159
- Olgun, O., Yazgan, O., Cufadar, Y. 2013. Effect of supplementation of different boron and copper levels to layer diets on performance, egg yolk and plasma cholesterol. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 27: 132-136.
- Onakpoya, I.J., Sullivan, J.O., Heneghan, C.J. 2014. The effect of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) on body weight and cardiovascular risk factors: a systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Nutrition*. 1-22.
- Oriundo, G.R.L., Bernui, L.I., Valdivieso, I.L.R., Estrada, M.E. 2013. Relación entre colesterol dietario, consumo de huevo y perfil lipídico en adultos aparentemente sanos, según grupos de edad. *Anales de la Facultad de Medicina*. 74(1): 27-30.
- Ortiz, R.R., Alarcón, V.J.J., García, S.P., Pérez, S.R.E. 2013. Evaluación de la producción de leche en vacas con una dieta complementada con nopal (*Opuntia ficus-indica*) en época de estiaje. *Archivos latinoamericanos de producción animal*. 21(2): 79-82.
- Osorio, H.J., Flórez, D.J. 2011. Diferencias bioquímicas y fisiológicas en el metabolismo de lipoproteínas de aves comerciales. *Biosalud*. 10(1): 88-98.
- Quintana, J. 2012. Calidad del huevo y su relación con su composición de lípidos. II Foro Internacional de Ciencias e Innovación Tecnológica. Colima, Colima, México 26 al 28 de Septiembre del 2012. Pp. 21-26.
- Quintana, L.J.A. 2011. Avitecnia manejo de las aves domésticas más comunes. Editorial Trillas. Cuarta Edición. México. Pp. 191-202.
- Ramesh, A., Manegar, A., Shambulingappa, B.E., Ananda, K.J. 2009. Study of lipid profile and production performance in layers as influenced by herbal preparations abana and garlic paste. *Veterinary World*. 2(11): 426-428.
- Rodríguez, L.G., Vergara, G.R., De Jesús, A.L. 2013. Comportamiento del precio del huevo y su incidencia en la inflación de México 2011-2013. *Revista Trimestral de Análisis de Coyuntura Económica*. 6(2): 29-33.
- Rodríguez, R.H. 2000. Manejo de alternativas alimenticias para aves de postura destinadas a la obtención de huevos con bajo contenido de colesterol. Tesis de Maestría. Universidad de Colima.
- Rodríguez, R.V.M., Simón, M.E. 2008. Bases de la alimentación humana. Editorial NetBiblo. España.

- Ros, E. 2015. El colesterol de la dieta ¿víctima o verdugo?. Revista de la Reial Academia de Medina de Catalunya. 30(3): 99-102.
- Socarrás, S.M.M., Bolet, A.M. 2010. Alimentación saludable y nutrición en las enfermedades cardiovasculares. Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas. 29(3): 353-363.
- Torre, M.M.C., Fonseca, P.M., Quintana, L.J.A. 2008. El huevo mitos realidades y beneficios. Capítulo 5. Aporte nutritivo y beneficios a la salud. Editorial ESDAI. 2da edición. Pp. 35-37.
- Torres, S.A. 2010. Composición química del nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiantes (experiencias de Brasil). IX Simposium- Taller Nacional y II Internacional de Producción del Nopal y Maguey. Edición especial 5: 143-151.
- Unión Nacional de Avicultores UNA. 2016. México celebra el día mundial del huevo. [En línea] URL.<http://www.una.org.mx/index.php/component/content/category/14-comunicados>.
- Yin, J.D. Shang, X.G., Li, D.F., Wang, F.L., Guan, Y.F., Wang, Z.D. 2008. Effects of dietary conjugated linoleic acid on the fatty acid profile and cholesterol content of egg yolks from different breeds of layers. Poultry Science. 87: 284-290.

CAPÍTULO I

EFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) EN LA DIETA DE GALLINAS RHODE ISLAND RED SOBRE CALIDAD DEL HUEVO CON ÉNFASIS EN EL COLESTEROL

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto del nopal (*O. ficus-indica*) adicionado a la dieta de gallinas (*Gallus gallus domesticus*) ponedoras. Para ello, se seleccionaron al azar 12 gallinas Rhode Island Red de 40 semanas de edad, distribuidas aleatoriamente en dos grupos (G): G_{Control} (n=6), grupo el cual recibió alimento comercial *ad libitum* y, $G_{\text{Experimental}}$ (n=6), grupo al cual se le ofreció alimento comercial *ad libitum* más 24 g de nopal en base fresca (BF) $\text{ave}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Las gallinas se confinaron en jaulas individuales durante diez semanas. Se evaluó: consumo de alimento día^{-1} (CA), peso vivo, peso de huevo, producción de huevo, nivel de glucosa en sangre (NGS) pre y post-prandial, colesterol total en yema (CTY) y en huevo completo (CTH). Para calidad de huevo se midió peso de: huevo, yema, albumen y cascarón; además de, espesor de cascarón, pigmentación de yema y unidades Haugh (UH). La información recabada se analizó bajo la metodología de modelos lineales generalizados. No se encontró efecto de Grupo sobre NGS pre-prandial ($P > 0.05$). En contraste, los NSG post-prandial fueron afectados por el Grupo ($P < 0.0001$): 197.9 y 188.5 mg dL^{-1} de glucosa en las gallinas de G_{Control} y $G_{\text{Experimental}}$, respectivamente. El CT en yema fue mayor ($P < 0.05$) en $G_{\text{Experimental}}$ con respecto a G_{Control} : 53.5 y 38.5 mg g^{-1} , respectivamente. Mismo comportamiento se observó para CT en huevo: 336.7 mg en $G_{\text{Experimental}}$ vs 264.6 mg para G_{Control} . El CA fue de 112.6 y 116.8 $\text{g ave}^{-1} \text{ día}^{-1}$ para G_{Control} y $G_{\text{Experimental}}$, respectivamente. El peso de las gallinas al final de periodo experimental fue menor ($P < 0.05$) en $G_{\text{Experimental}}$ (2.063 ± 0.091 kg) respecto a G_{Control} (2.140 ± 0.296 kg). El peso del huevo fue de 62.7 y 61.5 g en G_{Control} y $G_{\text{Experimental}}$, respectivamente. El porcentaje de postura fue mayor ($P < 0.05$) en $G_{\text{Experimental}}$: 95.1 vs 86.6% en G_{Control} . Los huevos de las gallinas del $G_{\text{Experimental}}$ mostraron valores mayores ($P < 0.05$) en espesor del cascarón y UH. La adición de 24 g *O. ficus-indica* a la dieta de las gallinas incrementó el contenido de colesterol total en huevo. Pero, mejoró el porcentaje de postura y calidad del huevo.

Palabras Clave: Alimento no convencional, *O. ficus-indica*, Producción de huevo.

INTRODUCCIÓN

México sustenta el 1er lugar en consumo per cápita de huevo para plato (22.3 kg), pues es la principal fuente de proteína animal para el consumidor nacional (FAO, 2013; Rodríguez *et al.*, 2013); motivo por el cual, la producción de huevo para plato debe garantizar los estándares de calidad para el consumidor final (Aldana, 2014). Este elevado consumo de huevo se debe a: i) cualidades nutricionales, ii) facilidad de conservación y, iii) bajo precio. Sin embargo, entre sus desventajas figura su alto contenido de colesterol (385 mg/100g de huevo entero), mismo que puede ser un riesgo para la salud pública; ya que el consumo de grasas saturadas y parcialmente hidrogenadas tipo *trans*, favorecen hipertensión arterial e hipercolesterolemia que inducen a enfermedades cardiovasculares. Además, el consumo en exceso de colesterol, grasas, sodio y el sedentarismo contribuyen al aumento en la incidencia de arteriosclerosis, enfermedad coronaria, hipertensión y obesidad (Quintana, 2011). De aquí que, se incrementara el interés de los consumidores por productos alimenticios de origen animal con menor riesgo para la salud (Silveira *et al.*, 2003; García *et al.*, 2007; Cornejo *et al.*, 2008; INEGI, 2009).

Se ha establecido que, las fibras solubles dietéticas reducen el colesterol sérico (Páez, 2009). Sin embargo, la utilización de extracto aislado de nopal (*Opuntia fuliginosa*) también disminuye notablemente el colesterol de baja densidad (LDL) en roedores alimentados con dietas altas en colesterol (García *et al.*, 2007). Además, se ha demostrado que el consumo constante de nopal (*Opuntia spp*) reduce los niveles de glucosa y colesterol en la sangre (Zúñiga, 2001). Por lo cual, una alternativa viable y económicamente rentable, para disminuir el colesterol en el huevo de gallina (*Gallus gallus domesticus*), podría ser la adición de nopal a la dieta de gallinas ponedoras. Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la adición de nopal

(*O. ficus-indica*) a la dieta de gallinas Rhode Island Red sobre el contenido de colesterol en huevo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló en las instalaciones del sector avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, se localiza en el km 9.5 de la carretera Morelia Zinapécuaro, municipio de Tarímbaro, Michoacán, México, durante los meses de febrero a junio de 2016. En ésta región el clima es templado sub-húmedo con lluvias en verano y precipitación pluvial anual de 754.8 mm, la temperatura oscila entre 2.5 y 25.1 °C. La altitud es de 1920 msnm (INEGI, 2010).

El estudio se realizó con 12 gallinas Rhode Island Red de 40 semanas de edad, distribuidas aleatoriamente en jaulas individuales en dos grupos (G): G_{Control} (n=6), grupo que recibió alimento[®] (Tabla 1) especial para gallinas de postura *ad libitum*; el G_{Experimental} (n=6) grupo que se sometió a una dieta (alimento comercial) especial para gallinas de postura *ad libitum* misma que se le adicionó 24 g de nopal ave⁻¹ día⁻¹ (Tabla 1). El alimento comercial fue suministrado *ad libitum* y el nopal se ofreció finamente picado y en base fresca (BF) todos los días a las 8:00 am previo retiro y pesaje del alimento sobrante del día anterior (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis bromatológico de dieta de grupo control y experimental

Determinación muestra	Alimento comercial en BS	Alimento comercial + 24g de nopal en BS
Humedad g%	7.0	10.0
Materia seca g%	93.0	90.0
extracto etéreo (grasa) g%	6.88	5.44
Fibra cruda g%	12.56	13.52
Proteína cruda g%	16.76	13.34
Cenizas (minerales) g%	13.51	17.64
E. L. N. (carbohidratos) g%	50.30	53.47

BS=Base seca

La recolección de los cladodios de *O. ficus indica* se realizó en la parcela de la FMVZ y solo se seleccionaron cladodios del tercer nivel (abajo hacia arriba), la edad de dichos cladodios fue aproximadamente de 90 días con las siguientes características morfológicas y bromatológicas (Tabla 2). Se suministraron 200 g de alimento comercial ave⁻¹ día⁻¹ para cumplir el criterio de alimentación propuesto Quintana (2011) estableció que el consumo promedio diario de gallinas de postura es de 120 g. Mientras que los 24 g de nopal en BF suministrado diariamente gallina⁻¹ día⁻¹ representaron el 20% de consumo diario (d⁻¹) alimento comercial calculado ave⁻¹. A ambos grupos se les dio seguimiento durante las diez semanas que duró la fase experimental, previa semana de adaptación a la ingesta de nopal. El fotoperiodo fue natural con ascenso luminoso (estación de primavera-verano), por su proximidad con el solsticio de verano en el mes de junio.

Tabla 2. Características morfológicas y bromatológicas de los cladodios de *O. ficus-indica* del tercer nivel

Variable	Promedio	D.E.
Largo del cladodio (cm)	46.9	4.7
Ancho del cladodio (cm)	15.5	2.6
Peso fresco (kg)	1.1	0.3
Humedad (%)	88.9	3.3
Cenizas (%)	26.5	2.5
Fibra (%)	32.9	1.2
Proteína cruda (%)	5.2	0.8
Grasa (%)	0.5	0.08
E.L.N. (%)	34.6	2.6

Las mediciones de los indicadores productivos fueron: peso vivo inicial y final de las aves, consumo de alimento[®] (CA) ave⁻¹ día⁻¹, nivel de glucosa sanguínea (NGS) pre y post prandial, calidad del huevo: peso del huevo (g), colesterol total en yema (CTY) y en huevo (CTH), peso del cascarón (g); índice de cascarón (%), espesor del cascarón (mm), peso de clara (g) o albumen; peso de yema (g); diámetro de albumen (mm); diámetro de yema (mm), altura de

albumen (mm), altura de yema (mm), pigmentación de la yema y unidades Haugh (UH). Además, porcentaje de postura grupo⁻¹.

El CA se obtuvo por diferencia entre el alimento suministrado y el alimento sobrante del día. El peso de alimento suministrado y el sobrante ave⁻¹ día⁻¹ fueron obtenidos con una báscula digital (Sartorius modelo BL3100) con precisión de ± 0.1. El pesaje de las gallinas al inicio y final de la fase experimental se realizó con una báscula digital (Torrey®) con precisión de ± 0.5 g. Los pesos de: huevo, cascarón, clara y yema se obtuvieron con una báscula digital (Sartorius modelo BL3100) con precisión de ± 0.1. El espesor del cascarón se obtuvo con un micrómetro de mano (Mitutoyo No. 7301) y los diámetros y altura de: albumen y yema se obtuvieron un Vernier. Mientras que para determinar la pigmentación de la yema se utilizó el abanico Roché (Ovocolor BASF D-6700). El porcentaje de postura (PP), índice de cascarón (IC) y las unidades Haugh (UH) se determinaron mediante las siguientes ecuaciones (Estrada *et al.*, 2010):

$$PP = \frac{\text{número de huevos puestos}}{\text{total de días}} \times 100$$

$$IC = \frac{\text{peso de huevo}}{\text{peso de cascarón}} \times 100$$

$$UH = 100 \log (h - 1.7p^{0.37} + 7.6)$$

Donde:

h= altura (mm) de la clara

p= peso del huevo

La cuantificación de los metabolitos se realizó bajo la siguiente metodología: para el muestreo de NGS; se hizo una punción en la cresta de cada gallina con una lanceta e inmediatamente

después las tiras reactivas se impregnaron de sangre y se colocaron en el glucómetro (Accu-chek®) para determinar NGS (Osorio *et al.*, 2015); procedimiento que se realizó ave^{-1} semana^{-1} grupo^{-1} , previo ayuno de 12 h (pre-prandial) y 1h (post-prandial). La medición de CTY y CTH se realizó en tres huevos gallina⁻¹ grupo⁻¹ producidos al final del período experimental; determinación realizada conforme al procedimiento descrito por Olgun *et al.* (2013) y, a través de espectrofotometría (Espectrofotómetro® ÚNICO V200).

La información obtenida para calidad de huevo, glucosa, colesterol y pesos de las gallinas se analizó estadísticamente bajo la metodología de modelos lineales generalizados y las diferencias entre grupos se realizó a través del procedimiento de medias de mínimos cuadrados (Faraway, 2006).

RESULTADOS

Efecto del nopal (O. ficus-indica) sobre los niveles de glucosa en sangre. De acuerdo con los resultados, se encontró que, el grupo y las interacciones grupo*periodo y grupo*semana*periodo afectaron al promedio general de NGS de las gallinas ($P < 0.001$). En relación al grupo, el NGS fue $188.9 \pm 18.0 \text{ mg dL}^{-1}$ en las gallinas del G_{Control} . Mientras que en las del $G_{\text{Experimental}}$ fue de $184.1 \pm 17.3 \text{ mg dL}^{-1}$, promedios diferentes entre sí ($P < 0.05$) (Tabla 3). En cuanto al efecto de la interacción grupo*periodo, se observó que en el periodo pre-prandial, ambos grupos presentaron similares NGS ($P > 0.05$). Únicamente, en el periodo post-prandial se encontraron NGS diferentes entre grupos ($P < 0.05$), siendo el $G_{\text{Experimental}}$ quien presentó el menor NGS (Tabla 3).

Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados para los niveles de glucosa sanguínea (mg dL⁻¹) de acuerdo a la interacción Grupo*periodo

Periodo	Grupo	
	Control	Experimental
	$\bar{X} \pm D.E.$	$\bar{X} \pm D.E.$
Pre-prandial	179.9 ^{a1} ± 14.9	179.8 ^{a1} ± 16.9
Post-prandial	197.9 ^{b1} ± 16.2	188.5 ^{b2} ± 16.5
Promedio ± D.E.	188.9 ¹ ± 18.0	184.1 ² ± 17.3

Literales ^{a, b} indican diferencias estadísticas (P<0.05) dentro de columna.

Numerales ^{1, 2} indican diferencias estadísticas (P<0.05) dentro de fila.

Con respecto a la interacción Grupo*periodo*semana, se observó que, independientemente de la semana evaluada, los NGS post-prandial presentaron mayor disminución conforme transcurrieron las semanas de la fase experimental en el grupo de gallinas que recibió la dieta adicionada con 24 g de nopal (G_{Experimental}). Ello, en comparación con el G_{Control} (Figura 1).

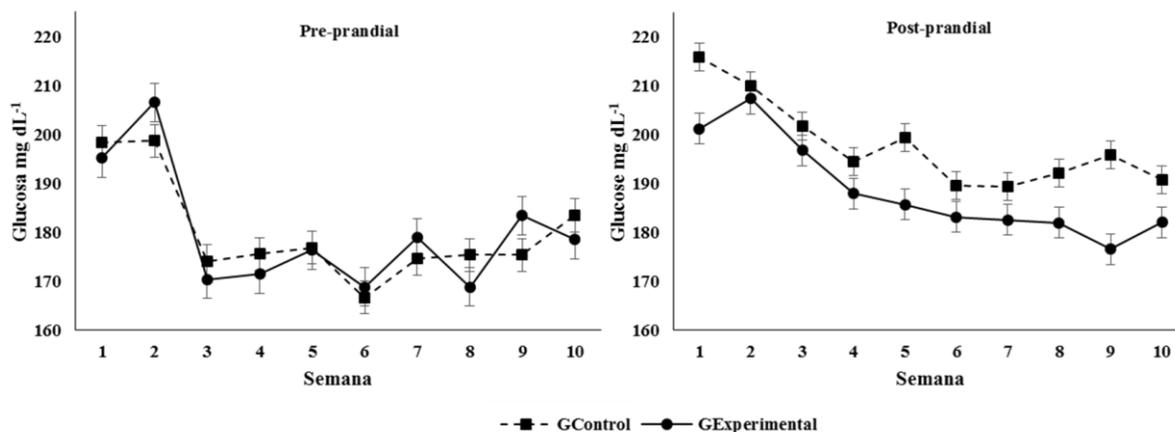


Figura 1. Glucosa sanguínea (mg dL⁻¹) semana⁻¹ en gallinas Rhode Island Red de acuerdo al Grupo*periodo*Semana.

Efecto del nopal (*O. ficus-indica*) sobre el consumo de alimento de las gallinas. En relación al efecto de la adición o no de nopal (24 g) a la dieta de las gallinas sobre el consumo de alimento diario (CA), se pudo establecer que dicho consumo se incrementó (P < 0.05) en las aves del G_{Experimental} en comparación al CA de las gallinas del G_{Control} (Tabla 4).

Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados de consumo de alimento diario de las gallinas de acuerdo al grupo

Consumo	Alimento	Grupo	
		Control	Experimental
Diario	Comercial	\bar{X} (g) \pm D.E.	\bar{X} (g) \pm D.E.
	Comercial+Nopal* (BF)	112.6 \pm 25.1 ^a	116.8 \pm 23.8 ^{bw}
	Comercial+Nopal ^{&} (BS)	--	122.6 ^z
	Comercial+Nopal ^{&} (BS)	--	119.7 ^z
Total	Comercial	7882.0 \pm 0.612 ^a	8176.0 \pm 0.280 ^{bp}
	Comercial+Nopal* (BF)	--	8582.0 ^q
	Comercial+Nopal ^{&} (BS)	--	8379.0 ^q

* = 24 g d⁻¹; & = 2.9 g d⁻¹; BF = Base fresca; BS = Base seca.

Literales ^{a, b} diferencias estadísticas (P<0.05) dentro de fila.

Literales ^{w, z} diferencias estadísticas (P<0.05) dentro de columna para promedios de consumo Diario.

Literales ^{p, q} diferencias estadísticas (P<0.05) dentro de columna para promedios de consumo Total.

De acuerdo con los valores consignados en la Tabla 4, se puede observar que la adición de *O. ficus-indica* a la dieta de las gallinas (G_{Experimental}) mejoró el consumo de alimento comercial ave⁻¹: 116.8 g d⁻¹ vs 112.6 g d⁻¹ ave⁻¹ en el G_{Control}. No obstante que en G_{Experimental} se registró mayor CA, éste incremento no se vio reflejado en peso vivo de las gallinas al final del periodo experimental (2.063 \pm 0.091 kg), si se compara con el peso de las gallinas de G_{Control} (2.140 \pm 0.296 kg).

Efecto del nopal (*O. ficus-indica*) sobre el nivel de colesterol total en huevo (CTH) y en yema (CTY). El nivel de CTH y en CTY fue mayor (P<0.05) en G_{Experimental} (gallinas que consumieron nopal) (Tabla 5), aun y cuando la dieta adicionada con *O. ficus-indica* redujo los NGS en las gallinas de éste grupo (Figura 1). Este incremento de colesterol en G_{Experimental} con respecto al G_{Control}, no estaba previsto en la presente investigación, puesto que la inclusión de 24 g día⁻¹ de nopal en BF como parte de la dieta diaria de las gallinas, preveía efecto hipocolesterolemico provocado por la fibra del nopal, principalmente pectina (Hernández *et al.*, 2011).

Tabla 5. Medias de mínimos cuadrados para el contenido de colesterol total mg g^{-1} yema⁻¹ huevo⁻¹ de las gallinas de acuerdo al grupo

Indicador	Grupo	
	Control	Experimental
	$\bar{X} \pm \text{D.E.}$	$\bar{X} \pm \text{D.E.}$
Colesterol total mg huevo^{-1}	264.6 ^a \pm 40.7	336.7 ^b \pm 47.9
Colesterol total mg g^{-1} yema ⁻¹	38.5 ^a \pm 5.9	53.5 ^b \pm 7.6
Colesterol baja densidad (LDL) mg g^{-1} yema ⁻¹	36.4 ^a \pm 17.1	48.6 ^b \pm 15.6
Colesterol alta densidad (HDL) mg g^{-1} yema ⁻¹	18.7 ^a \pm 10.2	28.7 ^b \pm 12.6
Triglicéridos mg g^{-1} yema ⁻¹	112.0 ^a \pm 42.8	168.4 ^b \pm 17.0

Literales ^{a,b} indican diferencia estadística ($P < 0.05$) dentro de fila.

También se encontró efecto de grupo ($P < 0.05$) sobre el nivel de CTH y CTY, de baja (HDL) y al densidad (LDL), así como, triglicéridos por g^{-1} yema⁻¹ huevo⁻¹. Los lípidos señalados anteriormente presentaron mayor concentración ($P < 0.05$) en $G_{\text{Experimental}}$ (Tabla 5).

Efecto del nopal (*O. ficus-indica*) sobre la calidad del huevo. En relación al peso de huevo, se encontró que el $G_{\text{Experimental}}$ presentó menor peso (61.5 ± 3.6 g) en dicha variable, ello en comparación con el G_{Control} (62.7 ± 3.7 g) (Tabla 6). Además, se observó una asociación (r) entre producción de huevo y peso del huevo ($r = -0.14$; $P < 0.0001$). Para el caso de la producción de huevo, expresado en porcentaje de postura, se encontró que fue mayor en el $G_{\text{Experimental}}$ (95.1 ± 2.6 %) en comparación a lo observado en el G_{Control} (86.6 ± 7.7 %) (Tabla 6).

Con relación a los indicadores de la calidad de huevo se encontraron diferencias entre grupos ($P > 0.05$) en los siguientes indicadores: altura de albumen, peso de albumen, espesor de cascarrón, índice de cascarrón y unidades Haugh (UH) (Tabla 6). En relación a peso de albumen, éste fue mayor ($P < 0.05$) en G_{Control} (36.1 ± 5.0 g), en comparación con $G_{\text{Experimental}}$ (34.6 ± 2.6 g). Para el caso de altura del albumen, ésta fue mayor en $G_{\text{Experimental}}$ (0.9 ± 0.1 cm) en comparación con G_{Control} (0.8 ± 0.1 cm). En relación a las UH, estas fueron menores ($P < 0.05$) en el G_{Control} (90.2 ± 5.2) respecto al $G_{\text{Experimental}}$ (92.6 ± 5.2 UH). En lo que concierne a espesor

de cascarón, se encontró efecto de grupo ($P < 0.001$) sobre ésta variable. En este sentido, las gallinas del $G_{\text{Experimental}}$ produjeron huevos con mayor espesor (0.34 ± 0.02 mm) respecto a G_{Control} (0.32 ± 0.01 mm).

Tabla 6. Medias de mínimos cuadrados para la calidad de huevo de las gallinas de acuerdo al grupo

Indicador	Grupo	
	Control	Experimental
	$\bar{X} \pm \text{D.E.}$	$\bar{X} \pm \text{D.E.}$
Peso de Huevo (g)	$62.9^a \pm 3.6$	$61.6^b \pm 3.6$
Altura de Albumen (cm)	$0.8^a \pm 0.1$	$0.9^b \pm 0.1$
Peso de Yema (g)	$17.1^a \pm 1.3$	$16.9^a \pm 1.0$
Peso de Albumen (g)	$36.1^a \pm 5.0$	$34.6^b \pm 2.6$
Peso de Cascarón (g)	$5.5^a \pm 0.6$	$5.6^a \pm 0.6$
Espesor de Cascarón (mm)	$0.32^a \pm 0.01$	$0.34^b \pm 0.02$
Índice de cascarón (%)	$8.7^a \pm 0.8$	$9.1^b \pm 0.9$
Pigmentación de Yema	$12.8^a \pm 0.6$	$12.9^a \pm 0.6$
Unidades Haugh	$90.2^a \pm 5.2$	$92.6^b \pm 5.1$
Porcentaje de postura (%)	$86.6^a \pm 7.7$	$95.1^b \pm 2.6$

Literales ^{a,b} indican diferencia estadística ($P < 0.05$) dentro de fila.

Finalmente, el peso del cascarón está relacionado con en el índice de cascarón y, el valor promedio de dicho índice en esta investigación fue de 8.7 ± 0.8 y $9.1 \pm 0.9\%$, para G_{Control} y $G_{\text{Experimental}}$, respectivamente; ambos promedios diferentes entre sí ($P < 0.05$). En cuanto al resto de los indicadores evaluados en calidad de huevo (Tabla 6), estos no mostraron diferencias ($P > 0.05$) entre los grupos analizados en esta investigación.

DISCUSIÓN

O. ficus-indica desempeña un papel crucial en el nivel de glucosa sérica, ya sea por la estimulación de secreción de insulina o por una acción extra-pancreática y, ello, puede originar una disminución de hasta 12% de glucosa a partir de la 12^{va} semana de iniciado el consumo de ésta cactácea (Halmi *et al.*, 2013). No obstante, en ésta investigación, el mayor descenso se

observó a la 10^{ma} semana: 15% de disminución de NGS (Figura 1). Posiblemente, este decremento de NGS, en las aves sometidas al consumo de *O. ficus-indica* ($G_{\text{Experimental}}$; Tabla 3), se relacione con las considerables cantidades de calcio (17.9-34.4 mg/100g) que poseen las cactáceas (Hernández *et al.*, 2011), puesto que éste mineral es responsable de los mecanismos de cierre y apertura de los canales de K^+/ATP ; mecanismo que al despolarizar (cierre de dichos canales) la membrana, por la estimulación de Ca^{2+} , promueve la secreción de insulina causando una disminución de la glucosa (Pari y Latha, 2005).

Posiblemente, la acción hipoglucémica de *O. ficus-indica* y el incremento de insulina plasmática originó el incremento del consumo de alimento diario (González *et al.*, 2006; Quishpe, 2006). Al respecto, existe variabilidad en torno al consumo de alimento de las gallinas, Acosta *et al.* (2002) reportan un consumo de alimento diario de hasta 128.9 g d⁻¹. Carrillo *et al.* (2012) y Cornejo *et al.* (2008) encontraron consumos de alimento de 96.8 y 85.2 g d⁻¹. Carranco *et al.* (2011) indicaron un consumo de alimento de 112.7 a 118.0 g d⁻¹. Mientras que en la presente investigación fue de 116.8 ± 23.8 g de alimento gallina⁻¹ día⁻¹ (Tabla 4); valor cercano al observado por Carranco *et al.* (2011). Sin embargo, éstas diferencias están relacionadas a aspectos genéticos, etapa fisiológica del ave, composición de nutrientes en la dieta, consumo de agua, distensión del tracto gastrointestinal, ritmo de postura y temperatura ambiental (Quishpe, 2006). En este sentido, las gallinas de los grupos analizados fueron del mismo genotipo, de la misma edad, el agua de bebida fue *ad libitum* y estuvieron bajo la misma temperatura ambiental; por lo que, la composición de la dieta fue lo único que se diferenció entre el G_{Control} y $G_{\text{Experimental}}$ y posiblemente la adición de 24 g de nopal gallina⁻¹ día⁻¹ a la dieta provocó la disminución de NGS post-prandial (Figura 1) y ésta disminución generó el incremento del consumo de alimento en las gallinas de éste grupo (Tabla 4).

Sin embargo, el incremento en el consumo de alimento del $G_{\text{Experimental}}$ no se vio reflejado en el peso vivo de las gallinas de éste grupo al finalizar el periodo experimental. Resultado que concuerda con Atti *et al.* (2006) y con Méndez *et al.* (2011) puesto que estos investigadores sugieren que el uso del nopal como insumo de la dieta para otras especies animales provoca menor ganancia de peso. Además de que no perdieron peso las gallinas que consumieron nopal, éstas presentaron un mayor porcentaje de postura (Tabla 6); aspecto que también se relaciona con pérdida de peso corporal en estas aves. Es posible que, el aporte de fibra (pectina) del nopal explique porque las gallinas del $G_{\text{Experimental}}$ no perdieron peso, aún y cuando el porcentaje de postura, en este grupo, fuera mayor ($P < 0.05$) que el del G_{Control} (Tabla 6). La fibra del nopal puede modificar la velocidad del tránsito de la ingesta por el tracto gastrointestinal al expandirse el bolo alimenticio y genera mayor asimilación de los nutrientes de la dieta (Savón, 2002; Quishpe, 2006); evitando así, la pérdida de peso corporal (Amerah *et al.*, 2007).

En relación al incremento de colesterol en el huevo de las gallinas del $G_{\text{Experimental}}$ (Tabla 5), este fenómeno no estaba previsto en la presente investigación. Carrillo *et al.* (2012) sugieren que existe una relación entre producción de huevo y síntesis de colesterol, es decir, a mayor producción de huevo mayor síntesis de colesterol. Sin embargo, el incremento de colesterol en los huevos de las gallinas que consumieron nopal probablemente se debió a la disminución de los niveles de glucosa en sangre, misma que provocó una perturbación del vínculo enterohepático: la disminución de glucosa estimula el enlace de ácidos biliares y, reduce la absorción de la bilis y de los lípidos (Guevara, 2009). Las consecuencias de dicha perturbación en las aves del $G_{\text{Experimental}}$, fueron: a) incrementó la síntesis de colesterol endógeno (hígado) y, b) mayor depósito de éste lípido en el huevo; al parecer, para lograr la homeostasis (Yin *et al.*, 2008). Al respecto, Azeke y Ekpo (2008), al utilizar polvo de ajo al 1 y 2%, lograron reducir los

niveles de colesterol total, LDL, HDL y triglicéridos en huevo: reportando cantidades de 22.9, 11.9, 15.1 y 100.8 mg g⁻¹ yema⁻¹ respectivamente, valores menores a lo encontrado en la presente investigación (Tabla 5). El posible efecto hipocolesterolemico del ajo puede atribuírsele a la acción de la alicina y azufre componentes presentes en el ajo, los cuales pueden inhibir la síntesis de colesterol y ácidos grasos en el hígado (Azeke y Ekpo 2008).

Martínez *et al.* (2012), también lograron la reducción del colesterol en huevo: de 14.9 a 13.2 mg g⁻¹ yema⁻¹ de contenido de colesterol total y de 219 a 249 mg de colesterol total en huevo al incluir en la dieta de las gallinas de postura harina de semilla de calabaza; reducción que pudo estar determinada por la presencia de ácidos grasos insaturados como: linoleico (13894.00 mg/100g) y oleico (8616.98 mg/100g) en dicha harina (Martínez *et al.*, 2010), mismos que provocan una disminución de lipoproteínas de baja densidad y del colesterol total en la circulación sérica y, en consecuencia, la yema de huevo presenta menor cantidad de colesterol (Carrillo *et al.*, 2012). Atti *et al.* (2006), establecieron que el nopal fresco tiene bajo contenido de extracto etéreo: 27.0 mg de extracto etéreo por cada 100g de nopal (Pérez *et al.*, 2015) y, cada 100 gramos de nopal aporta aproximadamente 26.7mg 100g⁻¹ de ácido linoleico y 5.1 mg 100g⁻¹ de ácido oleico (Atti *et al.*, 2006). De acuerdo con esta información, se puede inferir que, la cantidad suministrada en la presente investigación no proveyó las cantidades suficientes de éstas sustancias lipídicas y por ello, no se logró disminuir el contenido de colesterol total (Tabla 5), como en el ensayo realizado por Martínez *et al.* (2012).

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, parece ser que: en las gallinas, la síntesis de colesterol y su deposición en el huevo no se incrementa en el huevo si éstas no son privadas de sustancias lipídicas (Yin *et al.*, 2008). Por ello, es posible que la reducción del colesterol en huevo, a través de distintas alternativas nutricionales, han tenido escaso éxito. Carrillo *et al.*

(2012) determinaron que las altas concentraciones de colesterol, se relacionan con el incremento en la producción de huevo; respuesta que puede asociarse a que el colesterol actúa como precursor de estrógenos en el ave (Osorio y Flórez, 2011). Mientras que, Yin *et al.* (2008), Osorio y Florez (2011) Soler *et al.* (2011), establecieron que el colesterol es de vital importancia en el desarrollo embrionario del pollito y del pollito después de eclosionar; puesto que en estas etapas, el individuo carece de un mecanismo de síntesis de esta sustancia, imprescindible para la vida animal y, en consecuencia, las gallinas poseen mecanismos hemostáticos que permiten que ante la escases del aporte de lípidos por la dieta se active la síntesis de colesterol en hígado (Yin *et al.*, 2008). Por lo que, el incremento de colesterol total huevo⁻¹ observado en las aves del G_{Experimental} (Tabla 5) pudiera favorecer a la industria de la incubación del huevo de gallina.

En cuanto a los pesos de huevo reportados por otros investigadores, estos oscilan entre 59.0 a 62.6 g. Así, Cornejo *et al.* (2008) reportaron huevos de 62.6 g; Abou *et al.* (2011) encontraron pesos entre 56.3 a 59.2 g y, Zacarías *et al.* (2012), entre 59.0 a 60 g. Estas diferencias en los pesos de huevo posiblemente se asocian a la intensidad de producción; es decir, a mayor producción de huevo el peso del mismo disminuye (Sánchez *et al.*, 2003). Sin embargo y de acuerdo con los estándares que rige la Norma Oficial Mexicana (NOM) (NMX-FF-079-SCFI-2004), el peso promedio de huevo obtenido por ambos grupos analizados (Tabla 6) puede ser clasificado dentro de la categoría “Grande”, la cual está determinada por un peso de 60 hasta 64 g. Mientras que, para el caso del porcentaje de postura, Acosta *et al.* (2001) reportaron un porcentaje entre 55.4 y 65.4% y Abou *et al.* (2011) encontraron valores de 47.4 a 57.4%. Valores de porcentaje de postura menores a los encontrados en esta investigación (Tabla 6). No obstante, Zacarías *et al.* (2012) observaron porcentajes de postura de 90.5 y 91.5%; porcentajes estos menores a lo encontrado en el G_{Experimental}, lo que sugiere que las gallinas alimentadas con una

dieta adicionada con nopal mejora su comportamiento productivo e incrementa la calidad del huevo (Tabla 6); aunque no, para efectos de contenido de colesterol en huevo (Tabla 5). Ayerza y Coates (2001) demostraron que el contenido de minerales, vitaminas y ácidos grasos en el huevo pueden ser modificados a través de manipulaciones dietéticas. En este sentido, el nopal (*O. ficus-indica*) podría contribuir con el aumento del contenido de calcio, sodio, potasio, hierro, sodio, fibra, carotenoides, flavonoides, entre otros compuestos (Flores y Reveles, 2010; Yahia y Mondragón, 2011), al ser adicionado a la dieta convencional de las gallinas y mejorar la calidad del huevo (Barroeta, 2002).

CONCLUSIÓN

La adición de 24 g nopal (*O. ficus-indica*) en base fresca a la dieta convencional de gallinas disminuye el nivel de glucosa sanguínea en las aves, sin embargo, incrementa el contenido de colesterol total, HDL, LDL y triglicéridos en el huevo. No obstante, mejora otros indicadores de calidad del huevo como espesor de cascarón y las unidades Haugh; además, incrementa el porcentaje de postura. Posiblemente, el aumento de colesterol en huevo podría ser una ventaja para la industria de la incubación de huevos de gallina ya que el colesterol es la principal fuente de energía tanto para el embrión como para el pollito en las primeras horas de vida.

BIBLIOGRAFIA

- Abou, E.F.M.K.; Sarmiento, F.L., Santos, R.R., Solorio, S.F. 2011. Efectos nutricionales de la inclusión dietética de harina de hojas de *Leucaena leucocephala* y *Moringa oleífera* en el comportamiento de gallinas Rhode Island Red. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 45(2): 163-170.
- Acosta, I.R., Márquez, A.A., Angulo, I. 2002. Respuesta de gallinas ponedoras a diferentes densidades en jaulas y niveles de energía dietética. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 10(1): 1-6.
- Aldana, M.D.F. 2014. Alternativas para lograr una cáscara más resistente en huevos fértiles y de mesa. [Documento de internet] URL <http://www.elsitioavicola.com/articulos/2586/alternativas-para-lograr-una-cascara-mas-resistente-en-huevos-fartiles-y-de-mesa-1/>.
- Amerah, A.M., Ravindran, V., Lentle, R.G., Thomas, D.G. 2007. Feed particle size: Implications on the digestion and performance of poultry. World's Poultry Science Journal. 63: 439-455.
- Atti, N., Mahouachi, M., Rouissi, H. 2006. The effect of spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) supplementation on growth, carcass, meat quality and fatty acid composition of male goats kids. Meat Science. 73 (2): 229-235.
- Ayerza, R., Coates, W. 2001. Omega-3 enriched eggs: The influence of dietary α -linolenic fatty acid source on egg production and composition. Canadian Journal Animal Science. 81:355-361.
- Azeke, A.M., Ekpo, E.K. 2008. Egg yolk cholesterol lowering effects of garlic and tea. Journal of Biological Sciences. 8(2):456-460.
- Barroeta, L.A.C. 2002. Formación del huevo. Lecciones sobre el huevo. Instituto de Estudios del Huevo. Madrid. Pp. 45-56.
- Carranco, M.E., Calvo, C.C., Carrillo, D.S., Ramírez, C.R., Morales, B.E., Sanginés, G.L., Fuente, M.B., Ávila, G.E., Pérez, G.R.F. 2011. Harina de crustáceos en raciones de gallinas ponedoras. Efecto en las variables productivas y evaluación sensorial de huevos almacenados en diferentes condiciones. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 45(2):171-175.
- Carrillo, Bahena, A., Casas, M., Carranco, M.E., Calvo, C.C., Ávila, E., Pérez, G.F. 2012. El alga *Sargassum* spp como alternativa para reducir el contenido de colesterol en el huevo. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 46(2): 181-186.
- Cornejo, S., Hidalgo, H.; Araya, J., Pokniak, J. 2008. Suplementación de dietas de gallinas de postura comercial con aceites de pescado de diferentes grados de refinación. Efectos productivos en las aves y en la calidad organoléptica de los huevos. Archivos de Medicina Veterinaria. 40: 45-50.
- Estrada, M. M., Galeano, F. L., Herrera, R. M., Restrepo, F. L. 2010. Efecto de la temperatura y el volteo durante el almacenamiento sobre la calidad del huevo comercial. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 23: 183-190.

- Faraway, J.J. 2006. Extending the Linear Model with R Generalized Linear, Mixed Effects and Nonparametric Regression Models. Chapter 6 Generalized Linear Models. Texts in Statistical Science. Pp. 126-148.
- Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO). 2013. Revisión del desarrollo avícola. [Documento de internet] URL <http://www.fao.org/docrep/019/i3531s/i3531s.pdf>.
- Flores, O.M.A., Reveles, H.M. 2010. Producción de nopal forrajero de diferentes variedades y densidades de plantación. Revista Salud Pública y Nutrición. Edición especial No. 5: 198-210.
- González, H.M.E., Ambrosio, M.K.G., Sánchez, E.S. 2006. Regulación neuroendócrina del hambre, la saciedad y mantenimiento del balance energético. Investigación en Salud. 8(3): 191-200.
- Guevara, A.J.C. (2009). Efectos biofuncionales del nopal y la tuna. Revista horticultura. México. 1-9. [Documento de internet] http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rhi71/cientifico_rhi71.pdf
- Halmi, S., Benlaksira, B., Bechtarzi, K., Berquel, K., Serakta, M., Riachi, F., Djalalab, H. Maameri, Z., Djerrou, Z., Hamdipacha, Y. (2013). Pharmacotoxicological study of *Opuntia ficus-indica* L. aqueous extract in experimental. International Journal of Medicinal and Aromatic Plants. 3(3): 375-381.
- Hernández, U.M.I., Pérez, T.E., Rodríguez, G.M.E. 2011. Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus-indica*) at varied ages in an organic harvest. International Journal of Environmental Research and Public Health. 8: 1287-1295.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009. Estadísticas a propósito del día mundial del corazón. México. [Documento de internet] URL <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/contenidos/estadisticas/2009/corazon09.asp?c=2740&ep=21.%20n.d>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Anuario Estadístico del Estado de Michoacán. Pp. 45-50.
- Martínez, Y., Valdivié, M., Solano, G., Estarrón, M., Martínez, O., Córdova, J. 2012. Efecto de la harina de semilla de calabaza (*Cucurbita máxima*) en el colesterol total y ácidos grasos de los huevos de gallinas ponedoras. Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 46(1): 73-78.
- Martínez, Y., Valdivié, M., Estarrón, M., Solano, G., Córdova, J. 2010. Perfil lipídico sérico de gallinas ponedoras alimentadas con niveles de semilla de calabaza (*Cucurbita máxima*). Revista Cubana de Ciencia Agrícola. 44(4): 399-405.
- Méndez, L.F., Ramírez, L.R.G., López, C.M.A., Rodríguez, F.H., Arechiga, F.C.F., Bonilla, S.A., Nuñez, G.M.A., Aguilera, S.J.I. 2011. Performance and nutrient digestion of lambs fed incremental levels of wild cactus (*Opuntia leucotrichia*) Journal of Applied Animal Research. 39(3): 248-251.
- Norma Oficial Mexicana: NMX-FF-079-SCFI-2004. Productos Avícolas-Huevo Fresco de Gallina-Especificaciones y Métodos de Prueba. Poultry Products-Fresh Hen Egg-

- Specifications and Test Methods. 11-23 [Documento de internet]
URL<http://www.ordenjuridico.gob.mx/Publicaciones/CDs2007/CDAgropecuaria/pdf/86NOM.pdf>
- Olgun, O., Yazgan, O., Cufadar, Y. 2013. Effect of supplementation of different boron and copper levels to layer diets on performance, egg yolk and plasma cholesterol. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 27: 132-136.
- Osorio, H.J., Flórez, D.J. 2011. Diferencias bioquímicas y fisiológicas en el metabolismo de lipoproteínas de aves comerciales. *Biosalud*. 10(1): 88-98.
- Osorio, H.J., Quenan, E.Y., Ramírez, G.F. 2015. Concentraciones de glucemia e insulinemia en pollos broilers machos y hembras de cuatro semanas de edad y su relación con el peso. *Revista de Medicina Veterinaria*. 32:21-28.
- Páez, H.G. 2009. Beneficio de la fibra dietética en enfermedades crónicas degenerativas. Artículo de revisión. [Documento de internet]
URL<http://www.medigraphic.com/pdfs/veracruzana/muv-2009/muv091e.pdf>
- Pérez, S.R.E., Delgado, S.L.A., García, S.A., Pulido, J., Ortiz, R.R. 2015. Caracterización, modelación morfológica y análisis proximales de *Opuntia ficus-indica* y *O. atropes* durante las épocas de estiaje y lluvias. *Revista Electrónica Nova Scientia*. 15(7): 133-152.
- Pari, L., Latha, M. (2005). Antidiabetic effect of *Scoparia dulcis*: effect on lipid peroxidation in the streptozotocin diabetes. *General Physiology and Biophysics*. 24: 13-26
- Quintana, L.J.A. 2011. Avitecnia Manejo de las Aves Domésticas más Comunes. Editorial trillas. 4ta edición. México pp. 200-202.
- Quishpe, S.G.J. 2006. Factores que afectan el consumo de alimento en pollos de engorde y postura. (Tesis de licenciatura) Zamorano, Honduras. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. p 14.
- Rodríguez, L.G., Vergara, G.R., De Jesús, A.L. 2013. Comportamiento del huevo en México y su incidencia en la inflación en México 2011-2013. *Revista Trimestral de Análisis de Coyuntura Económica*. 6(2): 29-34.
- Sanchez, C., Montilla, J. J., Angulo, I., León, A. 2003. Efecto del diseño del galpón y ubicación de las jaulas sobre la tasa de postura y peso de los huevos en gallinas ponedoras. *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)*. 20: 339-351
- Savón, L. 2002. Alimentos altos en fibra para especies monogástricas. Caracterización de la matriz fibrosa y sus efectos en la fisiología digestiva. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 36(2): 91-102.
- Silveira, R.M.B., Monereo, M.S., Molina, B.B. 2003. Alimentos Funcionales y Nutrición Óptima ¿Cerca o Lejos? *Revista Española de Salud Pública*. 77(3): 317-331.
- Yahia, E.M., Mondragón, C. 2011. Nutritional components and antioxidant capacity of ten cultivars and lines of cactus pear fruit (*Opuntia* spp). *Food Research International*. 44: 2311-2318.

- Yin, J.D. Shang, X.G., Li, D.F., Wang, F.L., Guan, Y.F., Wang, Z.D. (2008). Effects of dietary conjugated linoleic acid on the fatty acid profile and cholesterol content of egg yolks from different breeds of layers. *Poultry Science*. 87: 284-290.
- Zúñiga, T.R. 2001. El Nopal *Opuntia ficus-indica* L. (Mill) como alternativa en el uso eficiente del agua. Memoria de la XIII Semana Internacional de Agronomía FAZ-UJED. Gómez Palacio Durango. 5, 6 y 7 de Septiembre del 2001. 41-46.
- Zacarias, J.B., Valdivié, M., Bicudo, S.J. 2012. Harina de follaje de yuca como pigmentante de dietas con harina de yuca y aceite de palma africana para gallinas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 46(2): 187-191.

CAPÍTULO II

EFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) EN LA DIETA DE GALLINAS DE POSTURA SOBRE COLESTEROL EN HUEVO E INDICADORES PRODUCTIVOS

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) en la dieta de gallinas Plymouth Rock Barradas sobre colesterol en huevo e indicadores productivos. Para ello, se seleccionaron 14 gallinas de 40 semanas de edad en promedio, distribuidas aleatoriamente en dos grupos (G): G_{Control} (n=7), grupo que recibió alimento[®] especial para gallinas de postura *ad libitum* y, G_{Experimental} (n=7), las aves de este grupo recibieron alimento[®] especial para gallinas de postura *ad libitum* más la adición de 24 g de nopal en base fresca (BF) ave⁻¹ día⁻¹. El total de gallinas se alojaron en jaulas individuales durante el periodo experimental (diez semanas). Se evaluó: consumo de alimento diario, peso vivo, colesterol total en huevo (CTH), peso de huevo (PH) y, producción de huevo expresada en; porcentaje de postura (PP), piezas de huevo y masa de huevo (MH). La información obtenida se analizó bajo la metodología de modelos lineales generalizados y las diferencias entre grupos se obtuvieron a través de medias de mínimos cuadrados. No se encontró efecto de grupo ($P > 0.05$) sobre consumo de alimento y peso vivo. El CTH fue mayor ($P < 0.05$) en el G_{Experimental}: 322.0 ± 65.6 mg huevo⁻¹ en comparación con el G_{Control}: 262.7 ± 44.7 . El PH fue mayor ($P < 0.05$) en el G_{Control} 60.5 ± 3.3 g vs 58.2 ± 4.0 g en G_{Experimental}. Las piezas de huevo fueron mayores ($P < 0.05$) en el G_{Experimental} 62.3 ± 4.3 vs 58.4 ± 6.3 G_{Control}. El PP fue de $86.8 \pm 9.6\%$ y $92.4 \pm 6.2\%$ y MH fue de 3.536 ± 0.376 kg y 3.626 ± 0.292 kg para G_{Control} y G_{Experimental} respectivamente. La adición de 24 g de nopal (*O. ficus indica*) en BF ave⁻¹ adicionado al alimento incrementa el contenido de colesterol total en huevo y disminuye el peso de huevo. No obstante mejora el número de piezas de huevo gallina⁻¹ e incrementa el porcentaje de postura.

Palabras clave: Alimento no convencional, *O. ficus-indica*, producción de huevo.

INTRODUCCIÓN

La producción avícola, tiene un comportamiento muy dinámico (Aguilera, 2014; Sosa *et al.*, 2017). Y, en este sentido, se han operado transformaciones en este sector, mismas que se deben principalmente a la modificación de los procesos de producción animal y específicamente a la gran demanda por estos productos (Hernández y Padilla, 2015). Por ello, los esfuerzos por mantener una producción constante que satisfaga la demanda actual de la población del país, misma que alcanzó los 23 kg per cápita en el 2016, demanda que ubicó a México en el primer lugar a nivel mundial en consumo de huevo para plato (UNA, 2016).

La importancia en el consumo de huevo en varios países incluido México radica en que representa la principal fuente de proteína animal para el consumidor (FAO, 2013), de aquí que, la industria del huevo para plato, requiere garantizar altos estándares de calidad, principalmente en la fase de producción (Aldana, 2014). No obstante, la producción de huevo puede ser afectada por varios factores, entre los cuales se encuentran; el consumo de alimento (tanto cantidad como calidad), consumo de agua, horas luz, enfermedades, de infraestructura y ambientales (Jacob *et al.*, 2014). En este sentido, los aspectos nutricionales podrían catalogarse como los de mayor peso y por lo tanto, la eficiencia del programa de alimentación ayudará a que el ave obtenga los requerimientos necesarios, para optimizar la producción no solo en número, sino también la calidad de huevo (Torre *et al.*, 2008).

Para asegurar la máxima producción de huevos en el tiempo adecuado, las gallinas de postura requieren una dieta completa y balanceada. Dietas con niveles inadecuados de energía, proteína o calcio, pueden repercutir en la disminución de la producción de estas aves (Jacob *et al.*, 2014). Se considera que la calidad de la dieta de las gallinas de postura, puede modificar las características físico-químicas del huevo (Juárez *et al.*, 2014). Ante esta aseveración, se ha

fundamentado la búsqueda de alternativas naturales y económicas que se reflejen en la producción (Torres, 2010). El nopal, como complemento de la dieta de las gallinas, puede ser una alternativa, debido a: su alta disponibilidad (Carranza, 2001), por su contenido de calcio ($17.9-34.4 \text{ g}^{-1}$), energía ($27-37 \text{ kcal } 100 \text{ g}^{-1}$) (Medina *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2011).

Dentro de otras características de *O. ficus-indica*, se encuentra su efecto hipocolesterolemico, mismo que se ha reportado tanto en humanos como en otras especies animales (García, 2013; Ortiz *et al.*, 2015; Torres *et al.*, 2015). Al respecto, el grupo de investigadores de la UMSNH al evaluar los efectos de ésta cactácea (Capítulo I, Pág. 25), como parte de la dieta de gallinas de postura, sugieren que disminuye el nivel de glucosa sanguínea en éstas aves y provoca un incremento en el contenido de colesterol total en huevo. Atti *et al.* (2006), establecieron que el nopal fresco tiene bajo contenido de extracto etéreo, y, cada 100 g de nopal aporta aproximadamente $26.7 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de ácido linoleico y $5.1 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de ácido oleico. Pérez *et al.* (2015) encontró que el nopal contiene $0.27 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ de extracto etéreo. Posiblemente por ello, este tipo de dieta provoca efectos hipoglucémico e hipercolesterolemico en las aves, generando mayor depósito de colesterol en huevo, en respuesta a la disminución de sustancias lipídicas en la dieta (Yin *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2012). Por ello y para validar las investigaciones preliminares del efecto de nopal en la gallinas, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) en la dieta de gallinas de postura sobre colesterol en huevo e indicadores productivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este experimento se desarrolló en las instalaciones del sector avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, localizada

en el km 9.5 de la carretera Morelia Zinapécuaro, municipio de Tarímbaro, Michoacán, México, durante los meses de marzo y mayo de 2016. En ésta región, el clima es templado sub-húmedo con lluvias en verano y precipitación pluvial anual de 754.8 mm, la temperatura oscila entre 2.5 y 25.1 °C. La altitud es de 1920 msnm (INEGI, 2010).

Para el experimento se utilizaron 14 gallinas Plymouth Rock Barradas con una edad promedio de 40 semanas, distribuidas aleatoriamente en jaulas individuales en dos grupos (G): G_{Control} (n=7), el cual recibió alimento[®] (Tabla 1) especial para gallinas de postura *ad libitum*; el G_{Experimental} (n=7) grupo que se sometió a una dieta (alimento comercial) a la cual se le adicionó 24 g de nopal ave⁻¹ día⁻¹. El alimento comercial fue suministrado *ad libitum* y el nopal se ofreció finamente picado y en base fresca (BF) todos los días a las 8:00 am previo retiro y pesaje del alimento sobrante del día anterior (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis bromatológico del alimento suministrado a las gallinas del grupo control y experimental

Determinación muestra	Alimento comercial en BS ^{&}	Alimento comercial + 24g de nopal en BS ^{&}
Humedad g%	7.0	10.0
Materia seca g%	93.0	90.0
extracto etéreo (grasa) g%	6.88	5.44
Fibra cruda g%	12.56	13.52
Proteína cruda g%	16.76	13.34
Cenizas (minerales) g%	13.51	17.64
E. L. N. (carbohidratos) g%	50.30	53.47

[&]=Base seca

La recolección de los cladodios de *O. ficus indica* se realizó en la parcela de la FMVZ y solo se seleccionaron cladodios del tercer nivel (abajo hacia arriba), la edad de dichos cladodios fue aproximadamente 90 días con las siguientes características morfológicas y bromatológicas (Tabla 2). Se suministraron 200 g de alimento comercial ave⁻¹ día⁻¹ para cumplir con el criterio de alimentación *ad libitum*, puesto que Quintana (2011), estableció que el consumo promedio diario de gallinas de postura es de 120 g. Mientras que los 24 g de nopal en BF suministrado

diariamente gallina⁻¹ día⁻¹ representó el 20% de consumo diario (d⁻¹), de alimento comercial calculado ave⁻¹. A ambos grupos se les dio un seguimiento durante diez semanas, mismas que duró la fase experimental, con previa semana de adaptación a las dietas.

Tabla 2. Características morfológicas y bromatológicas de los cladodios de *O. ficus-indica* del tercer nivel

Variable	Promedio	D.E.
Largo del cladodio (cm)	46.9	4.7
Ancho del cladodio (cm)	15.5	2.6
Peso fresco (kg)	1.1	0.3
Humedad (%)	88.9	3.3
Cenizas (%)	26.5	2.5
Fibra (%)	32.9	1.2
Proteína cruda (%)	5.2	0.8
Grasa (%)	0.5	0.08
E.L.N. (%)	34.6	2.6

Las mediciones de los indicadores productivos fueron: consumo de alimento por día (CA) ave⁻¹ día⁻¹, peso vivo inicial y final de las aves, colesterol total (CT) g yema⁻¹ y colesterol total huevo⁻¹, peso de huevo y porcentaje de postura grupo⁻¹. El consumo de alimento se obtuvo por diferencia entre la cantidad suministrada y el sobrante del día. El peso del alimento suministrado y el sobrante ave⁻¹ día⁻¹ fueron obtenidos con una báscula digital (Sartorius modelo BL3100) con precisión de ± 0.1 g; así mismo, el CA total se obtuvo con la suma de los consumos diarios durante el periodo experimental. El pesaje de las gallinas al inicio y final del periodo experimental se realizó con una báscula digital (Torrey®) con precisión de ± 0.5 g. El peso de huevo se obtuvo ave⁻¹ día⁻¹ con una báscula digital (Sartorius®) con precisión de ± 0.1 g. Las piezas de huevo y masa de huevo se obtuvieron sumando toda la producción de huevo ave⁻¹ grupo⁻¹ al final del periodo experimental y para determinar el porcentaje de postura PP ave⁻¹ grupo⁻¹ se utilizó la fórmula establecida por Quintana (2011):

$$PP = \frac{\text{número de huevos puestos}}{\text{total de días}} \times 100$$

La cuantificación de contenido de CT en yema⁻¹ se realizó con en un huevo gallina⁻¹ grupo⁻¹ producido al final del periodo experimental; determinación realizada conforme al procedimiento descrito por Olgun *et al.* (2013) y, a través de espectrofotometría (Espectrofotómetro[®] UNICO V200).

Los datos obtenidos durante todo el periodo experimental, se analizaron estadísticamente bajo la metodología de modelos lineales generalizados (GLM) y las diferencias entre grupos se realizó a través del procedimiento de medias de mínimos cuadrados (Lsmeans) (Faraway, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la adición de *O. ficus-indica* sobre consumo de alimento diario. No se encontró efecto del grupo ($P > 0.05$) en el consumo de alimento comercial día-1 ave⁻¹, ni en el consumo total de alimento comercial ave⁻¹ (Tabla 3).

Tabla 3. Consumo de alimento diario de las gallinas durante el periodo experimental de acuerdo al tratamiento

Indicador	Alimento	Grupo	
		Control	Experimental
Consumo		\bar{X} (g) \pm D.E.	\bar{X} (g) \pm D.E.
Diario	Comercial	106.7 ^a \pm 19.2	110.4 ^{a1} \pm 15.5
	Comercial+Nopal* (BF)	0.0 \pm 0.0	134.4 ²
	Comercial+Nopal ^{&} (BS)	0.0 \pm 0.0	113.3 ¹
Total	Comercial	7471 ^a \pm 0.804	7735 ^{a1} \pm 0.401
	Comercial+Nopal* (BF)	0.0 \pm 0.0	9415 ²
	Comercial+Nopal ^{&} (BS)	0.0 \pm 0.0	7938 ¹

Literales ^{a, b} = diferencias estadísticas ($P < 0.05$) dentro de fila.

Numerales ^{1, 2} = diferencias estadísticas ($P < 0.05$) dentro de columna.

De acuerdo con la Tabla 3, se puede observar que el consumo de alimento comercial ave⁻¹ fue igual ($P < 0.05$) en ambos grupos analizados (110.4 ± 15.5 g d⁻¹ vs 106.7 ± 19.2 g d⁻¹ ave⁻¹) y dicho consumo se encuentra dentro de los rangos reportados por Juárez *et al.* (2010): 105-120

g de alimento comercial $\text{ave}^{-1} \text{ día}^{-1}$, en gallinas Plymouth Rock Barradas bajo un sistema de producción similar al de la presente investigación. De acuerdo con estos investigadores y los resultados encontrados en esta investigación, sugieren que los consumos de alimento $\text{ave}^{-1} \text{ día}^{-1}$, no son afectados por la adición de esta cactácea a la dieta.

En relación al peso vivo de las gallinas al final del periodo experimental, se encontró que esta variable no fue afectada por el grupo ($P > 0.05$) (Tabla 4).

Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados para peso vivo de las gallinas al inicio y final del periodo experimental de acuerdo al grupo

Indicador	Grupo	
	Control	Experimental
	$\bar{X} \pm \text{D.E.}$	$\bar{X} \pm \text{D.E.}$
Peso vivo inicio	$2.268^{\text{a1}} \pm 0.215$	$2.282^{\text{a1}} \pm 0.203$
Peso vivo final	$2.077^{\text{a1}} \pm 0.226$	$2.099^{\text{a1}} \pm 0.243$

Literales ^{a, b} = diferencias estadísticas ($P < 0.05$) dentro de columna.

Numerales ^{1,2} = diferencias estadísticas ($P < 0.05$) dentro de fila

El peso vivo de las gallinas al inicio del experimento fue similar en ambos grupos analizados (Tabla 4) y no se modificó ($P > 0.05$) al finalizar el periodo experimental. Resultado que no se esperaba en esta investigación puesto que al ser hipoglucémico el nopal hipotéticamente se pensó en un incremento en el consumo de alimento comercial dentro del grupo experimental, cuya consecuencia sería el incremento del peso de las gallinas. No obstante, Mateos *et al.* (2002) determinaron que las aves adaptan el funcionamiento del tracto gastrointestinal a las características del contenido digestivo y la composición del alimento, interviniendo en el ajuste la liberación de enzimas mismas que ayudan a optimizar la digestión, absorción y utilización de los nutrientes.

Efecto de la adición de *O. ficus-indica* sobre colesterol en huevo. Se encontró efecto de grupo ($P < 0.05$) sobre contenido de colesterol $\text{mg g}^{-1} \text{ yema}^{-1}$ y mg huevo^{-1} . Al respecto, los huevos provenientes de gallinas que consumieron 24 g nopal BF día⁻¹ tuvieron mayor contenido de

colesterol (Tabla 5). En relación a los valores obtenidos por mg g^{-1} yema⁻¹, fueron menores a lo reportado por Canogullari *et al.* (2009) con 20.27 mg g^{-1} yema⁻¹. Sin embargo, fueron mayores a lo publicado por Martínez *et al.* (2012) y por Mattioli *et al.* (2016) con 14.9 y 11.8 mg g^{-1} yema⁻¹ respectivamente.

Tabla 5. Medias de mínimos cuadrados para colesterol en huevo mg g^{-1} yema⁻¹ de acuerdo al grupo experimental

Indicador	Grupo	
	Control	Experimental
	$\bar{X} \pm \text{D.E.}$	$\bar{X} \pm \text{D.E.}$
Colesterol total mg g^{-1} yema ⁻¹	$16.2^a \pm 2.5$	$19.5^b \pm 3.5$
Colesterol total mg huevo^{-1}	$262.7^a \pm 44.7$	$322.0^b \pm 65.6$

Literales ^{a, b} = diferencias estadísticas ($P < 0.05$) dentro de fila.

En cuanto al contenido de colesterol por huevo, los resultados en esta investigación (Tabla 5) fueron mayores al encontrado por kim *et al.* (2004): $192.1 \text{ mg huevo}^{-1}$. Por su parte, Martínez *et al.* (2012), observaron valores promedio de $249, 221, 219$ y 222 mg de colesterol huevo^{-1} al adicionar a la dieta $0, 3.3, 6.6$ y 10% de harina de semilla de calabaza respectivamente. Dicho efecto, se explica por el contenido de ácidos grasos insaturados como linoleico ($13894.0 \text{ mg}/100\text{g}$) y oleico ($8616.9 \text{ mg}/100 \text{ g}$), presentes en la harina de semilla de calabaza (Martínez *et al.*, 2010).

Por otra parte, las gallinas satisfacen sus necesidades de colesterol principalmente de la síntesis de *novo*, por lo que, un ajuste de lípidos en la dieta puede modificar el contenido de colesterol en huevo. En este sentido, si se considera que el colesterol es esencial para las aves, una reducción de este compuesto graso en la dieta aunado a un efecto hipocolesterolemico, provocado por la ingesta del nopal repercute en un aumento en la síntesis de colesterol endógeno (hígado), esto en respuesta homeostática, para compensar el déficit de lípidos en la dieta cuya repercusión es un incremento de síntesis de colesterol endógeno canalizado hacia el huevo en formación (Yin *et al.*, 2008).

Aun y cuando, se conocen los mecanismos fisiológicos por las cuales el ave intenta regular el contenido de colesterol en huevo (Yin *et al.*, 2008), la industria avícola sigue investigando alternativas para reducir la concentración de colesterol en huevo, y de esta manera ofrecer un producto atractivo para el consumidor (Elkin, 2006; Ramesh *et al.*, 2009).

Finalmente los resultados sobre la productividad de las gallinas sometidas a una dieta adicionada con nopal determinaron que el peso de huevo, el número de piezas de huevo gallina⁻¹, fueron mayores ($P < 0.05$) en éste grupo comparado con el grupo de gallinas bajo una dieta convencional ($G_{Control}$) (Tabla 6). Mientras que, para el caso del porcentaje de postura y masa de huevo (kg) grupo⁻¹ fueron similares ($P > 0.05$) en ambos grupos analizados.

Tabla 6. Medias de mínimos cuadrados para indicadores productivos en las gallinas de acuerdo al grupo

Indicador	Grupo	
	Control	Experimental
	$\bar{X} \pm D.E.$	$\bar{X} \pm D.E.$
Peso de huevo(g)	60.5 ^a ± 3.3	58.2 ^b ± 4.0
Porcentaje de postura (%)	86.8 ^a ± 9.6	92.4 ^a ± 6.2
Piezas de huevo	58.4 ^a ± 6.3	62.3 ^b ± 4.3
Masa de huevo (kg)	3.536 ^a ± 0.376	3.626 ^a ± 0.292

Literales ^{a, b} = diferencias estadísticas ($P < 0.05$) dentro de fila.

En relación al peso de huevo se encontró que el $G_{Control}$ presentó mayor peso (60.5 ± 3.3 g) en dicha variable, en comparación con el $G_{Experimental}$ (58.2 ± 4.0 g) (Tabla 6). Estos resultados se encuentran dentro del rango de 56.3-62.6 g reportado por: Cornejo *et al.* (2008), Abou *et al.* (2011) y Zacarías *et al.* (2012). Así mismo, la diferencia en el peso de huevo en la investigación se puede asociar a la mayor producción de huevo en las gallinas del $G_{Experimental}$; debido a que una mayor producción de huevo disminuye el peso del mismo (Sánchez *et al.*, 2003). Sin embargo y de acuerdo con los estándares que rige la Norma Oficial Mexicana (NOM) (NMX-

FF-079-SCFI-2004), el peso promedio de huevo obtenido por ambos grupos analizados (Tabla 6) puede ser clasificado dentro de la categoría “Grande” (60 a 64 g).

Para el caso del porcentaje de postura (PP), los resultados observados (Tabla 6) fueron mayores a lo reportado por Acosta *et al.* (2001) y por Abou *et al.* (2011), dichos autores encontraron valores de porcentaje de postura, entre 47.4 y 65.4%. Zacarías *et al.* (2012) reportaron 90.5 y 91.5% de postura. Sin embargo, en el $G_{\text{Experimental}}$ el PP fue mayor comparado con los consignados por los investigadores citados. Lo que sugiere que las gallinas alimentadas con una dieta adicionada con nopal mejoran su comportamiento productivo y al parecer no produjo un balance energético negativo, tal como sucede cuando existe una mayor producción de huevo en las aves. Por lo que, posiblemente si las gallinas disponen de una composición corporal óptima, utilizan sus reservas corporales en los periodos críticos, logran una producción sin altibajos (Zumbado, 2003).

CONCLUSIÓN

La adición de 24 g de nopal (*O. ficus indica*) en base fresca a la dieta convencional de gallinas incrementa el contenido de colesterol total en huevo, así como la producción en piezas de huevo. No obstante que, el peso de huevo disminuye, dicha dieta no afecta los demás indicadores productivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldana, M.D.F. 2014. Alternativas para lograr una cáscara más resistente en huevos fértiles y de mesa. [En línea] <http://www.elsitioavicola.com/articles/2586/alternativas-para-lograr-una-cáscara-mas-resistente-en-huevos-fertiles-y-de-mesa-1/>
- Canogullari, S., Karaman, M., Erdogan, Z., Baylan, M., Kucukgul, A., Duzguner, V., Ozgur, A. 2009. Effect of garlic powder on egg yolk and serum cholesterol and performance of laying hen. Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy. 53:515-519.

- Carranza, S.J.A. 2001. Caracterización morfológica de *Opuntia* spp. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo. México, pp. 82.
- Carrillo, Bahena, A., Casas, M., Carranco, M.E., Calvo, C.C., Ávila, E., Pérez, G.F. 2012. El alga *Sargassum* spp como alternativa para reducir el contenido de colesterol en el huevo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 46(2): 181-186.
- Faraway, J.J. 2006. Extending the Linear Model with R Generalized Linear, Mixed Effects and Nonparametric Regression Models. Chapter 6 Generalized Linear Models. *Texts in Statistical Science*. Pp. 126-148.
- Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO) 2013. Revisión del desarrollo avícola. [En línea] <http://www.fao.org/docrep/019/i3531s/i3531s.pdf>
- García, O.H.T. 2013. Identificación de pectinas y mucílago de cuatro variedades de nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) miller y validación de su actividad hipoglucémica. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Pp. 101-105.
- Hernández, U.M.I., Pérez, T.E., Rodríguez, G.M.E. 2011. Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus-indica*) at varied ages in an organic harvest. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 8: 1287-1295.
- Hernández, T.J.M., Padilla, H.R. 2015. Evolución reciente de la producción y consumo de huevo en México. *Mundo Siglo XXI, revista del CIECAS – IPN*. 37 (11): 75-87.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Anuario Estadístico del Estado de Michoacán. Pp. 45-50.
- Jacob, J.P., Wilson, H.R., Miles, R.D., Butcher, G.D., Mather, F.B. 2014. Factors affecting egg Production in backyard chicken flocks. IFAS Extension. University of Florida. 1-8.
- Juárez, C.A., Sarmiento, F.L., Segura, C.J. 2010. Efecto de la relación pellet: harina en la dieta sobre el rendimiento productivo de gallinas de postura. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12(1): 135-138.
- Kim, J.H., Hong, S.T., Lee, H.S., Kim, H.J. 2004. Oral administration of pravastatin reduces egg cholesterol but not plasma cholesterol in laying hens. *Poultry Science*. 83:1539-1543.
- Martínez, Y., Valdivié, M., Estarrón, M., Solano, G., Córdova, J. 2010. Perfil lipídico sérico de gallinas ponedoras alimentadas con niveles de harina de semilla de calabaza (*Cucurbita maxima*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 44: 399-405.
- Martínez, Y., Valdivié, M., Solano, G., Estarrón, M., Martínez, O., Córdova, J. 2012. Efecto de la harina de semilla de calabaza (*Cucurbita maxima*) en el colesterol total y ácidos grasos de los huevos de gallinas ponedoras. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 46(1): 73-78.
- Materos, G.G., Lázaro, R., Gracia, M.I. 2002. Modificaciones nutricionales y problemática digestiva en aves. XVIII Curso de Especialización FEDNA. Barcelona, 4 y 5 de Noviembre de 2002. 15-37.
- Mattioli, S., Dal Bosco, A., Martino, M., Ruggeri, S., Marconi, S., Sileoni, V., Falcinelli, B., Castellini, C., Benincasa, P. 2016. Alfalfa and flax sprouts supplementation enriches the

- content of bioactive compounds and lowers the cholesterol in hen egg. *Journal of Functional Foods*. 22:454-462.
- Medina, M.R.; Tirado, G.E.; Mejia, H.I.; Camarillo, S.I.; Cruz, V.C. 2006. Digestibilidad in situ de dietas con harina de nopal deshidratado conteniendo un preparado de enzimas fibrolíticas exógenas. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 41: 1173-1177. 2006.
- Olgun, O., Yazgan, O., Cufadar, Y. 2013. Effect of supplementation of different boron and copper levels to layer diets on performance, egg yolk and plasma cholesterol. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 27: 132-136.
- Ortiz, R.R., Ordaz, O.G., Juárez, C.A., Pérez, S.R.E. 2015. Efecto del nopal (*Opuntia ficus-indica*) sobre niveles de glucosa sanguínea en cerdas lactantes y su repercusión en el consumo voluntario de alimento. XXIV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal y XL Congreso de la Sociedad Chilena de Producción Animal, Sochipa. A.G. Puerto de Varas Chile. 9-13 Noviembre de 2015. Pp. 825.
- Quintana, L.J.A. (2011). *Avitecna Manejo de las Aves Domésticas más Comunes*. Editorial trillas. 4ta edición. México pp. 200-202.
- Ramesh, A., Manegar, A., Shambulingappa, B.E., Ananda, K.J. 2009. Study of lipid profile and production performance in layers as influenced by herbal preparations abana and garlic paste. *Veterinary World*. 2(11): 426-428.
- Sosa, U.M.E., Martínez, C.F.E., Espinosa, G.J.A., Buendía, R.G. 2017. Contribución del sector pecuario a la economía mexicana. Un análisis desde la matriz insumo producto. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 8(1):31-34.
- Torre, M.M.C., Fonseca, P.M., Quintana, L.J.A. 2008. El huevo mitos realidades y beneficios. Capítulo 5. Aporte nutritivo y beneficios a la salud. Editorial ESDAI. 2da edición. Pp. 35-37.
- Torres, P.R.L., Morales, C.D., Ballinas, C.M.L., Nevárez, M.G.V. 2015. El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(5):1129-1142.
- Torres, S.A. 2010. Composición Química del Nopal y sus Implicaciones en la Nutrición de Rumiantes (experiencias de Brasil). IX Simposium Taller Nacional y II Internacional de Producción de Nopal y Maguey. Escobedo, N.L., México; 12 y 13 de Noviembre. Edición especial N. 5. 142-151.
- Unión Nacional de Avicultores UNA. 2016. México celebra el día mundial del huevo. [En línea] URL.<http://www.una.org.mx/index.php/component/content/category/14-comunicados>
- Yin, J.D. Shang, X.G., Li, D.F., Wang, F.L., Guan, Y.F., Wang, Z.D. (2008). Effects of dietary conjugated linoleic acid on the fatty acid profile and cholesterol content of egg yolks from different breeds of layers. *Poultry Science*, 87: 284-290.

CAPÍTULO III

EFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) EN LA DIETA DE GALLINAS PRODUCTORAS DE HUEVO FÉRTIL SOBRE COLESTEROL E INCUBABILIDAD DEL HUEVO

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) en la dieta de gallinas productoras de huevo fértil sobre colesterol e incubabilidad del huevo. Para ello se utilizaron 14 gallinas Plymouth Rock Barradas de 50 semanas de edad. Establecidas en dos grupos (G): G_{Control} (n=7), grupo que recibió alimento[®] *ad libitum* y, G_{Experimental} (n=7), al cual se les ofreció alimento[®] *ad libitum* más 24 g de nopal en base fresca (BF) ave⁻¹ día⁻¹. Ambos grupos fueron alimentados durante diez semanas y al término de ésta se procedió a la fase de incubación. Se evaluó: colesterol total en huevo (CTH), porcentaje de fertilidad e incubabilidad. En los pollitos nacidos se midió triglicéridos y glucosa en sangre (NGS), así como el peso corporal al término de 0, 12, 24 y 48 horas de ayuno. La información se analizó utilizando la metodología de modelos lineales generalizados y las diferencias entre grupos a través de medias de mínimos cuadrados. No se encontró efecto de grupo ($P > 0.05$) sobre porcentaje de fertilidad e incubabilidad y triglicéridos en pollitos. Sí se encontró diferencia ($P < 0.05$) sobre colesterol total en huevo; en el G_{Experimental} el valor de CTH (322.0 ± 65.6 mg huevo⁻¹) fue mayor al G_{Control} (262.7 ± 44.7 mg huevo⁻¹). Los NGS en pollitos fueron mayores ($P < 0.05$) en el G_{Experimental} (163.0 ± 21.3 mg dL⁻¹). La pérdida de peso corporal al finalizar 48 h de ayuno fue menor ($P < 0.05$) en el G_{Experimental} (15.0 %) comparado con la pérdida de peso corporal de los pollitos del G_{Control} (19.0%). La adición de 24 g *O. ficus-indica* a la dieta de las gallinas incrementa el colesterol total en huevo y la glucosa sanguínea en los pollitos, lo que genera una disminución en la pérdida de peso corporal en los pollitos al finalizar un periodo de ayuno de 48 h.

Palabras clave: *O. ficus-indica*, avicultura, incubación, colesterol en huevo.

INTRODUCCIÓN

La avicultura en México aporta 34.6% de carne de pollo y 27.9% de huevo (UNA, 2014). Esta industria se ha mantenido en parte, debido a que se encuentra estructurada como una cadena de producción, distribución y transformación de productos, donde su principal eslabón se enfoca en la incubación artificial. Debido, a que la incubación artificial genera los pollitos para mantener la producción de pie de crías así como de reproductoras (Kalinowski, 2004; Hernández y Vázquez, 2009). Por ello, el área de la incubación es determinante en la producción avícola (Barrientos, 2003). Sin embargo, aún se continua investigando alternativas que coadyuven a incrementar los porcentajes de incubabilidad pero sobre todo incrementar la calidad de los pollitos recién nacidos (Pachón, 2004). Estas estrategias inician a partir de un manejo adecuado de las reproductoras en los cuales se incluye, aspectos de nutrición, enfocados a la calidad del huevo fértil (Rosales *et al.*, 2010).

Los principales factores que intervienen en el cumplimiento de los objetivos en las granjas de incubación son: la calidad del huevo y la temperatura, humedad y volteo en el proceso de incubación. En lo referente a la calidad de huevo ello implica tanto las condiciones externas del cascarón como las internas; sin menoscabar el contenido nutricional del huevo (Barrientos, 2003). Puesto que, durante el desarrollo, el embrión se nutre y obtiene su energía necesaria, principalmente de la proteína de la clara y la lipoproteína de la yema (Hernández *et al.*, 2005). De aquí que, los embriones usen las grasas del saco vitelino, en especial el colesterol y los fosfolípidos para sus funciones estructurales en el desarrollo neural y las membranas celulares (Meijerhof, 2009).

La alimentación es un factor que puede modificar las características fisicoquímicas del huevo (Carrillo *et al.*, 2008), Por lo que, el nopal, como complemento de la dieta de las gallinas, puede

ser una alternativa por su contenido de calcio (17.9-34.4 mg g⁻¹) y contenido energético (27-37 kcal 100g⁻¹) (Medina *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2011). Además de que el nopal es endémico y está disponible durante todo el año (Carranza, 2001). Yin *et al.* (2008) establecieron que las aves poseen mecanismos fisiológicos por los cuales intentan regular el contenido de colesterol en huevo y, ante la deficiencia de lípidos en la dieta recurren a la síntesis de colesterol endógeno para proveer al huevo la suficiente reserva energética para el desarrollo del embrión y para el pollito en las primeras horas de vida. La dieta para gallinas adicionada con nopal ha probado ser un factor que genera un incremento de colesterol en huevo (Capítulo I y II de la presente investigación) lo que podría fungir como una alternativa para la industria de la incubación, la cual sigue investigando alternativas para incrementar la calidad del huevo fértil y del pollito. Puesto que la reducción del colesterol en huevo fértil puede afectar los índices de incubabilidad y viabilidad de los pollitos (FAO, 2013). Por ello, el objetivo fue evaluar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) en la dieta de gallinas productoras de huevo fértil sobre colesterol e incubabilidad del huevo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este experimento se desarrolló en las instalaciones del sector avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, localizada en el km 9.5 de la carretera Morelia Zinapécuaro, municipio de Tarímbaro, Michoacán, México, durante los meses de marzo a junio de 2016. En la región el clima es templado sub-húmedo con lluvias en verano y precipitación pluvial anual de 754.8 mm, la temperatura oscila entre 2.5 y 25.1 °C. La altitud es de 1920 msnm (INEGI, 2010).

Se utilizaron 14 gallinas Plymouth Rock Barradas con una edad promedio de 50 semanas, distribuidas aleatoriamente en jaulas individuales en dos grupos (G): G_{Control} (n=7), grupo el cual recibió alimento[®] *ad libitum*; el G_{Experimental} (n=7) grupo que se sometió a una dieta (alimento comercial) a la cual se le adicionó 24 g de nopal ave⁻¹ día⁻¹. El alimento comercial fue suministrado *ad libitum* y el nopal se ofreció finamente picado y en base fresca (BF) todos los días a las 8.00 am previo retiro y pesaje del alimento sobrante del día anterior (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis bromatológico de dieta de grupo control y experimental

Determinación muestra	Alimento comercial en BS ^{&}	Alimento comercial + 24g de nopal en BS ^{&}
Humedad g%	7.0	10.0
Materia seca g%	93.0	90.0
extracto etéreo (grasa) g%	6.88	5.44
Fibra cruda g%	12.56	13.52
Proteína cruda g%	16.76	13.34
Cenizas (minerales) g%	13.51	17.64
E. L. N. (carbohidratos) g%	50.30	53.47

[&]=Base seca

La recolección de los cladodios de *O. ficus indica* se realizó en la parcela de la FMVZ y solo se seleccionaron cladodios del tercer nivel (abajo hacia arriba), la edad de dichos cladodios fue aproximadamente 90 días con las siguientes características morfológicas y bromatológicas (Tabla 2). Se suministraron 200 g de alimento comercial ave⁻¹ día⁻¹ para cumplir con el criterio de alimentación *ad libitum*, puesto que Quintana (2011), estableció que el consumo promedio diario de gallinas de postura es de 120 g. Mientras que los 24 g de nopal en BF suministrado diariamente gallina⁻¹ día⁻¹ representó el 20% de consumo diario (d⁻¹), de alimento comercial calculado ave⁻¹. A ambos grupos se les dio un seguimiento durante diez semanas, mismas que duró la fase experimental, con previa semana de adaptación a las dietas.

Tabla 2. Características morfológicas y bromatológicas de los cladodios de *O. ficus-indica* del tercer nivel

Variable	Promedio	D.E.
Largo del cladodio (cm)	46.9	4.7
Ancho del cladodio (cm)	15.5	2.6
Peso fresco (kg)	1.1	0.3
Humedad (%)	88.9	3.3
Cenizas (%)	26.5	2.5
Fibra (%)	32.9	1.2
Proteína cruda (%)	5.2	0.8
Grasa (%)	0.5	0.08
E.L.N. (%)	34.6	2.6

Al término del periodo de alimentación se procedió con la identificación de cada gallina grupo⁻¹, puesto que se requirió subdividir a cada grupo en dos grupos, es decir, del G_{Control} se eligieron cuatro gallinas para confinarlas en una jaula colectiva colocada a nivel del piso, el resto de las gallinas (n=3) que conformaban éste grupo, de igual manera se confinaron en su respectiva jaula colectiva a nivel de piso. De la misma forma se procedió con el G_{Experimental}: subdividirlo en dos grupos y colocar a las gallinas (n=4 o n=3) en sus respectivas jaulas colectivas. En cada una de éstas jaulas se alojó un gallo de la misma raza y edad de las gallinas.

El periodo que convivieron las gallinas con el gallo fue de cinco días, durante éste periodo, los machos fueron rotados en las diferentes jaulas con el propósito eliminar el efecto macho sobre la fertilidad. Una vez finalizado el periodo de interacción de las gallinas con los machos, éstas fueron nuevamente confinadas en jaulas individuales para controlar y tener registro de la postura de cada gallina grupo⁻¹ y proseguir con el monitoreo del consumo de alimento gallina⁻¹ grupo⁻¹.

Las variables evaluadas; fueron: peso de huevo (PH), colesterol total (CT). El total de huevos recolectados gallina⁻¹ grupo⁻¹, fueron desinfectados e incubados durante 21 días; se utilizó una incubadora comercial con una capacidad de 270 huevos a una temperatura de 37.5 ± 0.5 °C y humedad de 55 a 60%; se evaluó porcentaje de fertilidad (%F): número de huevos fértiles entre

el total de huevos incubados x 100; el porcentaje de incubabilidad (%I) se determinó con el número de pollitos nacidos/número de huevos fértiles x 100 (Quintana, 2011).

Al momento de la eclosión, cuando fueron retirados los pollitos de la maquina incubadora, se seleccionaron al azar 25 pollitos grupo⁻¹ y, se les evaluó: glucosa y triglicéridos en sangre, utilizando los equipos Accu-chek[®] y Accu-trend[®] Plus respectivamente; la obtención de la muestra sanguínea se realizó conforme indica la NOM-062-ZOO-1999, y la cuantificación se obtuvo inmediatamente, cuando se colocó la muestra extraída sobre la tira reactiva del equipo portátil.

Así mismo, con el total de pollitos nacidos se formaron cuatro grupos (G): G1 (n=44) o control, grupo en el cual se suministró alimento *ad libitum*, mismos que tuvieron 0 horas de ayuno; G2 (n=44) grupo al cual se les restringió el acceso al alimento durante las primeras 12 h (12 h de ayuno); G3 (n=44) grupo sometido a 24 h de ayuno y G4 (n=44) grupo al cual se mantuvo sin alimento durante 48 h (ayuno de 48 h). En cada grupo se registró el peso corporal del pollito al inicio y final de cada periodo de ayuno.

La medición en huevo de colesterol total, se realizó en un huevo gallina⁻¹ grupo⁻¹ producido al final del periodo experimental; determinación realizada conforme al procedimiento descrito por Olgun *et al.* (2013) y, a través de espectrofotometría (Espectrofotómetro[®] UNICO V200).

El análisis estadístico para porcentaje de fertilidad e incubabilidad y para los metabolitos se realizó, mediante la metodología de modelos lineales generalizados (GLM) y las diferencias entre grupos se obtuvieron a través de medias de mínimos cuadrados (Lsmeans). Para los resultados de los periodos de ayuno se utilizó la metodología de mediciones repetidas (MIXED)

y las diferencias entre tratamientos fueron obtenidas utilizando medias de mínimos cuadrados (Lsmeans) (Littel *et al.*, 1998; Faraway, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del nopal (*O. ficus-indica*) sobre colesterol en huevo, porcentaje de fertilidad e incubabilidad. No se encontró efecto ($P > 0.05$) de grupo sobre porcentaje de fertilidad e incubabilidad (Tabla 3); sin embargo, se pudo observar una tendencia hacia una mejor respuesta en dichos indicadores en el grupo de gallinas que consumió nopal como parte de su dieta. Por lo que, el incremento de colesterol en huevo en el $G_{\text{Experimental}}$ (Tabla 3) posiblemente mejoró el desarrollo embrionario del pollito; puesto que, tanto el embrión como el pollito durante los primeros días de vida, carecen de un mecanismo de síntesis del colesterol, imprescindible para la vida animal (Tortuero, 2002; Yin *et al.*, 2008; Soler *et al.*, 2011; FAO, 2013).

Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados para indicadores de incubación y colesterol en huevo mg g^{-1} yema⁻¹ de acuerdo al grupo

Indicador	Grupo	
	Control	Experimental
	$\bar{X} \pm \text{D.E.}$	$\bar{X} \pm \text{D.E.}$
Porcentaje de fertilidad	80.0 ^a \pm 18.0	91.2 ^a \pm 5.0
Porcentaje de Incubabilidad	52.4 ^a \pm 23.3	77.2 ^a \pm 5.0
Colesterol total mg g^{-1} yema ⁻¹	16.2 ^a \pm 2.5	19.5 ^b \pm 3.0
Colesterol total mg huevo^{-1}	262.7 ^a \pm 44.7	322.0 ^b \pm 65.6

Literales ^{a, b} = diferencias estadísticas ($P < 0.05$) dentro de fila.

Los dos principales factores responsables del contenido de colesterol en huevo es: i) la predisposición genética de las aves y ii) la relacionada a los suplementos alimenticios o farmacológicos que podrían reducir la biosíntesis hepática de colesterol, así como otras vías metabólicas (Elkin, 2006). Sato y Kamada, (2011) han demostrado que los receptores del hígado (oxiesteroles), regulan la síntesis de ácidos grasos, con un posible efecto sobre Acetil CoA Carboxilasa, debido a que en las aves, la actividad lipogénica es mayor en el hígado. Es posible,

de acuerdo a los resultados que el incremento de colesterol total huevo⁻¹ observado en las aves del G_{Experimental}, pudiera ser producto de la ingesta de nopal si esto fuera así, *O. ficus-indica* como parte de la dieta de gallinas productoras de huevo fértil podría ser una estrategia viable para la industria de la incubación del huevo de gallina.

Efecto del nopal (*O. ficus-indica*) sobre peso corporal al final de 12, 24 y 48 h de ayuno. En lo que respecta al proceso de incubación en el huevo, de acuerdo a Arce *et al.* (2003) se ha determinado que, posiblemente al incrementar la cantidad de lípidos en la yema de huevo incubable, puede favorecer el desarrollo embrionario y permitir una mayor fortaleza del pollito durante las primeras horas de vida. Aspectos que concuerdan con los resultados obtenidos de pollitos (Tabla 4) provenientes de gallinas alimentadas con nopal y las cuales produjeron huevos con mayor contenido de colesterol (Tabla 3).

Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados para los pesos de los pollitos en el periodo de ayuno de acuerdo al grupo

Variable	Grupo	
	Control $\bar{X} \pm D.E.$	Experimental $\bar{X} \pm D.E.$
Peso de huevo	58.0 ^a ± 4.5	59.6 ^a ± 3.6
Peso al nacimiento	42.3 ^a ± 3.5	42.6 ^a ± 2.8
Peso 12 h post nacimiento (sin ayuno)	38.3 ^a ± 2.3	41.0 ^a ± 3.3
Peso 24 h post nacimiento (sin ayuno)	36.5 ^a ± 1.8	39.3 ^a ± 3.5
Peso 48 h post nacimiento (sin ayuno)	36.5 ^a ± 2.9	38.8 ^a ± 4.3
Peso post Ayuno (12 h)	40.4 ^a ± 3.4	41.4 ^a ± 2.5
Peso post Ayuno (24 h)	36.8 ^a ± 4.5	38.9 ^a ± 3.0
Peso post Ayuno (48 h)	35.2 ^a ± 2.7	36.3 ^a ± 2.0
Pérdida de peso (g) post ayuno (12h)	1.9 ^a ± 1.0	1.6 ^a ± 1.1
Pérdida de peso (g) post ayuno (24h)	4.7 ^a ± 2.0	3.1 ^b ± 1.0
Pérdida de peso (g) post ayuno (48 h)	8.2 ^a ± 1.4	6.5 ^b ± 1.4
Pérdida de peso (%) post ayuno (12h)	4.5 ^a ± 2.3	3.8 ^a ± 2.4
Pérdida de peso (%) post ayuno (24h)	11.3 ^a ± 5.9	7.3 ^b ± 2.0
Pérdida de peso (%) post ayuno (48h)	19.0 ^a ± 3.2	15.0 ^b ± 2.6
Glucosa sanguínea (mg dL ⁻¹)	137.5 ^a ± 22.1	163.0 ^b ± 21.3
Triglicéridos sanguíneos (mg dL ⁻¹)	106.4 ^a ± 18.7	148.6 ^a ± 66.8

Literales ^{a, b} = diferencias estadísticas (P<0.05) dentro de fila.

En relación al peso de los pollitos al nacimiento, éste no fue afectado por el grupo ($P > 0.05$): 42.3 ± 3.5 vs 42.6 ± 2.8 g pollito⁻¹ para G_{Control} y $G_{\text{Experimental}}$ respectivamente (Tabla 4). Resultados que se pueden relacionar al peso del huevo (Tabla 4). Willemsen *et al.* (2008) establecieron que el peso del pollito al nacimiento está determinado por el peso del huevo; Puesto que, el cual a su vez, es afectado principalmente por la madurez sexual y edad de la reproductora (Hernández, 2005). No obstante, el peso del pollito al nacimiento y, la pérdida de peso que ocurre entre el nacimiento y el retiro de la máquina nacedora, es una de las mayores preocupaciones en el proceso de incubación (Tona, 2004), debido al tiempo que transcurre desde la clasificación, vacunación, sexado, embalaje y transporte a la granja avícola, mismo que puede provocar una demora de hasta 72 horas (Dibner *et al.*, 2005; Quintana, 2011), por lo que, una mayor demora al acceso al agua y alimento puede provocar: desbalance energético, pérdida de peso en el pollito y un menor desarrollo del pollito desde la primer semana hasta el sacrificio (González *et al.*, 2003).

Retomando los resultados de la presente investigación y en donde no se encontraron diferencias entre los pesos de los pollitos dentro de las horas de ayuno evaluadas (12, 24 y 48 h) entre grupos (Tabla 4), sí se encontraron diferencias en la pérdida de peso post-ayuno entre la h 24 y 48 h de ayuno ($P < 0.05$), cuyas pérdidas de peso, expresadas en porcentaje, fueron de 11.3 ± 5.9 y $7.3 \pm 2.0\%$ para G_{Control} y $G_{\text{Experimental}}$ respectivamente al finalizar las 24 h de ayuno y de 19.0 ± 3.2 y $15.0 \pm 2.6\%$ de pérdida de peso de los pollitos al finalizar las 48 h de ayuno para G_{Control} y $G_{\text{Experimental}}$ respectivamente. Posiblemente, la menor pérdida de peso en $G_{\text{Experimental}}$ estuvo relacionada con los mayores valores de NGS y triglicéridos encontrados en los pollitos de éste grupo (163.0 ± 21.3 y 148.6 ± 66.8 mg dL⁻¹ para glucosa y triglicéridos respectivamente). Osorio *et al.* (2015) observaron que los NGS en los pollitos oscilan entre 152 y 182 mg dL⁻¹. De

acuerdo con esta información se puede observar que los NGS de los pollitos de ambos grupos estuvieron cercanos a los valores de Osorio citado anteriormente. Martínez *et al.* (2010) indican que una reducción en la glucosa, en las aves, puede favorecer la disminución de la circulación sanguínea de los lípidos, lo cual puede afectar los pesos de los pollitos en las primeras horas de vida. Posiblemente los pollitos del $G_{\text{Experimental}}$, misma que se vio reflejada en los valores encontrados de triglicéridos sanguíneos presentaron una mayor tolerancia a los ayunos (menor pérdida de peso corporal) debido a sus mayores niveles de glucosa sanguínea (Tabla 4) los cuales no mostraron diferencia estadística significativa ($P > 0.05$), aunque presentó mejor comportamiento en triglicéridos los pollitos del $G_{\text{Experimental}}$ (tabla 4) en comparación con los pollitos del G_{Control} . Aunado a ello en este grupo (experimental) los niveles de triglicéridos encontrados fueron mayores en el grupo experimental.

Carrillo *et al.* (2012) indican, que las altas concentraciones de lípidos en el huevo se relacionan con la viabilidad del desarrollo del embrión y del pollito después de la eclosión, por ser la principal fuente de energía (Osorio y Flórez, 2011), la cual pudo haber contribuido a una menor movilización de reservas corporales (glucógeno), para lograr mantener las funciones vitales (Veerkamp, 1997; citado por Mendoza 2014), lo que también, podría explicar la menor pérdida de peso corporal en los pollitos del $G_{\text{Experimental}}$, en comparación con la pérdida de peso de los pollitos del G_{Control} . Además, el contenido de lípidos en sangre e hígado, se debe probablemente a la transferencia intacta, desde la madre al embrión las cuales permanecen después de la eclosión (Osorio y Flórez, 2011).

CONCLUSIÓN

La adición de 24 g *O. ficus-indica* a la dieta de las gallinas incrementa el colesterol total en huevo y la glucosa sanguínea en los pollitos, lo que favorece al pollito durante las primeras horas de vida en donde se refleja una menor pérdida de peso corporal al finalizar un periodo de hasta 48 h de ayuno.

BIBLIOGRAFÍA

- Arce, M.J., López, C.C., Ávila, G.E. 2003. Efecto de la línea genética y edad de las reproductoras pesadas sobre los parámetros productivos del pollo de engorda. *Veterinaria México*. 34(1): 97-102.
- Barrientos, O.R.A. 2003. Evaluación del huevo fértil no apto para incubación. Tesis de licenciatura. Universidad de Zamorano. P. 12
- Carranza, S.J.A. 2001. Caracterización morfológica de *Opuntia* spp. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. México, pp. 82.
- Carrillo, Bahena, A., Casas, M., Carranco, M.E., Calvo, C.C., Ávila, E., Pérez, G.F. 2012. El alga *Sargassum* spp como alternativa para reducir el contenido de colesterol en el huevo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 46(2): 181-186.
- Carrillo, D.S., Ávila, G.E., Barkin, D., Rosas, M., Fuente, G.B., Núñez, A., Solano, L., Pérez, G.R.F. 2008. Verdolaga (*Portulaca oleracea*): recurso potencial en la alimentación de gallinas ponedoras. Departamento de Nutrición Animal, Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zuribán. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.
- Faraway, J.J. 2006. Extending the Linear Model with R Generalized Linear, Mixed Effects and Nonparametric Regression Models. Chapter 6 Generalized Linear Models. *Texts in Statistical Science*. Pp. 126-148.
- Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO). 2013. Revisión del desarrollo avícola. [En línea] <http://www.fao.org/docrep/019/i3531s/i3531s.pdf>
- González, H.M.E., Ambrosio, M.K.G., Sánchez, E.S. 2006. Regulación neuroendócrina del hambre, la saciedad y mantenimiento del balance energético. *Investigación en Salud*. 8(3): 191-200.
- Hernández, U.M.I., Pérez, T.E., Rodríguez, G.M.E. 2011. Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus-indica*) at varied ages in an organic harvest. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 8: 1287-1295.
- Hernández, M.M.C., Vázquez, R.M.A. 2009. Industrias Bachoco: estrategias de localización y competitividad ante el nuevo escenario avícola. *Región y Sociedad*. 21(46):27-51.

- Hernández, S.J., Cuca, G.M., Martínez, A., González, A.M., Becerril, P.C. 2006. Nivel óptimo biológico y económico del calcio en gallinas Leghorn de segundo ciclo de postura. *Agrociencia*. 40: 49-57.
- Hernández, S.J., Cuca, G.M., Pró-Martínez, A., González, A.M., Becerril, P.C. 2005. Nivel óptimo biológico y económico del calcio en gallinas Leghorn de segundo ciclo de postura. *Agrociencia*. 40: 49-57.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Anuario Estadístico del Estado de Michoacán. Pp. 45-50.
- Littel, R.C., Henry, P.R., Ammerman, C.B. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *Journal Animal Science*. 76: 1216-1231.
- Martínez, Y., Valdivié, M., Estarrón, M., Solano, G., Córdova, J. 2010. Perfil lipídico sérico de gallinas ponedoras alimentadas con niveles de semilla de calabaza (*Cucurbita máxima*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 44(4): 399-405.
- Medina, M.R.; Tirado, G.E.; Mejia, H.I.; Camarillo, S.I.; Cruz, V.C. 2006. Digestibilidad in situ de dietas con harina de nopal deshidratado conteniendo un preparado de enzimas fibrolíticas exógenas. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 41: 1173-1177.
- Olgun, O., Yazgan, O., Cufadar, Y. 2013. Effect of supplementation of different boron and copper levels to layer diets on performance, egg yolk and plasma cholesterol. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 27: 132-136.
- Osorio, H.J., Flórez, D.J. 2011. Diferencias bioquímicas y fisiológicas en el metabolismo de lipoproteínas de aves comerciales. *Biosalud*. 10(1): 88-98.
- Osorio, H.J., Quenan, E.Y., Ramírez, G.F. 2015. Concentraciones de glucemia e insulinemia en pollos broilers machos y hembras de cuatro semanas de edad y su relación con el peso. *Revista de Medicina Veterinaria*. 32:21-28.
- Pachón, M. L. A. 2004. Factores determinantes de un pollito de buena calidad. *Industria Avícola*, 4(5): 6.
- Quintana, L.J.A. (2011). *Avitecnia Manejo de las Aves Domésticas más Comunes*. Editorial trillas. 4ta edición. México pp. 200-202.
- Rosales, E., Fernández, S., Ruíz, P. 2010. Calidad de huevo en reproductoras y su impacto. [En línea] <https://www.engormix.com/MA-avicultura/genetica/articulos/calidad-huevo-reproductoras-impacto-t2950/103-p0.htm>
- Tona, K., Bruggemana, V., Onagbesana, O., Bamelisa, F., Gbeassorb, M., Mertensa, K., Decuyperea, E. 2004. Day-old Chick Quality: Relationship to Hatching Egg Quality, Adequate Incubation Practice and Prediction of Broiler Performance. *Avian and Poultry Biology Reviews*. 16(2): 109-119.
- Unión Nacional de Avicultores (UNA). 2014. Producción avícola mexicana en la última década. [En línea]. <http://www.elsitioavicola.com/articles/2613/produccion-avicola-mexicana-en-la-ultima-dacada/>

- Willemsen, H., Everaert, N., Witters, A., De Smit, L., Debonne, M., Verschuere, F., Garain, P., Berckmans, D., Decuypere, E., Bruggeman, V. 2008. Critical assessment of chick quality measurements as an indicator of posthatch performance. *Poultry Science*. 87:2358-2366.
- Yin, J.D. Shang, X.G., Li, D.F., Wang, F.L., Guan, Y.F., Wang, Z.D. 2008. Effects of dietary conjugated linoleic acid on the fatty acid profile and cholesterol content of egg yolks from different breeds of layers. *Poultry Science*. 87: 284-290.

CAPITULO IV

EFFECTO DE LA ADICION DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) EN LA DIETA DE GALLINAS PRODUCTORAS DE HUEVOS FÉRTIL SOBRE VIABILIDAD DE POLLITO

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) en la dieta de gallinas productoras de huevo fértil sobre viabilidad de pollito. Para ello, se utilizaron 14 gallinas Plymouth Rock Barradas de 50 semanas de edad. Éstas se establecieron en dos grupos (G): G_{Control} (n=7), grupo que recibió alimento comercial *ad libitum*; G_{Experimental} (n=7), grupo al cual se le suministró alimento comercial *ad libitum* más 24 g de nopal en base fresca (BF) ave⁻¹ día⁻¹. Ambos grupos fueron alimentados durante diez semanas y al término del periodo de alimentación las aves se sometieron a proceso de monta natural para proceder a la fase de incubación. Con el total de pollitos nacidos se evaluó: índice de calidad de acuerdo a los siguientes indicadores físicos: cierre del ombligo, deshidratación, peso corporal, apariencia, patas y dedos, cloaca, ojos, abdomen y mortalidad. Los datos obtenidos se analizaron mediante la metodología de modelos categóricos y las diferencias entre grupos se obtuvieron por medio de X^2 . Se encontró que, los indicadores de índice de calidad de los pollitos fueron mayores ($P < 0.05$) en G_{Experimental} con respecto a G_{Control}: 85.3 vs 70.3% (ombligo bien cerrado), 68.7 vs 55.6% (peso corporal superior a 42 g), 91.0 vs 79.6% (patas y dedos normales), 75.4 vs 56.1% (abdomen reducido) y 186.0 vs 175.9% (índice de calidad). La adición de 24 g de *O. ficus-indica* a la dieta de las gallinas mejora los principales indicadores de calidad de pollito, lo que puede garantizar un mejor desempeño en las aves.

Palabras clave: Alimento no convencional, *O. ficus-indica*, calidad de pollito.

INTRODUCCIÓN

La avicultura en México, al igual que otros países, se ha logrado estructurar como una industria altamente competitiva (Constance, 2008). Por ello, la avicultura es la actividad más dinámica de la producción nacional, caracterizada por tener un mayor grado de integración en comparación con el resto de los sectores pecuarios (Medina *et al.*, 2012; Hernández y Padilla, 2015). La industria avícola en el país posee una cadena productiva completa y compleja, donde el desempeño y eficiencia dependen principalmente del primer eslabón, la incubación; eslabón que condiciona la eficiencia de la futura producción (Pachón, 2007). Es decir, el máximo rendimiento productivo se obtiene, a partir del nacimiento de las pollitas y continua durante su ciclo de postura (Pachón, 2007).

La calidad del pollito, es afectada por diversos factores que lo pueden afectar desde el primer día de nacido (Cortazar, 2010). Se ha señalado que, entre las causas más importantes que influyen en la calidad de éstos, se encuentra: el estado sanitario de los progenitores, el manejo y la calidad del huevo fértil (Abad y García, 2013). Con respecto a la calidad del huevo, ésta se centra en la calidad nutricional del propio huevo, vital para el adecuado desarrollo embrionario del ave (Oviedo, 2012). No obstante, no solo basta con el factor nutricional del huevo se requiere, para el éxito del desarrollo embrionario, de adecuadas condiciones durante el proceso de incubación (Surai *et al.*, 2016); la cual está mayormente soportada por sofisticadas técnicas y tecnologías, de ésta manera actualmente sigue siendo la preocupación el aporte nutricional contenido en el huevo para el desarrollo del embrión y para hacer frente a las necesidades energéticas durante las primeras horas de vida post-eclosión.

Las características físico-químicas del huevo pueden ser modificadas a través de la dieta de las gallinas. Dichas características abarcan desde las internas hasta las externas. Así por ejemplo,

el cascarón del huevo que depende del calcio puede ser modificado (grosor) mediante el aporte de este mineral en las dietas de las gallinas (Jerez *et al.*, 2014). El aumento del grosor del cascarón en los huevos fértiles juega en papel importante en dos funciones: i) mantener la integridad del huevo durante el transporte (Filardi *et al.*, 2013) y ii) fuente de calcio para el embrión (formación ósea) (Oviedo, 2012). Sin embargo, los precios de los minerales se han incrementado, lo que conlleva a la búsqueda de alternativas naturales y económicas para garantizar niveles adecuados de este mineral y que se reflejen en la calidad del producto final (Torres, 2010). Así mismo, las grasas en especial el colesterol y los fosfolípidos son moléculas con funciones en el desarrollo neural y en las membranas celulares del pollito (Sahan *et al.*, 2014). Además, en las aves después de la eclosión, el colesterol presente en la yema sería una de las principales fuentes de energía durante las primeras horas de vida (Osorio y Flórez, 2011). Por ello, la importancia del colesterol en huevo específicamente para el huevo fértil y de acuerdo con lo anteriormente mencionado, en el sentido de la modificación de la calidad del huevo a través de la alimentación. El nopal ha probado ser una estrategia viable para incrementar el colesterol en huevo (Capítulo I y II de ésta investigación) pero además ésta cactácea por sus contenidos de minerales (Hernández *et al.*, 2011) pudiera ofrecer ventajas en otros componentes del huevo fértil y verse reflejados por ejemplo en la estructura ósea del pollito.

El nopal, como complemento de la dieta de las gallinas, además de ejercer mayor deposición de colesterol en huevo. Puede proveer de: vitamina C, carbohidratos, calcio, sodio, potasio, hierro y fibra (Medina *et al.*, 2006; Guzmán y Chávez, 2007); su contenido de extracto etéreo de 0.27 g 100g⁻¹, 22.3 g 100 g⁻¹ de cenizas y de éstos se concentran aproximadamente: 28.65 mg/g de calcio, 4.6 mg/g de fosforo, 12.0 mg/g de magnesio, 69.7 mg/g de potasio, 0.35 mg/g de sodio y 0.13 mg/g de hierro (Hernández *et al.*, 2011; Pérez *et al.*, 2015). De acuerdo con ésta

información, el nopal adicionado a la dieta de gallinas de postura podría enriquecer la fuente de minerales contenidos en el huevo fértil mejorando el desarrollo embrionario e incrementando la viabilidad del pollito en las primeras horas de vida. Por ello, el objetivo fue evaluar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) en la dieta de gallinas productoras de huevo fértil sobre calidad de pollito.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este experimento se desarrolló en las instalaciones del sector avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, localizadas en el km 9.5 de la carretera Morelia Zinapécuaro, municipio de Tarímbaro, Michoacán, México, durante los meses de marzo a junio de 2016. En la región el clima es templado sub-húmedo con lluvias en verano y precipitación pluvial anual de 754.8 mm, la temperatura oscila entre 2.5 y 25.1 °C. La altitud es de 1920 msnm (INEGI, 2010).

Para el experimento se utilizaron 14 gallinas Plymouth Rock Barradas con una edad promedio de 50 semanas, distribuidas aleatoriamente en jaulas individuales en dos grupos (G): G_{Control} (n=7), grupo el cual recibió alimento[®] *ad libitum*; el G_{Experimental} (n=7) grupo que se sometió a una dieta (alimento comercial) a la cual se le adicionó 24 g de nopal $\text{ave}^{-1} \text{ dia}^{-1}$. El alimento comercial fue suministrado *ad libitum* y el nopal se ofreció finamente picado y en base fresca (BF) todos los días a las 8:00 am previo retiro y pesaje del alimento sobrante del día anterior (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis bromatológico de dieta de grupo control y experimental

Determinación muestra	Alimento comercial en BS ^{&}	Alimento comercial + 24g de nopal en BS ^{&}
Humedad g %	7.0	10.0
Materia seca g%	93.0	90.0
extracto etéreo (grasa) g%	6.88	5.44
Fibra cruda g%	12.56	13.52
Proteína cruda g%	16.76	13.34
Cenizas (minerales) g %	13.51	17.64
E. L. N. (carbohidratos) g %	50.30	53.47

[&]=Base seca

La recolección de los cladodios de *O. ficus indica* se realizó en la parcela de la FMVZ y solo se seleccionaron cladodios del tercer nivel (abajo hacia arriba), la edad de dichos cladodios fue aproximadamente 90 días con las siguientes características morfológicas y bromatológicas (Tabla 2). Se suministraron 200 g de alimento comercial ave⁻¹ día⁻¹ para cumplir con el criterio de alimentación *ad libitum*, puesto que Quintana (2011), estableció que el consumo promedio diario de gallinas de postura es de 120 g. Mientras que los 24 g de nopal en BF suministrado diariamente gallina⁻¹ día⁻¹ representó el 20% de consumo diario (d⁻¹), de alimento comercial calculado ave⁻¹. A ambos grupos se les dio un seguimiento durante diez semanas, mismas que duró la fase experimental, con previa semana de adaptación a las dietas.

Tabla 2. Características morfológicas y bromatológicas de los cladodios de *O. ficus-indica* del tercer nivel

Variable	Promedio	D.E.
Largo del cladodio (cm)	46.9	4.7
Ancho del cladodio (cm)	15.5	2.6
Peso fresco (kg)	1.1	0.3
Humedad (%)	88.9	3.3
Cenizas (%)	26.5	2.5
Fibra (%)	32.9	1.2
Proteína cruda (%)	5.2	0.8
Grasa (%)	0.5	0.08
E.L.N. (%)	34.6	2.6

El periodo de incubación fue de 21 días, se utilizó una incubadora comercial con una capacidad de 270 huevos a una temperatura de 37.5 ± 0.5 °C y humedad de 55 a 60%. Al total de pollitos nacidos se les evaluó la viabilidad de pollito por medio de la evaluación establecida por Quintana, (2011) el cual mide principalmente los indicadores de: cierre del ombligo, deshidratación, peso corporal, apariencia, patas, cloaca, ojos, patas y dedos, abdomen y mortalidad.

Los datos obtenidos se analizaron mediante la metodología de modelos categóricos (CATMOD, siglas en ingles) y las diferencias se obtuvieron por medio de X^2 (Agresti, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos en los resultados anteriores (Capítulo III, pág. 57) de viabilidad de pollito, se encontró que la adición de ésta cactácea ocasionó una menor pérdida de peso en los pollitos, provenientes de huevos con alto contenido de colesterol, al finalizar el ayuno de 48 h al cual fueron sometidos. No obstante, dentro de la viabilidad de pollito además de esta tolerancia al ayuno se debe de considerar otros indicadores morfológicos del pollito al momento del nacer y dichos indicadores en su conjunto conforman el denominado índice de calidad (ICA) del pollito recién nacido (Tona *et al.*, 2003). Aspectos que se abordan a continuación.

Efecto de la adición de O. ficus indica sobre viabilidad de pollito. En lo que respecta a la calidad de pollito evaluada en la presente investigación (Tabla 3), se encontró efecto de grupo ($P < 0.05$) sobre índice el índice de calidad del mismo de calidad del pollito al nacimiento (ICA), el cual fue mayor en $G_{\text{Experimental}}$ ($P < 0.05$) con respecto a G_{Control} ; (186.3 y 176.7% respectivamente). Resultado que de acuerdo con Quintana (2011) los pollitos del $G_{\text{Experimental}}$

pueden ser catalogados como de buena calidad, mientras que los pollitos provenientes del G_{Control} por el ICA obtenido fueron catalogados de regular calidad.

Tabla 3. Porcentaje de los indicadores que conforman el índice de calidad de pollito de acuerdo al grupo

Indicador	Clasificación	Grupo		
		Control	Experimental	Diferencia
Ombligo	bien cerrado	70.3	85.3	15.0
	entreabierto	27.6	13.7	14.0
	abierto sin plumón	2.0	0.9	1.1
Deshidratación	nula	100	100	---
	intermedia	---	---	---
	franca	---	---	---
Peso corporal	>42 g	55.6	68.7	13.1
	38 a 42 g	33.8	26.0	7.8
	<38 g	10.4	5.2	5.2
Apariencia	vivaz	96.3	98.7	2.4
	deprimido	3.6	1.2	2.4
	muy deprimido	---	---	---
Patas	aceradas	98.2	100	1.8
	articulación rojiza	1.8	0.0	1.8
	enrojecidas	---	---	---
Cloaca	limpia	100	100	---
	húmeda	---	---	---
	pastosa	---	---	---
Ojos	abiertos redondos	95.4	96.7	1.3
	entreabiertos	4.5	3.2	1.3
	alargados	---	---	---
Patas y/o dedos	normales	79.6	91.0	11.4
	ligeramente torcidos	20.4	9.0	11.4
	francamente torcidos	---	---	---
Abdomen	suave y reducido	56.1	75.4	19.3
	medio abultado	43.2	24.6	18.6
	abultado y duro	0.7	0.0	0.7
Mortalidad	Todos vivos	100	100	---
Índice de calidad		175.9 ^a	186.0 ^b	---

Literales ^{a, b} = diferencias estadísticas (P<0.05) dentro de fila.

De acuerdo con la Tabla 3 se puede observar que para aspectos del indicador ombligo en recién nacidos el 85.3% de los pollitos del G_{Experimental} analizados presentaron ombligos bien cerrados,

un 13.0% entre abiertos ello en comparación con los pollitos del G_{Control} en donde 27.6% de los pollitos analizados presentaron ombligos entre abiertos esta desventaja en los pollitos del G_{Control} repercutirá en la ganancia de peso y conversión alimenticia de estos en el futuro, ello de acuerdo a Mariño *et al.* (2015).

Otro indicador en el cual sobresalieron los pollitos del $G_{\text{Experimental}}$ fue: el peso corporal. En esta variable se encontró que en el 68.7% de los pollitos analizados de este grupo mostraron pesos superiores a 42 g y el 26.0% se encontraron entre 38 y 42 g. Ello en comparación con el 55.6% de pollitos del G_{Control} con pesos superiores a 42 g y 33.8% de pollitos de este grupo que mostraron pesos entre 38 y 42 g (Tabla 3). Vázquez *et al.* (2006) determinaron que el peso del pollito al nacimiento ésta determinado por el peso de huevo. No obstante, el peso promedio del huevo fértil de acuerdo con los grupos analizados, fueron iguales ($P > 0.05$) (Capítulo III, pág. 57). Esto sugiere que los pollitos del $G_{\text{Experimental}}$ provenían de huevos de mayor calidad en comparación con los huevos provenientes del $G_{\text{Experimental}}$.

Otro factor en la calidad de pollito, es la conformación de patas y dedos en donde el 91.0% de los pollitos del $G_{\text{Experimental}}$ presentaron patas y dedos normales y solo un 9.0% del total de pollitos analizados en este grupo presentó dedos ligeramente torcidos ello en comparación con el 20.4% de los pollitos del G_{Control} que presentaron al nacimiento problemas de patas y dedos específicamente dedos ligeramente torcidos. Posiblemente, estas malformaciones en los pollitos del G_{Control} se pueden relacionar a una mala calidad de cascarón y una deficiencia de calcio presente en la dieta. La deficiencia de calcio en la dieta, de acuerdo con Hernández, (2005), puede ocasionar huesos flexibles, edema de cuello y abdomen prominente. Además, se relaciona generalmente con pollitos clasificados dentro de la categoría de calidad pobre (Tona *et al.*, 2003).

CONCLUSIÓN

La dieta complementada con 24 g de *O. ficus indica* ave⁻¹ día⁻¹ para gallinas productoras de huevo fértil, es una alternativa viable para la industria de la incubación puesto que incrementa el índice de calidad en los pollitos al nacimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad, J.C., García, F.J. 2013. Valoración de la calidad del pollito. 50 Congreso Científico de Avicultura. Simposio WPSA-AECA, Lleida, 2, 3 y 4 de Octubre.
- Agresti, A. 2007. An Introduction to Categorical Data Analysis. Second edition. Chi-Squared Test of Independence. Wiley Series in Probability and Statistics. Pp. 34-40.
- Ávila, O.F.S., Vargas, B.J.E., Nieto, P.J.E. 2013. Efecto del apagado de la resistencia de la nacedora sobre la calidad de pollito. *Spei Domus*. 9(18):9-14.
- Carranza, S.J.A. 2001. Caracterización Morfológica de *Opuntia* spp. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Chapingo, México, pp. 82.
- Cobb-Vantress. (2013). Guía de manejo de la incubadora.
- Constance, D.H. 2008. The southern model of broiler production and its global implications. *Culture and Agriculture*. 30(1): 17-31.
- Cortazar, J. 2010. Manejo de la incubación para mejora de la calidad de pollito para carne. *Selecciones Avícolas. Jornadas Profesionales de Avicultura 2010*. Pamplona. 17-21.
- Filardi, R.S., Tedeschi, L., Aldrigui, L.G., Gacia Neto., M., Andrade, M.F., Laurentiz, A.C. 2013. Aplicación del concepto de equilibrio de electrolitos en la calidad del huevo de las gallinas ponedoras almacenados en temperatura ambiente. Congreso Científico de Avicultura. Simposio WPSA-AECA, Lleida, 2, 3 y 4 de Octubre de 2013.
- Flores, O.M.A., Reveles, H.M. 2010. Producción de nopal forrajero de diferentes variedades y densidades de plantación. *Revista Salud Pública y Nutrición, Edición especial No. 5*: 198-210.
- Hernández, T.J.M., Padilla, H.R. 2015. Evolución reciente de la producción y consumo de huevo en México. *Mundo Siglo XXI*. 37(11): 75-87.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Anuario Estadístico del Estado de Michoacán. Pp. 45-50.

- Jerez, S.M.P., Camacho, M.A., Quijano, G.V., Lozano, T.S., Sosa, M.E., Ruiz, L.J. 2014. Características del Huevo en Gallinas de Traspatio Alimentadas con Formulación Alternativa con o sin Verdolaga. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*. 4:158-160.
- Mariño, K., López, F. C., Isturiz, J. 2014. Efecto de la edad de la reproductora sobre algunas variables medidas en huevos fértiles durante el proceso de incubación. *Mundo Pecuario*. 10(2): 51-59.
- Medina, C.J.C., Rejón, A, M.J., Valencia, H.E.R. 2012. Análisis de rentabilidad de la producción y venta de pollo en canal en el municipio de Acachen, Yucatán, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 16(30): 909-919.
- Medina, M.R.; Tirado, G.E.; Mejia, H.I.; Camarillo, S.I.; Cruz, V.C. 2006. Digestibilidad in situ de dietas con harina de nopal deshidratado conteniendo un preparado de enzimas fibrolíticas exógenas. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 41: 1173-1177.
- Meijerhof, R. Incubation principles: what does the embryo expect from us? *Proceedings of the 20th Australian Poultry Science Symposium*. Sydney Australia. Pp. 106-110.
- Oviedo, R.E.O. Efectos de la incubación en la salud, desempeño y la calidad del pollo. *Memorias 5ª Reunión Asociación de Especialistas en Ciencias Avícolas del Centro de México A.C. (AECACEM)*. Querétaro, México. Marzo 2012. Pp. 8-17.
- Pachón, L.A. 2007. Factores determinantes de un pollito de buena calidad. 2007. http://www.amevea-ecuador.org/datos/Factores_Determinantes_de_un_Pollito_de_Buena_Calidad.PDF (3 de Diciembre de 2016).
- SAS Institute Inc. 2010. *Generalizer Linear Models*. In chapter 4. *The UNIVARIATE Procedure*. Base SAS® 9.2 Procedures Guide Statistical Procedures. Third Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. pp. 317-329.
- Surai, F.P., Fisinin, I.V., Karadas, F. 2016. Antioxidant systems in chick embryo development. Part 1. Vitamin E, carotenoids and selenium. *Animal Nutrition*. 2: 1-11.
- Tona, K., Bamelis, F., De Ketelaere, B., Bruggeman, V., Moraes, V., Buyse, J., Onagbesan, O., Decuypere, E. 2003. Effects of egg storage time on spread of hatch chick quality, and chick juvenile grow. *Poultry Science*. 82: 736-741.
- Torres, S.A. 2010. Composición química del nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiantes (experiencias de Brasil). IX Simposium- Taller Nacional y II Internacional de Producción del Nopal y Maguey. Edición Especial No. 5 pp. 143-151.
- Yahia, E.M., Mondragón, C. 2011. Nutritional components and antioxidant capacity of ten cultivars and lines of cactus pear fruit (*Opuntia* spp). *Food Research International*. 44: 2311-2318.

DISCUSIÓN GENERAL

Actualmente, las principales alternativas con respecto a la reducción de colesterol en huevo para plato se han enfocado en la modificación de la dieta de las gallinas (Valenzuela y Morgado, 2006), utilizando principalmente la adición de insumos principalmente de harinas, semillas y fármacos en las dietas convencionales (Martínez *et al.*, 2010; Carrillo *et al.*, 2012). Mismas que han logrado reducir en cierto grado el colesterol presente en el huevo. Sin embargo, las desventajas de este tipo de insumos es su disponibilidad como en el caso de las harinas (algas marinas) y semillas (de calabaza) por su bajo rendimiento de biomasa.

Rodríguez *et al.* (2009) establecieron que la mayor parte de los insumos en la dietas de gallinas son productos agrícolas que requieren de un gran aporte hídrico, como las semillas de calabaza. En este sentido, y para aspectos de la presente investigación, se optó por evaluar el efecto de *O. ficus-indica* por poseer las siguientes ventajas: i) disponibilidad (Gutiérrez *et al.*, 2007), ii) alta producción de biomasa (Sáenz *et al.*, 2006) y iii) planta que es tolerante a bajas precipitaciones pluviales, es decir, requiere de poca agua (Saravia, 2004; Rodríguez, 2010). Además, se consideró hipotéticamente, a esta cactácea como una alternativa para disminuir el contenido de colesterol en huevo por su efecto hipocolesterolemico observado en otras especies animales (García, 2013; Ortiz *et al.*, 2015). No obstante, se encontró que la adición de nopal en la dieta de las gallinas de postura incrementó los niveles de colesterol en el huevo (Capítulo I y II, pág. 27 y 45).

El incremento de colesterol en huevo provocado por la adición de *O. ficus indica* a la dieta de las gallinas posiblemente se debió a que esta planta posee bajo contenido de ácidos grasos (oleico y linoleico) (Atti *et al.*, 2006), al respecto en las aves, se ha demostrado que dietas con bajo contenido de lípidos activará el mecanismo homeostático para sintetizar mayor cantidad de

colesterol endógeno y asegurar el depósito de este metabolito en el huevo; ante la privación de niveles adecuados de lípidos en el organismo (Yin *et al.*, 2008).

Liu *et al.* (2010), indican que la clave para identificar estrategias viables para la producción de huevos con bajo contenido de colesterol, se centra en la comprensión de los factores que regulan la absorción y el metabolismo del colesterol en la gallina. Así mismo, para alcanzar el éxito en la reducción de éste lípido, sin activar los mecanismos homeostáticos que incrementan el colesterol en huevo, se requieren utilizar vegetales que provean suficiente cantidad de esteroides en la dieta de las aves y que no compitan con el proceso normal de absorción intestinal entre el colesterol dietético y el colesterol biliar (Rudkoska *et al.*, 2006). Ello de acuerdo a las dos fuentes de colesterol en gallinas: a) exógena (a través del alimento) y b) endógena, la cual proviene de la síntesis de *novo* en el hígado.

En relación a la fuente endógena, ésta se considera la principal fuente de colesterol (Osorio y Flórez, 2011) y, el colesterol en conjunto con los lípidos presentes en el organismo de las aves, es su principal fuente de energía. Además éste compuesto lipídico es fundamental en la formación de membranas celulares y vehículo para las vitaminas liposolubles (A, D, E, y K) (Murray *et al.*, 2010). Así mismo, el colesterol en el organismo del ave, participa como precursor de hormonas sexuales (producción de estrógenos) (Schmidt *et al.*, 2007) y en consecuencia, con los procesos de producción de huevo (Estrada y Restrepo, 2013). Por lo que, reducirlo más allá de cierto punto, afectaría la productividad de la gallinas; pero además, una reducción del colesterol en huevo ($< 210 \text{ mg huevo}^{-1}$), sobre todo en huevo fértil, puede disminuir la capacidad de eclosión y viabilidad del pollito durante las primeras horas de vida (FAO, 2013).

De acuerdo con lo citado en el párrafo anterior y a los resultados de la presente investigación (Capítulo I y II), se estableció que el colesterol en huevo se incrementó en el grupo de gallinas

que recibieron la adición de 24 g *O. ficus indica* al alimento comercial. Dicho incremento de colesterol en huevo no beneficia en la producción de huevo para plato, pero si puede contribuir con la industria de huevo fértil para la incubación, en donde además de incrementar la productividad (número de huevos; Tabla 6; Capítulo I y II) mejora el porcentaje de eclosión y viabilidad del pollito durante las primeras 48 horas (Tabla 3, Capítulo III).

El colesterol, específicamente en el proceso de incubación, es fundamental en el desarrollo del embrión, puesto que éste depende en 90% de los requerimientos energéticos presentes en la yema, mismos que son aportados principalmente éste compuesto lipídico (Leone *et al.*, 2010). Además, el colesterol (molécula estructural primordial en la membrana celular) está implicado en las vías de señalización para el desarrollo del embrión (Chen *et al.*, 2016) y su absorción ocurre durante la última semana de incubación (Leone *et al.*, 2010) para otorgar al pollito, la reserva de energía requerida para hacer frente a la demanda de ésta durante las primeras horas de vida post eclosión (Nangsuay *et al.*, 2015).

Los hallazgos relacionados con el incremento de colesterol en huevo provocado por la adición de 24 g de nopal a la dieta de las gallinas sugiere ser una estrategia viable para la industria de la incubación, la cual enfrenta varios retos, entre los que destacan obtener huevo fértil de calidad (Cobb, 2013), establecer parámetros de bioseguridad que aseguren porcentajes elevados de incubabilidad; pero sobre todo, obtener pollitos vigorosos que soporten hasta 72 horas de ayuno (Jacobs *et al.*, 2016), durante el transporte hacia las granjas de producción (Vargas *et al.*, 2005; Oviedo, 2012). Los ayunos prolongados a los cuales pueden ser sometidos los pollitos recién nacidos implica que éstos posean las suficientes reservas energéticas para hacer frente a éste reto (Maekawa *et al.*, 2014).

Los pollitos recién nacidos obtienen energía a partir de sus reservas energéticas (colesterol), dependen únicamente de la transferencia intacta que existe de la madre hacia el embrión, mismo que permanece hasta después de la eclosión (Osorio y Flórez, 2011). Se ha observado, que durante la fase de transporte y llegada a las granja existe una gran probabilidad de pérdida de peso de los pollitos en el mejor de los casos; puesto que, se han reportado pérdidas de peso de 0.94, 2.9, 4.3 y 5.9 g a las 8, 24, 32 y 48 horas de ayuno post nacimiento respectivamente, lo que pudiera significar una pérdida de peso de 0.13 g h^{-1} , ello de acuerdo a los estimadores de la regresión ($\beta_0 = -0.054$ y $\beta_1 = 0.13$; $P < 0.05$), obtenidos a partir de los resultados de Torres (2013).

En el caso de la presente investigación, se estableció (a partir de los estimadores de la regresión) una pérdida de peso h^{-1} de los pollitos provenientes de huevos del grupo control de 0.18 g ($P < 0.05$). Mientras que en los pollitos provenientes de huevos de gallinas del $G_{\text{Experimental}}$ (dietas adicionadas con nopal) la pérdida de peso h^{-1} fue de 0.13 g ($P < 0.05$). Así, la pérdida de peso h^{-1} ayuno en pollitos provenientes de gallinas alimentadas con dieta convencional (G_{Control}) presentaron mayor pérdida de peso comparado con lo reportado por Torres (2013). Sin embargo, la pérdida de peso ($\beta_1 = 0.13 \text{ g h}^{-1}$ ayuno) es similar a lo reportados por Torres (2013). Obviamente, la pérdida de peso está en función de la calidad del pollito recién nacido y ésta depende, en gran parte, de la reserva energética que el pollito posee para hacer frente al ayuno durante el transporte (EFSA, 2011).

A pesar de que, se considera que el mayor impacto de la incubación, no se centra únicamente en el número de pollitos nacidos, se debe tomar en cuenta que la calidad del pollito se reflejará en el desarrollo y productividad de éste en su vida futura (Oviedo, 2012). En investigaciones de pollos de engorda 10 g extras de peso a los 7 días de vida representan entre 45 y 100 g más de peso a los 45 días post eclosión (Cortázar, 2008; Chica *et al.*, 2010); así como, un mejor estado

inmunológico, mayor termo tolerancia y desarrollo muscular. Ello debido, a que la utilización de los nutrientes presentes del saco vitelino proporcionan un mejoría durante el desarrollo digestivo, lo que implica mayor producción de enzimas digestivas (Chica *et al.*, 2010).

Si bien es cierto, que se considera que, el mayor impacto de la incubación se centra en el número de pollitos nacidos, también debe ser considerado el crecimiento y desempeño de las aves en producción (Oviedo, 2012) mismos que están en función de la calidad del pollito al nacimiento; y esto ocurre desde que el huevo ésta en formación y fertilización hasta la colocación en la granja del pollito. Además, de otros factores implicados en estos procesos, tales como: calidad y almacenamiento del huevo, proceso de incubación y condiciones durante la eclosión (Surai *et al.*, 2016).

En relación al almacenamiento del huevo fértil antes de su incubación, se ha investigado que el tiempo almacenamiento de huevo fértil tiene un impacto negativo sobre el peso del pollito al nacimiento, es decir, conforme se incrementa el tiempo de almacenamiento disminuye el peso del pollito al nacimiento (Goliomytis *et al.*, 2015). En la ésta investigación, el tiempo de almacenamiento del huevos fértiles para ambos grupos analizados estuvo dentro del rango ideal de almacenamiento del huevo para incubar, ello de acuerdo con Vázquez *et al.* (2006): 4-6 días es el tiempo óptimo de almacenamiento del huevo fértil para incubar.

Como se puede observar la calidad del pollito al nacimiento juega un rol importante en la eficiencia productiva de los sistemas de producción de huevo fértil, sin embargo ello depende de múltiples factores que deben ser constantemente monitoreados para establecer los mecanismos de corrección a través de la retroalimentación en cada una de las fases productivas inherentes a la producción del huevo fértil y la incubación en ésta investigación, solo se evaluó el efecto de la adición de *O. ficus indica* a la dieta de las gallinas como una estrategia viable

para las tres etapas más importantes en la producción de huevo fértil (formación, fertilidad e incubabilidad) en este sentido se puede establecer que dicha cactácea provoca una mejoría en el producto final, es decir, en la capacidad del pollito al nacimiento para tolerar ayunos hasta de 48 horas sin mostrar una pérdida de peso considerable producto de un mayor aporte del colesterol en huevo provocado indirectamente por el efecto de la adición de 24 g de nopal ave⁻¹ día⁻¹ al alimento de su progenitora (gallina).

CONCLUSIÓN GENERAL

El nopal adicionado (24 g ave⁻¹ día⁻¹) a la dieta de gallinas productoras de huevo fértil es una estrategia nutricional viable para la industria de la incubación, sobre todo para aquellas que abastecen pollitos recién nacidos a granjas en las cuales se requiere realizar un largo traslado por la distancia que existe entre éstas y la industria incubadora y, que someten a los pollitos a periodos largos de ayuno con su consecuente pérdida de peso. En éste sentido, la dieta adicionada con *O. ficus-indica* favorece el incremento de colesterol en el huevo, lo que permite al pollito poseer una fuente energética que utilizará cuando sea sometido a periodos de ayuno (48 h) post-eclosión. Además de que dicha dieta provee de una mayor fuente de energía (336.7 mg huevo⁻¹), también mejora los indicadores morfológicos de los pollitos recién nacidos, en esencia, se obtiene un mayor porcentaje de pollitos con pesos ideales, disminuye las malformaciones de patas y dedos y, genera pollitos con abdómenes reducidos; características que aseguran un mejor desarrollo del pollito y una mayor productividad de éste en su etapa productiva, en síntesis la dieta de las gallinas adicionada con nopal mejora la calidad del huevo fértil, el porcentaje de incubabilidad y la calidad del pollito recién nacido.

BIBLIOGRAFÍA

- Atti, N., Mahouachi, M., Rouissi, H. 2006. The effect of spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) supplementation on growth, carcass, meat quality and fatty acid composition of male goats kids. *Meat Science*. 73 (2): 229-235.
- Carrillo, Bahena, A., Casas, M., Carranco, M.E., Calvo, C.C., Ávila, E., Pérez, G.F. 2012. El alga *Sargassum* spp como alternativa para reducir el contenido de colesterol en el huevo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 46(2): 181-186.
- Chen, D., Chen, M., Lu, M., Yang, M, Xie, L. 2016. Cholesterol induces proliferation of chicken primordial germ cells. *Animal Reproduction Science*.
- Chica, P.J.D., Restrepo, Q.G.M., González, N.A., Llano, R.B., Valderrama, P.A. 2010. Evaluación del suministro de un alimento especial en el transporte y dos primeros días de vida del pollo de engorde y los beneficios sobre su desempeño zootécnico y económico. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 5(2):45-53.
- Cobb-Vantress. 2013. Guía de manejo de la incubadora.
- Cortázar, P.J. 2008. Aspecto-calidad de pollito recién nacido. *Jornadas profesionales de avicultura*. Aranda de Duero. 19/23-5.2008. 19-26.
- Estrada, P.M.M., Restrepo, B.L.F. 2013. Efecto de un complejo de vitaminas y aminoácidos en el comportamiento productivo de gallinas ponedoras. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 11(1): 225-234.
- European Food Safety Authority (EFSA). 2011. Scientific opinion concerning the welfare of animals during transport. *EFSA Journal*. 9(1):1966.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2013. Revisión del desarrollo avícola. *Función de las aves de corral en la nutrición humana*. 1-10.
- García, O.H.T. 2013. Identificación de pectinas y mucílago de cuatro variedades de nopal (*Opuntia ficus-indica* L.) miller y validación de su actividad hipoglucémica. Tesis de doctorado. Universidad Autonoma de Nuevo León. Pp. 101-105.
- Ginestra, G., Parker, L.M., Bennett, N.R., Robertson, J., Mandalari, G., Narbad, A., Lo Curto, B.R., Bisignano, G., Faulds, B.C., Waldron, W.K. 2009. Anatomical, chemical, and biochemical characterization of cladodes from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.]. *Journal of Agricultural and food chemistry*. 57(21): 10323-10330.
- Goliomythis, M., Tshipouzian, T., Hager, T.A.L. Effects of egg storage on hatchability, chick quality, performance and immunocompetence parameters of broiler chickens. *Poultry Science*. 94: 2257-2265.
- Gutiérrez, O.E., Elías, A., Brnal, H. Morales, H. 2007. Usos alternativos del nopal forrajero. VI Simposium Taller Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noroeste de México. Marín, N.L. México.
- Hernández, V.X., Petrone, G.V.M., Fuente, M.B. 2005. Sistema de producción animal I. Calidad del pollito.

- Jacobs, L., Delezie, E., Duchateau, L., Goethals, K., Ampe, B., Lambrecht, E., Gellynck, X., Tuytens, M.F.A. 2016. Effect of post-hatch transportation duration and parental age on broiler chicken quality, welfare, and productivity. *Poultry Science*. 95: 1973-1979.
- Leone, V.A., Worzalla, S.P., Cook, M.E. 2010. Evidence that maternal conjugated linoleic acid negatively affects lipid uptake in late-stage chick embryos resulting in increased embryonic mortality. *Poultry Science*. 89: 621-632.
- Liu, X., Zhao, H.L., Thiessen, S., House, J.D., Jones, P.J.H. 2010. Effect of plant sterol-enriched diets on plasma and egg yolk cholesterol metabolism in laying hens. *Poultry Science*. 89: 270-275.
- Maekawa, M.D., Reyna, S.P., Alba, C.M., Gonzáles, G.E. 2014. Comparación del sistema de incubación de etapa única vs etapa múltiple sobre los parámetros productivos de huevos de reproductoras de carne de tres edades. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 25(4): 494-503.
- Martínez, Y., Valdivié, M., Estarrón, M., Solano, G., Córdova, J. 2010. Perfil lipídico sérico de gallinas ponedoras alimentadas con niveles de semilla de calabaza (*Cucurbita máxima*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 44(4): 399-405.
- Murray, K.R., Bender, A.D., Botham, M.K., Kennelly, J.P., Rodwell, W.V., Weil, P.A. 2010. *Harper Bioquímica ilustrada*. Editorial Mc Graw Hill. 28ª edición. Pp. 121-130.
- Nangsuay, A., Meijerhof, R., van den Anker, I., Heetkamp, M.J.W., Kemp, B., van den Brand, H. 2015. Development and nutrient metabolism of embryos from two modern broiler strains. *Poultry Science*. 94: 2546-2554.
- Nasr, J. 2015. Evaluación de la formulación de dietas basadas en aminoácidos digeribles y en energía verdadera metabolizable en el comportamiento de gallinas reproductoras de engorde. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 49(1):53-56.
- Ortiz, R.R., Ordaz, O.G., Juárez, C.A., Pérez, S.R.E. 2015. Efecto del nopal (*Opuntia ficus-indica*) sobre niveles de glucosa sanguínea en cerdas lactantes y su repercusión en el consumo voluntario de alimento. XXIV Congreso de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal y XL Congreso de la Sociedad Chilena de Producción Animal, Sochipa. A.G. Puerto de Varas Chile. 9-13 Noviembre de 2015. Pp. 825.
- Osorio, H.J., Flórez, D.J. 2011. Diferencias bioquímicas y fisiológicas en el metabolismo de lipoproteínas de aves comerciales. *Biosalud*. 10(1): 88-98.
- Oviedo, R.E.O. Efectos de la incubación en la salud, desempeño y la calidad del pollo. *Memorias 5ª Reunión Asociación de Especialistas en Ciencias Avícolas del Centro de México A.C. (AECACEM)*. Querétaro, México. Marzo 2012. Pp. 8-17.
- Rodríguez, A.R., Montes, H.S., Rangel, L.J.A., Mendoza, E.M., Latournerie, M.L. 2009. Caracterización morfológica de la calabaza pipiana (*Cucurbita argyrosperma* Huber). *Agricultura Técnica en México*. 35(4): 378-388.
- Rodríguez, E.C. 2010. Establecimiento de una plantación de nopal verdura y algunas pruebas de deshidratación de nopalito. *Revista Salud Pública y Nutrición*. Edición especial. 5: 230-231.

- Rudkoska, I., Roynette, C.E., Nakhasi, D.K., Jones, P.J. 2006. Phytosterols mixed with médium chain triglycerides and high oleic canola oil decrease plasma lipids in overweight men. *Metabolism*. 55: 391-395.
- Sáenz, C. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO*.
- Sahan, U., Ipek, A., Sozcu, A. 2014. Yolk sac fatty acid composition, yolk absorption, embryo development, and chick quality during incubation in eggs from Young and old broiler breeders. *Poultry Science*. 93: 2069-2077.
- Saravia, T.P.L. 2004. Programa fundamental para el desarrollo económico de Estado de México hacia el 2005 y de competitividad visión 2020. Cluster Nopal. Tecnológico de Monterrey, México.
- Schmidt, E.M.S., Locatelli, D.R., Santin, E., Paulillo, A.C. 2007. Patologia clínica em aves de produção – Uma ferramenta para monitorar a sanidade avícola – revisão. 12(3): 9-20.
- Surai, F.P., Fisinin, I.V., Karadas, F. 2016. Antioxidant systems in chick embryo development. Part 1. Vitamin E, carotenoids and selenium. *Animal Nutrition*. 2: 1-11.
- Torres, C.J.L. 2013. Determinación de la pérdida de peso de pollo BB Cobb 500 desde su salida de la nacedora hasta su instalación en diferentes granjas avícolas de la provincia TACNA. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Pp. 46 y 47.
- Valenzuela, B.A., Morgado, T.N. 2006. Breve historia de la relación entre el colesterol y las enfermedades cardiovasculares. *Revista Chilena de Nutrición*. 33(2): 130-134.
- Vargas, M.R., Moreno, V.F.C., Forero, E.A. 2005. Evaluación del efecto del tiempo de transporte sobre la pérdida de peso de pollos de engorde en dos líneas comerciales. *Revista de Medicina Veterinaria*. 10: 77-94.
- Vázquez, J.L., Prado, O.F., García, L.J., Juárez, M.A. 2006. Edad de la reproductora sobre la incubabilidad y tiempo de nacimiento en el pollo de engorda. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 10(1):21-28.
- Yin, J.D. Shang, X.G., Li, D.F., Wang, F.L., Guan, Y.F., Wang, Z.D. 2008. Effects of dietary conjugated linoleic acid on the fatty acid profile and cholesterol content of egg yolks from different breeds of layers. *Poultry Science*. 87: 284-290.