



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

TESIS:

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*O. ficus-indica*) A LA DIETA DE
GALLINAS (*Gallus gallus domesticus*) SOBRE COLESTEROL (sérico y en huevo),
PRODUCTIVIDAD, INCUBABILIDAD Y VIABILIDAD DEL POLLITO BAJO EL
ESQUEMA DE AVICULTURA FAMILIAR**

Que presenta:

MVZ EMMANUEL CISNEROS RUIZ

Para obtener el título de Maestro en Ciencias Biológicas

Director de Tesis:

Dra. Rosa Elena Pérez Sánchez

Codirector de Tesis:

Dr. Ruy Ortiz Rodríguez

Morelia, Michoacán, marzo de 2026



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

TESIS:

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*O. ficus-indica*) A LA DIETA DE
GALLINAS (*Gallus gallus domesticus*) SOBRE COLESTEROL (sérico y en huevo),
PRODUCTIVIDAD, INCUBABILIDAD Y VIABILIDAD DEL POLLITO BAJO EL
ESQUEMA DE AVICULTURA FAMILIAR**

Que presenta:

MVZ EMMANUEL CISNEROS RUIZ

Para obtener el título de Maestro en Ciencias Biológicas

Director de Tesis:

Dra. Rosa Elena Pérez Sánchez

Codirector de Tesis:

Dr. Ruy Ortiz Rodríguez

Comité Tutorial:

Dr. Aureliano Juárez Caratachea

Dr. Gerardo Ordaz Ochoa

MCS. Manuel López Rodríguez

Morelia, Michoacán, marzo de 2026.

AGRADECIMIENTOS

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

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por brindarme la oportunidad de seguir con mi formación académica.

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia y a la Facultad de Químico Farmacobiología por brindarme espacio y material para realizar el presente trabajo.

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo económico durante toda esta etapa

Así mismo, agradezco a mi comité tutorial que me acompañó durante el proceso y desarrollo del trabajo de investigación:

A la Dra. Rosa Elena Pérez Sánchez directora de tesis, por sus conocimientos, paciencia y aportaciones que enriquecieron la elaboración de este trabajo.

Al Dr. Ruy Ortiz Rodríguez codirector de tesis, por su apoyo, contribución, enseñanzas y paciencia dirigida en el desarrollo del trabajo de investigación.

Al Dr. Aureliano Juárez Caratachea, por su apoyo, confianza y conocimientos brindados durante mi formación académica.

Al Dr. Gerardo Ordaz Ochoa, por sus conocimientos, comentarios y aportaciones que enriquecieron mi conocimiento durante la elaboración del presente trabajo.

Al Dr. Manuel López Rodríguez, por su apoyo y observaciones que permitieron la elaboración de mi trabajo de investigación.

A Diana Guadalupe Galván Caballero, por todo su amor, apoyo y comprensión en cada momento de la elaboración de este trabajo, gracias por darme ánimos en cada momento difícil.

A Elías Cruz por sus consejos brindados que me permitieron recordar en todo momento de dónde vengo y el propósito por el cual realice un postgrado.

Por otra parte, agradezco el apoyo incondicional de la familia Morales Ruiz, quienes durante toda mi formación estuvieron al pendiente de mi proceso y bienestar personal.

Así mismo agradezco a todos mis amigos y compañeros, por su apoyo durante esta etapa de formación académica. Agradezco específicamente a mis amigos: Leonardo Heredia, Diana Lorenzo, Edgar Catillo, Daniela López, Adrián Hernández, Aarón Ponce de León, Michelle González, Valentina Navarrete, Guadalupe Cabrera y Manuel Galván, por todos aquellos momentos, risas y palabras de aliento que me permitieron darme un respiro para poder continuar con mi proceso de postgrado.

DEDICATORIAS

A dios, por acompañarme en todo momento

A mis padres Martha Leticia Ruiz Macias y Raul Cisneros Chávez

A mis hermanos Raul Alejandro y Luis Carlos

*Gracias por todo, en especial por recordarme el valor de una familia a pesar de las
dificultades.*

ÍNDICE

RESUMEN GENERAL.....	1
GENERAL ABSTRACT.....	2
Capítulo I.....	3
INTRODUCCION GENERAL	3
HIPÓTESIS GENERAL.....	9
HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	9
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
Capítulo II	11
METODOLOGÍA GENERAL	11
Capítulo III.....	17
Resumen	17
Introducción.....	18
Enfoque Metodológico	20
Modelo esquemático de los factores ambientales y genéticos que inciden en la viabilidad del pollito recién nacido (24 h post-eclosión)	22
Incubabilidad y viabilidad del pollito post-eclosión (24 h) en el SPAF	27
Factores endógenos y exógenos que inciden sobre la viabilidad de pollito en los SPAF	29
Incubabilidad y viabilidad del pollito post-eclosión (24 h) bajo un contexto de tecnología: selección del huevo para incubar e incubación artificial.....	34
Conclusiones.....	42
Consideraciones Generales	43
Bibliografía	44
Capítulo IV	53

EFFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*O. ficus-indica*) A LA DIETA DE GALLINAS (*Gallus gallus domesticus*) SOBRE
COLESTEROL (sérico y en huevo), PRODUCTIVIDAD, INCUBABILIDAD Y VIABILIDAD DEL POLLITO BAJO EL
ESQUEMA DE AVICULTURA FAMILIAR

Resumen	53
Introducción	54
Material y Métodos	56
Resultados	59
Discusión	63
Conclusiones	65
Bibliografía	65
Capítulo V	69
Resumen	69
Introducción	70
Materiales y Métodos	71
Resultados	77
Discusión	82
Conclusión	85
Bibliografía	85
Capítulo VI	90
Resumen	90
Introducción	91
Material y Métodos	93
Resultados	97
Discusión	100
Conclusión	102
Bibliografía	102
Capítulo VII	106
DISCUSIÓN GENERAL	106

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*O. ficus-indica*) A LA DIETA DE GALLINAS (*Gallus gallus domesticus*) SOBRE
COLESTEROL (sérico y en huevo), PRODUCTIVIDAD, INCUBABILIDAD Y VIABILIDAD DEL POLLITO BAJO EL
ESQUEMA DE AVICULTURA FAMILIAR**

CONCLUSIONES GENERALES.....	110
BIBLIOGRAFÍA GENERAL.....	111

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Capítulo III	Pág.
Tabla 1. Pesos (g) de los pollitos y su paquete visceral de acuerdo con la temperatura de incubación	39
Tabla 2. Pesos (g) de los pollitos, yema residual, tiempo de incubación (horas) y pérdida peso del huevo (%) de acuerdo con la humedad relativa en incubación.	41
Figura 1. Esquema generalizado de un Sistema de Producción Pecuaria.	20
Figura 2. Representación esquemática (caja negra y abierta) del SPAF	26
Figura 3. Visión esquemática del sistema biológico en torno a la viabilidad del pollito, supervivencia y crecimiento de la parvada en el SPAF	28
Figura 4. Dinámica del comportamiento de peso del huevo (PH) y de la yema (PY) de acuerdo con la edad (semanas) de las gallinas	30
Figura 5. Reformulación de la visión esquemática del sistema de la incubación artificial en torno a la viabilidad del pollito, supervivencia y crecimiento de la parvada	35
Figura 6. Condiciones del huevo a incubar que pueden favorecer o perjudicar el desarrollo embrionario y viabilidad del pollito al nacimiento	37
Figura 7. Dinámica del comportamiento de la eclosión (%) y peso del pollito al nacimiento de acuerdo con la temperatura (°C) de incubación	38
Figura 8. Predicción del comportamiento del porcentaje de incubabilidad de acuerdo con el porcentaje de oxígeno y dióxido de carbono	41
Figura 9. Estrategias para mejorar el porcentaje de eclosión y viabilidad del pollito al nacimiento	42

Capítulo IV

Tabla 1. Composición y valor nutricional de la dieta e insumos utilizados	57
Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para indicadores de crecimiento y consumos de alimento de gallinas Rhode Island Red de acuerdo con el grupo y la fase	60
Tabla 3. Estimadores de la regresión cuadrática de acuerdo con la clasificación del peso corporal inicial de las pollas Rhode Island Red	61
Tabla 4. Indicadores productivos durante el ciclo de postura de gallinas Rhode Island Red	62

Figura 1. Dinámica de crecimiento (kg) de las pollas de 18 a 44 semanas de edad de acuerdo con el grupo (G)	62
--	----

Capítulo V

Tabla 1. Composición y valor nutricional de la dieta ^{&} e insumos utilizados	72
Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para el consumo (kg) de nopal/corral de acuerdo con el grupo, a la fase y a la etapa	77
Tabla 3. Correlaciones de Pearson para las variables productivas y colesterol sanguíneo	78
Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados para el número de huevos puestos y kg de huevo de acuerdo con el grupo y la etapa	80
Tabla 5. Tasa de eclosión y de no eclosión de acuerdo con el grupo, la etapa y la causa de no eclosión	82
Figura 1. Medias de mínimos cuadrados para el consumo de alimento comercial de las gallinas de acuerdo con el grupo, a la fase y a la etapa.	78
Figura 2. Medias de mínimos cuadrados para el peso corporal de las gallinas de acuerdo con el grupo, fase y etapa.	79
Figura 3. Dinámica de comportamiento del contenido de colesterol sérico durante la fase experimental de acuerdo con la anidación Grupo(Fase).	81
Figura 4. Medias de mínimos cuadrados para colesterol en huevo (mg/g) de acuerdo con el grupo y a la etapa	81

Capítulo VI

Tabla 1. Composición y valor nutricional de la dieta ^{&} e insumos utilizados	93
Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para los indicadores de calidad de huevo y contenido de minerales en cascarón de acuerdo con el grupo y la etapa de la fase experimental	97
Tabla 3. Frecuencias y porcentajes de los indicadores de calidad del pollito al nacimiento de acuerdo con el grupo	98
Tabla 4. Porcentajes de la calidad del pollito al nacer de acuerdo con la clasificación, el grupo y la etapa de la fase experimental	99

RESUMEN GENERAL

La presente investigación plantea el uso de dos variedades de nopal (*O. ficus-indica*) -verdura (NV) y forrajero (NF)- como parte de la dieta de las gallinas. Se eligió el NV (para consumo humano) debido a que los excedentes no se comercializan y se requiere de alternativas técnicas para mitigar el desperdicio y optimizar este recurso disponible. En este sentido, el objetivo general fue evaluar el efecto de la adición del NV y NF en base fresca (BF) a la dieta de gallinas (*Gallus gallus domesticus*) Rhode Island Red (RIR) bajo un modelo experimental de avicultura familiar (SPAF) sobre la productividad, colesterol sérico (ColS), el colesterol en yema de huevo (ColYh), incubabilidad y viabilidad del pollito al nacimiento (VPN). Mientras que los objetivos específicos (OE) fueron: 1) Caracterizar y modelar esquemáticamente los factores que afectan la incubabilidad y VPN en los SPAF; 2) Evaluar el efecto de la variabilidad del peso (a la recepción) de pollas RIR sobre la dinámica de crecimiento y su relación con la edad del inicio de postura (EIP); 3) Evaluar el efecto de la adición de NF y NV en BF a la dieta de gallinas RIR bajo un modelo experimental de SPAF sobre indicadores de crecimiento y consumo de alimento (CA); 4) Evaluar el efecto de la adición de NF y NV en BF a la dieta de gallinas RIR sobre ColS, ColH y su relación con la productividad; 5) Determinar el efecto de la adición de NF y NV en BF a la dieta de gallinas RIR sobre ColS, ColH y su relación con la incubabilidad; 6) Evaluar el efecto de la adición de NF y NV en BF a la dieta de gallinas RIR sobre calidad de huevo y VPN. **Principales resultados:** de acuerdo con la revisión bibliográfica, se encontró que los SPAF enfrentan a serias limitantes técnicas, genéticos y ambientales que provocan déficit productivo de la parvada y, en donde, la principal acción -sin alterar o modificar las principales características del SPAF- es optimizar la incubación natural a través de la selección del huevo y la higiene de nidos para asegurar el desarrollo embrionario y la viabilidad de los pollitos al nacimiento (VPN). En lo referente a la variabilidad del peso (a la recepción) de pollas RIR-, se utilizaron 36 pollas de 18 semanas de edad (SE) distribuidas en tres grupos (G) de acuerdo con la clasificación de su peso corporal (Pc) a la recepción: G1, retardo de crecimiento ($P_c = 0.719 \pm 0.058$ kg); G2, desarrollo transicional ($P_c = 0.891 \pm 0.050$ kg) y G3, cercano a la madurez sexual ($P_c = 1.056 \pm 0.073$ kg). Grupos sometidos una alimentación *at libitum* específica para la especie. El periodo de la fase experimental fue de 26 semanas. Se encontró que, la EIP fue menor ($p < 0.05$) en G3 (27.3 SE) vs G2 (28.9 SE) y G1 (30.1 SE). En producción de huevo (ProdH), G3 mostró tendencia hacia mejores promedios (52.5 huevos puestos/grupo/semana y 3.035 kg/grupos/semana) vs G2 y G1. Para el caso de la adición de NF y NV en BF a la dieta de gallinas RIR, se utilizaron 45 gallinas RIR distribuidas en tres grupos ($n = 15$ gallinas/grupo): testigo o GT, alimento convencional (AC); GNF, AC+NF y GNV, AC+NV. Se suministraron 120 g/ave/día de AC y 24 g/ave/día de NV y NF en BF. Las aves fueron confinadas en corrales de 3.0 m². Se encontró que el ColS promedio fue mayor ($p < 0.05$) en GNF (137.5 mg/dL) vs GT (129.5 mg/dL) y GNV (128.2 mg/dL); el ColYh se redujo ~20.8% en GT y GNV, y se mantuvo con GNF. En GNF se observó mayor ($p < 0.05$) peso de cascarón (5.6 g) e índice de cascarón (9.4%) vs GT y GNV. El GNV mostró mayores ($p < 0.05$) Unidades Haugh (83.6) vs GNF y GT. La tasa de eclosión (TE) y la tasa de mortalidad embrionaria temprana (TMET) no difirieron entre grupos ($TE \leq 69.3\%$; $TMET \leq 5.7\%$). La VPN observada mostró una tendencia hacia una mayor puntuación (94.1) en GNF y GNV vs GT (92.9), así como una reducción del 50% de pollitos de mala calidad: 6.3% GNF y GNV vs 12.5% en GT. Ante la susceptibilidad de los SPAF a factores internos y externos que inciden sobre su productividad, la selección de huevos para incubar, la higiene de nidos y la adición de NF y NV en BF a la dieta de gallinas representa una alternativa viable para eficientar dichos sistemas al mejorar la VPN.

Palabras clave: Producción avícola, traspatio, insumo no convencional, metabolismo.

GENERAL ABSTRACT

This research proposes the use of two varieties of cactus (*O. ficus-indica*) – vegetable (VC) and forage (FC) – as part of the diet of chickens. VC (for human consumption) was chosen because surpluses are not marketed and technical alternatives are needed to mitigate waste and optimize this available resource. In this regard, the overall objective was to evaluate the effect of adding VC and FC on a fresh basis (FB) to the diet of (*Gallus gallus domesticus*) Rhode Island Red (RIR) hens under an experimental family poultry farming model (FPPS) on productivity, serum cholesterol (Schol), egg yolk cholesterol (EChol), hatchability, and chick viability at birth (CBV). The specific objectives (SO) were: 1) To characterize and schematically model the factors affecting hatchability and VPN in SPAF; 2) To evaluate the effect of weight variability (on arrival) of RIR pullets on growth dynamics and its relationship with the age at onset of laying (AOL); 3) To evaluate the effect of adding FC and VC in FB to the diet of RIR hens under an experimental FFPS model on growth indicators and feed consumption (FC); 4) To evaluate the effect of adding FC and VC in FB to the diet of RIR hens under an experimental FFPS model on Schol, EChol, and their relationship with productivity; 5) Determine the effect of adding FC and VC in FB to the diet of RIR hens on Schol, EChol, and their relationship with hatchability; 6) Evaluate the effect of adding FC and VC in FB to the diet of RIR hens on egg quality and CBV. **Main results:** According to the literature review, it was found that FPPSs face serious technical, genetic, and environmental limitations that cause productive deficits in the flock, and where the main action —without altering or modifying the main characteristics of the FPPS—is to optimize natural incubation through egg selection and nest hygiene to ensure embryonic development and chick viability at birth (CBV). Regarding the variability in weight (upon arrival) of RIR pullets, 36 pullets aged 18 weeks (WO) were used and divided into three groups (G) according to their body weight (BW) upon arrival: G1, growth retardation ($P_c = 0.719 \pm 0.058$ kg); G2, transitional development ($BW = 0.891 \pm 0.050$ kg) and G3, close to sexual maturity ($BW = 1.056 \pm 0.073$ kg). Groups were fed ad libitum with species-specific feed. The experimental phase lasted 26 weeks. It was found that the AOL was lower ($p < 0.05$) in G3 (27.3 WO) vs G2 (28.9 WO) and G1 (30.1 WO). In egg production (EP), G3 showed a tendency toward better averages (52.5 eggs laid/group/week and 3.035 kg/groups/week) vs G2 and G1. For the addition of FC and VC in FB to the diet of RIR hens, 45 RIR hens were used, distributed into three groups ($n = 15$ hens/group): control or CG, conventional feed (CF); FCG, CF+FC; and VCG, CF+VC. 120 g/bird/day of CF and 24 g/bird/day of VC and FC were supplied in FB. The birds were confined in pens measuring 3.0 m². The average Schol was found to be higher ($p < 0.05$) in FCG (137.5 mg/dL) vs CG (129.5 mg/dL) and VCG (128.2 mg/dL); EChol was reduced by ~20.8% in CG and VCG, and remained unchanged in FCG. In FCG, higher ($p < 0.05$) shell weight (5.6 g) and shell index (9.4%) were observed vs CG and VCG. VCG showed higher ($p < 0.05$) Haugh Units (83.6) vs FCG and CG. The hatchability rate (HR) and early embryonic mortality rate (EEMR) did not differ between groups ($HR \leq 69.3\%$; $EEMR \leq 5.7\%$). The CBV observed showed a trend toward a higher score (94.1) in FCG and VCG vs CG (92.9), as well as a 50% reduction in poor-quality chicks: 6.3% FCG and VCG vs 12.5% in CG. Given the susceptibility of FPPSs to internal and external factors that affect their productivity, the selection of eggs for incubation, nest hygiene, and the addition of FC and VC in FB to the hen's diet represent a viable alternative for making these systems more efficient by improving the CBV.

Keywords: Poultry production, backyard, unconventional feed, metabolism.

Capítulo I

INTRODUCCION GENERAL

El grado de pobreza -principalmente en zonas rurales- se incrementó en las últimas décadas (FAO, 2016) y la opción más económica para la adquisición de proteína de origen animal (para los habitantes de dichas zonas) se supedita a los sistemas de producción pecuaria de traspatio o familiar; como ejemplo, los productos avícolas (carne de pollo y huevo) producidos por dichos sistemas son de bajo costo y fácil acceso en comparación con la carne de bovino o la de cerdo (FAO, 2023). En este sentido, la difusión e implementación de sistemas de producción avícola a escala familiar (SPAF) son una alternativa viable en las zonas marginadas o de extrema pobreza; puesto que, se requiere de poca inversión de tiempo y dinero en su construcción y supervivencia (Juárez *et al.*, 2010; FAO, 2013); ello, en comparación con los sistemas de producción avícola con mayor tecnología (SIPSA, 2013).

La escasa inversión de tiempo y dinero en los SPAF es un área de oportunidad para combatir la desnutrición en las familias de las zonas rurales con limitados recursos económicos; puesto que, la inversión en tecnología (rústica) y alimentación de las aves en el SPAF se obtiene del mismo predio familiar (Hernández-Sánchez *et al.*, 2023). Las gallinas, por lo general, se encuentran “libres” en el predio donde son alimentadas con productos agrícolas (granos) y subproductos (desperdicios de cocina) producidos por la propia familia, más lo que recolectan las aves (insectos y herbáceas) en el predio familiar (Barocio-Urue *et al.*, 2017).

En la actualidad, las investigaciones en torno a la productividad de los SPAF determinan que esta es ineficiente y, por su importancia deben buscarse alternativas para eficientizarlos sin que estos pierdan sus características principales (escasa inversión de tiempo y dinero) (Juárez-Caratachea *et al.*, 2015). En este sentido, existen numerosas investigaciones que explican el funcionamiento de los SPAF, que pueden ser utilizadas como referentes para eficientar su producción (Gutiérrez-Triay *et al.*, 2007; Juárez-Caratachea *et al.*, 2015; Juárez-Caratachea *et al.*, 2016; Mata-Estrada *et al.*, 2023). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que, este tipo de sistemas, aunque tienen una estructura sencilla, en realidad presentan un funcionamiento complejo (Juárez-Caratachea *et al.*, 2008).

La sencillez de la estructura del SPAF -de acuerdo con la teoría general de sistemas- radica básicamente en dos componentes: componente animal y componente humano, componentes que interactúan de forma simbiótica: el componente humano no manipula ni controla los eventos biológicos del ave, solo le ofrece comida y cierto grado de refugio y a cambio recibe del ave huevo y/o carne (Juárez-Caratachea *et al.*, 2015). Por ello, a este tipo de sistemas, se les denomina “sistema en paralelo” (Luhmann, 1998). La complejidad del SPAF se centra en describir el equilibrio u homeostasis del sistema bajo la ausencia de registros, tecnologías y técnicas para el control de los eventos biológicos inherentes al componente animal (parvada de gallinas). Elementos importantes para diagnosticar, solucionar y mejorar la eficiencia y rentabilidad de estos sistemas (Rosas y Lerdon, 2018). Pero, la introducción de dichos elementos al sistema provocaría que el sistema evolucione o desaparezca -pérdida de identidad- (Maturana y Varela, 1994; Luhmann, 1998).

La producción pecuaria no constituye, de manera general, un sistemas cerrado, puesto que está influida por el contexto y, por ello, la eficiencia productiva y rentabilidad de cualquier sistema pecuario -incluido el SPAF-, depende del nivel de las relaciones que mantiene con la comunidad dentro de la cual desarrolla su actividad: formación educativa de su gente, nivel tecnológico que posea la zona, condiciones legales y seguridad jurídica (regulaciones, disposiciones), condiciones económicas, políticas, demográficas, culturales y presiones o fuerzas de otros sistemas. Factores estos que serán determinantes en el grado de eficacia, eficiencia y efectividad que alcancen este tipo de sistemas (Narváez, 2009).

De acuerdo con el párrafo anterior, la solución a los problemas del SPAF pueden ser abordados desde distintos ángulos. Por ejemplo, desde el punto biológico, la eficiencia de los sistemas avícolas inicia con la selección de los futuros reproductores dentro del sistema (Rosas y Lerdon, 2018). Por lo que, la obtención y selección de los huevos para incubación es requisito indispensable para incrementar el porcentaje de eclosión y obtener pollitos de calidad (mayor peso y viabilidad) que contribuyan con la disminución de la mortalidad de estos animales en los primeros días post-nacimiento (Castellanos *et al.*, 2012). No obstante, en el SPAF, la selección de futuros reproductores no existe; más bien, impera la selección natural: las aves que escapan a las enfermedades, depredadores o que no son consumidas por la familia, serán posiblemente los futuros reproductores (Juárez-Caratachea *et al.*, 2008).

Otro factor que afecta la posibilidad de selección de futuros progenitores en los SPAF es la baja incubabilidad ($\approx 60\%$) y la alta mortalidad post-eclosión ($> 50\%$) (FAO, 2013; Juárez-Caratachea *et al.*, 2008). Ante estos porcentajes, el SPAF es susceptible de mejorar productivamente si se controlan y manipulan dichos eventos; pero, se debe establecer que, la viabilidad del pollito post-eclosión depende de múltiples factores, tanto genéticos como ambientales (Tona *et al.*, 2003; Beissinger *et al.*, 2005).

En la actualidad, el factor nutricional es el más investigado para mejorar el porcentaje de eclosión y viabilidad del pollito; así como, para incrementar el rendimiento productivo de los sistemas de producción avícola (Vázquez *et al.*, 2006; Rosas y Lerdón, 2018). Desde el punto nutricional, la menor incubabilidad del huevo y viabilidad del pollito están determinadas por la disminución de colesterol en huevo, debido a que afecta el desarrollo embrionario y la fortaleza del pollito al momento de nacer. Puesto que, para la viabilidad del pollito al nacimiento, es esencial un óptimo nivel de lipoproteínas en la yema de huevo tanto de muy baja densidad (VLDL) como de baja densidad (LDL) (Leone *et al.*, 2010; Martínez *et al.*, 2010; Osorio y Flórez, 2011).

Se ha establecido que las gallinas en etapa de postura mantienen niveles altos de VLDL en sangre -debido a la presencia de estrógenos- con la finalidad de proporcionar la energía suficiente para el desarrollo del embrión (Osorio y Flores, 2018). Partiendo del metabolismo, las lipoproteínas que llegan intactas a la yema de huevo son utilizadas para producir VLDL -específicas de la yema de huevo-, mismas que son resistentes a la hidrólisis de la lipoproteína lipasa (LPL) y que permite su utilización durante el desarrollo del embrión y posteriormente a la eclosión (Osorio y Flórez, 2011).

Debido a la importancia del colesterol en huevo fértil, una estrategia para incrementar dicho metabolito, en el huevo de la gallina, es la manipulación de la dieta de estos animales. Al respecto, Yin *et al.* (2008) sugirieron que el aumento de colesterol en el huevo se logra mediante el consumo de dietas baja en grasas; puesto que estas provocan la activación de la homeostasis y provoque la lipogénesis de *novo* en el organismo. Dicho fenómeno (lipogénesis de *novo*) es un mecanismo homeostático que provoca la síntesis de colesterol endógeno en respuesta a un menor contenido de lípidos en el bolo alimenticio (Jump, 2011; Cascales, 2015; Petersen y Shulman, 2018) y, en esencia, se activa para que el huevo obtenga

los niveles adecuados de este metabolito y con ello, asegurar la supervivencia del embrión y del pollito durante las primeras 24 h de haber nacido (Moran, 2007).

Otra alternativa para activar la lipogénesis de *novo* en las gallinas, es la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta de estas aves; cactácea utilizada y analizada en la actualidad como parte de la dieta para la alimentación animal y humana (Muñoz *et al.*, 2014; Ortiz-Rodríguez *et al.*, 2021; Martins *et al.*, 2023). El nopal (*O. ficus indica*) es una planta originaria de América, caracterizada por su gran distribución geográfica y adaptación a climas agrestes, esta última característica permite que dicha cactácea se encuentre presente en diversas regiones del mundo -p. ej. Europa, África y Asia- (Bautista-Justo *et al.*, 2010).

En México el nopal es clasificado de acuerdo a su utilización: forraje -comúnmente utilizado para la alimentación animal- y verdura -destinado principalmente al consumo humano- (Rodríguez-García *et al.*, 2007; López-Palacios *et al.*, 2012). Con respecto al nopal forrajero, de acuerdo con el SIAP (2023), en el país se siembran alrededor de 12,081 ha, de las cuales son cosechadas aproximadamente 12,079 ha, mismas que presentan una producción estimada de 10.8 t/ha. En lo referente a la variedad verdura, se reportan alrededor de 12,853 ha sembradas, con una producción aproximada/ha de 70.5 t (SIAP, 2023). No obstante, de acuerdo con López-Flores y Omaña-Silvestre (2023), en las zonas productoras de nopal verdura, existen excedentes (63%) de esta planta que no logran comercializarse a una edad óptima para el consumo humano (45 – 60 días), lo que obliga a los productores a desecharlos.

Pese a lo antes descrito, diversos autores (Guzmán-Loayza y Chávez, 2007; Astello *et al.*, 2015; Fernández-Pavia *et al.*, 2015) establecen que ambas variedades de nopal (forrajero y verdura), presentan componentes nutricionales importantes en la alimentación animal, tales como: aminoácidos (arginina, histidina, lisina, metionina y treonina), vitaminas (A, B1, B2 y C) y minerales (Ca, Na, P, Fe, Mn y K). Sin embargo, Galván (2025) al evaluar los resultados bromatológicos y fitoquímicos del nopal forrajero (90 días de edad) y verdura (45 días de edad), reportó diferencias entre dichas variedades en el contenido de compuestos nutricionales -específicamente en fibra cruda (FC), extracto libre de nitrógeno (ELN) y cenizas-, así como de compuestos bioactivos –flavonoides y fenoles totales-. Al respecto, el autor antes citado reportó que la variedad verdura presenta mayores porcentajes de FC (8.6%) y ELN (61.0%) vs la forrajera: 7.3% y 57.4%, respectivamente. Por otra parte, la variedad

forrajera presenta un mayor contenido de cenizas (23.7%), fenoles totales (1.0 mg EAG/g) y flavonoides (8.6 mg EQ/g) con respecto a la variedad verdura: 19.8%, 0.59 mg EAG/g y 1.2 mg EQ/g, respectivamente.

En este sentido, ambas variedades de nopal no presentan diferencias sustanciales en su composición nutricional (FC = 1.3%, ELN = 3.6%, Cenizas = 3.9%), lo cual sugiere que tanto el consumo de nopal forrajero como de verdura, no provocaría alguna variación en el aporte nutricional en los animales. Así mismo, a pesar de las diferencias en las concentraciones de compuestos bioactivos entre variedades (Flavonoides = 7.4 mg EQ/g y Fenoles = 0.41 mg EAG/g), ambas presentan un contenido suficiente para modificar el metabolismo del organismo sin causar variaciones biológicas relevantes entre variedades (İskender *et al.*, 2016; Lee *et al.*, 2019).

Bajo este contexto, la implementación del nopal forrajero, así como los excedentes de nopal verdura -no aptos para el consumo humano- a la dieta de gallinas pueden ser una alternativa viable para aprovechar su contenido nutricional y sus compuestos bioactivos (flavonoides y fenoles), los cuales inciden en la regulación metabólica, estimulación la síntesis de colesterol endógeno y formación del huevo. Al respecto, Calderón *et al.* (2021) evaluaron la adición de nopal forrajero en base fresca (BF) a la dieta de gallinas, mismos que reportaron: disminución del nivel de glucosa sérica, incremento de colesterol total en el huevo, mejoras en porcentaje de postura, incubabilidad y viabilidad del pollito recién nacido (peso ideal, abdomen reducido y disminución de malformaciones en patas y dedos) (Calderón, 2017).

La estrategia de incrementar el colesterol en huevo fértil, para eficientizar la obtención de reproductores, pone de relieve la discusión del riesgo del consumo de altas cantidades de colesterol provenientes en el huevo para el consumo humano (Oriondo *et al.*, 2013; García, 2016; Dussaillant *et al.*, 2017; López-Sobaler *et al.*, 2023). Al respecto, se debe aclarar que esta estrategia es para obtener huevo fértil. Pero, además, en las últimas décadas la comunidad científica ha establecido que, el contenido de colesterol en huevo al estar conformado principalmente por grasas insaturadas no representa un riesgo para la salud de los consumidores (Gil *et al.*, 2016; López-Sobaler *et al.*, 2017). Por otra parte, se ha demostrado que la reducción de colesterol en el organismo de las gallinas provoca: a) disminución de la productividad (menor cantidad de huevos/ciclo) (FAO, 2013), b) reduce el

porcentaje de incubabilidad de los huevos (Leone *et al.*, 2010) y c) reduce la viabilidad de los pollitos recién nacidos (Calderón, 2017).

Por lo antes descrito, la estrategia de la adición del nopal a la dieta de las aves, como elemento central para incrementar el colesterol en huevo fértil puede ser viable. Tomás *et al.* (2012), establecieron que el nopal (*Opuntia spp*) posee efecto hipocolesterolémico y, ello se debe, al contenido de fibra dietética (soluble e insoluble) presente en esta cactácea; la fibra soluble tiene la capacidad de formar complejos viscosos en el tracto gastrointestinal que interfieren con la emulsificación y absorción de lípidos (Jha and Mishra, 2021); mientras que la fibra insoluble acelera el tránsito intestinal, lo que disminuye el tiempo de contacto de los lípidos y la superficie del intestino (vellosidades intestinales) donde se lleva a cabo la absorción de nutrientes (Salahi *et al.*, 2025); aspecto que explicaría la activación de la lipogénesis de *novo*. Por ello, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la adición del nopal verdura y forrajero (*O. ficus-indica*) en base fresca a la dieta de gallinas (*Gallus gallus domesticus*) bajo un modelo experimental de avicultura familiar sobre la productividad, colesterol sérico colesterol en huevo, incubabilidad y viabilidad del pollito.

HIPÓTESIS GENERAL

Al adicionar 1% de nopal (*O. ficus-indica*) a la dieta de las gallinas (*Gallus gallus domesticus*) se incrementan el porcentaje de eclosión y viabilidad del pollito al producir hipocolesterolemia -mediada por el mucilago y pectinas del nopal- y, ante la disminución del colesterol sanguíneo, los mecanismos homeostáticos como la lipogénesis de *nov*o y redistribución de colesterol al huevo se activan; lo que garantiza la suficiencia energética en el huevo para el desarrollo embrionario y la viabilidad del pollito al nacimiento.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

1. El consumo de nopal (*O. ficus indica*) en BF provoca en las gallinas de postura disminución de colesterol sérico -por efecto del contenido de fibra dietética del nopal-. Lo cual activa la lipogénesis de *nov*o como mecanismo homeostático para la síntesis de colesterol endógeno generando la disponibilidad de dicho metabolito para su posterior movilización hacia la yema de huevo.
2. El consumo de nopal (*O. ficus indica*) mejora la formación de estructuras del huevo -yema y cascarón- debido su alto contenido de calcio, lo cual se refleja en una mayor producción y calidad del huevo.
3. El consumo de nopal (*O. ficus indica*) favorece en el proceso de incubación al mejorar la calidad del huevo fértil -mayor contenido de colesterol en yema y mayor densidad de cascarón. Lo que asegura la principal fuente de energía (colesterol) durante el desarrollo embrionario; mientras que el cascarón, además de actuar como barrera física contra patógenos, provee el calcio para el desarrollo esquelético del pollito.
4. Un mayor contenido de colesterol en yema y mayor densidad de cascarón en el huevo fértil permite mayor viabilidad del pollito durante las primeras horas post-nacimiento.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la adición del 1.0% de nopal verdura y forrajero (*O. ficus-indica*) en BF a la dieta de gallinas (*Gallus gallus domesticus*) bajo un modelo experimental de avicultura familiar sobre colesterol (sérico y en huevo), productividad, incubabilidad y viabilidad del pollito al nacimiento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar y modelar esquemáticamente los factores que afectan la incubabilidad y viabilidad del pollito al nacimiento en los SPAF.
2. Determinar la dinámica de crecimiento de pollas Rhode Island Red sobre crecimiento y su relación con el inicio del ciclo de postura.
3. Evaluar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) en BF a la dieta de gallinas de postura bajo un modelo experimental de avicultura familiar sobre indicadores de crecimiento y consumo de alimento
4. Evaluar el efecto de la adición de nopal (forrajero y verdura) en BF a la dieta de gallinas de postura bajo un modelo experimental de avicultura familiar sobre colesterol sérico, colesterol del huevo y su relación con la productividad
5. Determinar el efecto de la adición de nopal (*O. ficus-indica*) en BF a la dieta de gallinas de postura sobre colesterol sérico, colesterol del huevo y su relación con la incubabilidad
6. Evaluar el efecto de la adición de nopal (forrajero y verdura) en BF a la dieta de gallinas de postura sobre calidad de huevo y viabilidad del pollito al nacimiento.

Capítulo II

METODOLOGÍA GENERAL

La presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones del sector avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, ubicada en el km 9.5 de la carretera Morelia-Zinapécuaro, municipio de Tarímbaro, Michoacán, entre las coordenadas 19° 47' 44" N y 101° 10' 35" O (INEGI, 2022).

El trabajo de investigación fue dividido en cuatro capítulos, con los cuales se cubrieron los objetivos anteriormente planteados, tal como se presentan a continuación:

Capítulo I: Investigación documental para caracterizar y modelar esquemáticamente los factores que afectan la viabilidad del pollito al nacimiento en los sistemas de producción avícola familiar (SPAF), este se realizó mediante la búsqueda exhaustiva de artículos científicos en las bases de datos PubMed, Science Direct y Google Scholar. La búsqueda se centró en identificar factores ambientales y genéticos que inciden en la viabilidad del pollito post-eclosión, con el fin de correlacionarlos con las condiciones predominantes en el SPAF. Se consideraron publicaciones realizadas en el periodo comprendido entre el año 2000 y 2025. La información recabada fue analizada bajo los criterios de la Teoría General de Sistemas (TGS), lo cual permite el estudio del fenómeno de manera integral y no aislada, a través de la explicación de las interrelaciones entre los componentes del sistema y las variables externas que lo afectan (Bertalanffy, 1976).

Capítulo II: capítulo en donde se determinó el efecto de la variabilidad del peso de pollas Rhode Island Red a la recepción sobre crecimiento e inicio del ciclo de postura. Para el logro de este objetivo, se adquirieron 60 pollas Rhode Island Red de 18 semanas de edad provenientes de una empresa comercial privada. A la recepción de las pollas se realizó el pesaje de cada ejemplar para determinar la uniformidad de la parvada a través de estadísticos descriptivos. El resultado fue: 0.908 ± 0.241 kg/polla; mínimo 0.535 kg máximo 1.175 kg.

Establecida la variabilidad en el peso corporal (Pc) de las pollas a la recepción, se seleccionaron -mediante un muestreo intencional- a 36 pollas de la población original (60%)

para formar tres grupos -se descartó al resto de los ejemplares para reducir la variabilidad interna de cada grupo- bajo la siguiente clasificación: a) “retardo de crecimiento”, cuyo Pc sugirió mayor rezago fisiológico respecto al estándar racial; b) “desarrollo transicional” o Pc medio y c) “cercano a la madurez sexual”.

De acuerdo con la clasificación del Pc a la recepción de las pollas, los grupos quedaron de la siguiente forma: Grupo 1 o retardo de crecimiento, pollas (n= 12) con Pc promedio a la recepción de 0.719 ± 0.058 kg; Grupo 2 o con desarrollo transicional, pollas (n= 12) con Pc promedio a la recepción inicial de 0.891 ± 0.050 kg y Grupo 3 o con Pc a la recepción cercano a la madurez sexual, pollas (n= 12) con Pc de 1.056 ± 0.073 kg.

En cada grupo se evaluó: Pc (kg), ganancia de peso (GP), consumo de alimento (CA), edad de inicio de postura (EIP), peso del huevo al inicio de postura (PHvo), producción de huevo/semana (ProdH), porcentaje de postura (%P) e índice de conversión de huevo (ICH).

Para el caso del Pc, este se determinó pesando cada ave/semana/grupo con una báscula Torrey® L-PCR-40 con una precisión de 0.5 g. El CA se estableció mediante la resta del rechazo de alimento suministrado/día. Para ello, se utilizó una báscula Torrey® L-PCR-40 con una precisión de 0.5 g.

La GP se calculó restando el Pc de la semana anterior al Pc de la semana actual. Mientras que la EIP se determinó mediante el monitoreo diario de las gallinas, registrando la fecha del primer huevo puesto/gallina/grupo.

El PHvo se estableció pesando cada huevo/gallina/grupo con una báscula Sartorius® BL15000 con una precisión de 0.1 g. En el caso de la ProdH, esta se determinó con el peso del total de huevos puestos/semana/G. El cual se realizó con una báscula Torrey® L-PCR-40 con una precisión de 0.5 g.

Finalmente, el ICH se determinó/grupo y para ello, se dividió el CA/grupo/semana entre la ProdH/semana.

La información recabada se analizó estadísticamente mediante la metodología de mediciones repetidas -para el caso de las variables medidas a través del tiempo- (Litell *et al.*, 1998) y,

para las variables con solo una medición durante la fase experimental, se utilizó la metodología de modelos de efectos fijos (Litell *et al.*, 2010).

Capítulo III: en este capítulo el objetivo fue establecer los efectos de la suplementación con nopal (*O. ficus indica*) en gallinas de postura bajo un modelo experimental de avicultura familiar sobre la productividad, colesterol sérico y colesterol del huevo. Para el logro de este objetivo se utilizaron 45 gallinas Rhode Island Red con 20 semanas de producción (48 semanas de edad) y con un peso promedio de 2.4 ± 0.4 kg.

Con el total de gallinas se formaron tres grupos ($n= 15$ gallinas/Grupo) con tres repeticiones/grupo ($n=5$ gallinas/repetición): Grupo testigo (GT), grupo al cual se le suministró 600 g de alimento convencional (AC) específico para gallinas de postura/día/corral (≈ 120 g/gallina/día) (Tabla 1); Grupo Nopal Forrajero (GNF), gallinas alimentadas con 600 g de AC (≈ 120 g/gallina/día) más 120 g de nopal (*O. ficus-indica*) forrajero en BF (≈ 24 g/gallina/día) y Grupo Nopal Verdura (GNV, grupo alimentado con 600 g de AC (≈ 120 g/gallina/día) más 120 g de nopal (*O. ficus-indica*) verdura en BF (≈ 24 g/gallina/día).

El periodo de la fase experimental se dividió en dos Etapas; cada etapa contó con cuatro fases: 1ª Etapa; 1ª Fase o semana de adaptación a las dietas suministradas; 2ª Fase o semana de reproducción de las gallinas (1:5; gallo: 5 gallinas/grupo/corral); 3ª Fase o semana de selección e incubación de huevo fértil y 4ª Fase o semana de retiro de nopal (GNF y GNV), para evaluación del efecto residual del nopal. En esta etapa se consideró otra vez la Fase de adaptación, debido a que en la 4ª Fase de la 1ª Etapa se suspendió el nopal al GNF y GNV.

Las variables evaluadas/grupo/día fueron: consumo de alimento (CA), consumo de nopal (CN) -verdura y forrajero en BF-, producción de huevo (PHvo), número de huevos puestos (NH) y peso de huevo (PesoH). Mientras que las variables evaluadas/gallina/semana/grupo fueron: peso corporal (Pc), niveles séricos de colesterol (ColS) y contenido de colesterol en yema de huevo (ColYh). Finalmente, las variables evaluadas al culminar los periodos de incubación fueron: Tasa de eclosión (TE) y de no eclosión (TNE) y dentro de esta última variable se evaluó la tasa de mortalidad embrionaria (TME) temprana (TMET) y tardía (METd).

El Pc, ProdH, CA y CN (forrajero y verdura), se determinaron conforme lo establecido en el Capítulo II. Para la determinación de colesterol sérico (ColS) se seleccionaron al azar seis gallinas/grupo, mismas que fueron monitoreadas semanalmente. De cada gallina se tomó una muestra de sangre (una gota de sangre ≈ 0.05 mL), la cual se obtuvo por punción -con una aguja calibre 29 G- de la vena braquial. Obtenida la gota de sangre esta se depositó en una tira reactiva para la determinación de ColS mediante un medidor electrónico (Multiparamétrico Eccu Track®).

Las concentraciones de colesterol en yema de huevo (ColYh) se obtuvieron mediante el método enzimático colorimétrico descrito por Olgun *et al.* (2013) y mediante espectrofotometría. Para ello, se consideraron 10 huevos/grupo/semana.

La tasa de eclosión (TE) se determinó mediante la división del número de huevos eclosionados (NHE) entre el número de huevos incubados (NHI), mientras que para la tasa de no eclosión (TNE) se calculó a través de la división del número de huevos no eclosionados (NHNE) entre el número de huevos incubados, posteriormente el resultado de ambas divisiones fue multiplicado por 100.

Por último, las tasas de mortalidad embrionaria (temprana y tardía) se determinaron mediante la división del número de huevos con embrión muerto -a ≤ 7 y ≥ 14 días post-inicio de incubación, respectivamente- entre el NHNE y el resultado fue multiplicado por 100.

El análisis estadístico de la información cuantitativa se analizó estadísticamente a través de las metodologías de correlaciones de Pearson y mediciones repetidas, utilizando para ello la metodología de los modelos de efectos fijos (Litell *et al.*, 1998). Para el caso de las variables cualitativas (porcentaje), estas primeramente se transformaron a arcoseno de raíz cuadrada para posteriormente analizarlo mediante la metodología de los modelos lineales generales (Litell *et al.*, 2010). Las diferencias entre Grupos, Etapas, Grupos x Fase y Grupos x Etapas, se obtuvieron a través de medias de mínimos cuadrados (Lsmeans, siglas en inglés) a un $\alpha=0.05$.

Capítulo IV: finalmente, para la evaluación del efecto de la adición de nopal (forrajero y verdura) en BF a la dieta de gallinas de postura sobre calidad de huevo y viabilidad del pollito,

se requirió del proceso de selección, desinfección e incubación de los huevos fértiles (n = 258 huevos) producidos durante la 3ª y 4ª Fase de la etapa experimental -descritas en el Capítulo III-.

La selección de los huevos para incubación se realizó de acuerdo con lo establecido por Abad *et al.* (2019). Los huevos fértiles seleccionados fueron desinfectados mediante una solución yodada -de 5ml de yodo solución/1 L de agua pura- e incubados durante 21 días en una incubadora® automatizada (capacidad de 270 huevo), el control de la temperatura se fijó a 37.5 ± 0.5 °C y la humedad a 55-60%.

Para la evaluación de la calidad de huevo se requirió del peso (g) de huevo, cascarón, clara y yema; así como, altura (mm) y diámetro (mm) de la albumina y de la yema y espesor del cascarón (µm), además de la determinación de pigmentación de la yema índice de cascarón (IC) y las unidades Haugh (UH).

Las variables citadas en el párrafo anterior y expresadas en g, fueron determinadas mediante su pesaje en una báscula Rhino® BAPRE-3 con una precisión de 0.2 g. Mientras que, para las variables expresadas en mm, se utilizó -para su determinación- un vernier digital Truper® 14388 con una precisión de 0.01 mm. En el caso del espesor del cascarón, este se determinó con un micrómetro de mano Mitutoyo® 7310 con una precisión de 2 µm. La pigmentación de la yema fue establecida a través de la técnica del abanico Roché (Ovocolor BASF D-6700). El índice de cascarón (IC) y las unidades Haugh (UH) se determinaron mediante las siguientes ecuaciones:

$$UH = 100 \log[(H + 7.57) - 1.7 (W)^{0.37}]$$

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

Donde: H= altura de la clara (mm); W= peso del huevo (g)

La calidad del pollito (CPoll) fue evaluada de acuerdo con la metodología descrita por Tona *et al.* (2003); para lo cual se consideró: reflejos, apariencia, cierre de ombligo, condición de las patas, aspecto de ojos y presencia de membrana y/o yema. Además, la CPoll fue clasificada de acuerdo con la puntuación obtenida: > 95 puntos, excelente; 90-95, buena; 80-89, regular y < 80 mala.

La determinación del contenido de calcio en cascarón se realizó mediante la prueba de absorción atómica, a través de la metodología descrita por Dávila y Gallegos (2016), mientras que el resto de los minerales fueron analizados por medio de la prueba de fluorescencia por rayos X, utilizando para ello la metodología establecida por Morales-Morales *et al.* (2019).

La información recopilada se analizó estadísticamente a través de la metodología de modelos lineales generales (GLM, siglas en inglés) (Litell *et al.*, 1998). Las diferencias entre Grupos, Etapas y Grupos x Etapas, se obtuvieron a través de medias de mínimos cuadrados (Lsmeans, siglas en inglés) a un $\alpha=0.05$.

Capítulo III

CARACTERIZACIÓN Y MODELACIÓN ESQUEMÁTICA DE FACTORES QUE AFECTAN LA VIABILIDAD DEL POLLITO (*Gallus gallus domesticus*) AL NACIMIENTO EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN AVÍCOLA FAMILIAR: UNA REVISIÓN

Resumen

Objetivo. Caracterizar y modelar esquemáticamente los factores que afectan la incubabilidad y viabilidad del pollito al nacimiento (VPN) en los SPAF. **Metodología.** Fueron recopilados y analizados artículos científicos -publicados durante el periodo de 2000 al 2025- que abordaban los factores ambientales y/o genéticos que inciden en la incubabilidad y VPN. La información recabada fue analizada bajo la metodología de la teoría general de sistemas; metodología que resuelve problemas agrícolas. **Principales hallazgos.** Contextualmente, los SPAF son una actividad pecuaria multifuncional a nivel mundial: producción de carne y huevo para autoconsumo y venta de excedentes. En los SPAF, la fase de postura es de ≈ 10 semanas, la de incubación y crianza de los pollitos de ≈ 8 semanas; la incubación de huevos/gallina clueca es ≤ 15 huevos, 60.7% de eclosión y $\approx 50\%$ de VPN. Indicadores limitados por factores exógenos y endógenos, tales como: genotipo de los animales (híbridos de aves autóctonas x razas europeas), alimentación, infraestructura y equipo específico para las fases de producción; así como: depredadores, acceso a fuentes de calor, agua y alimento de calidad durante las primeras horas de vida del pollito. **Conclusión.** La optimización de las entradas del sistema de incubación natural es el primer paso crítico para los SPAF, donde la selección de los huevos y la higiene de los nidos actúan como filtros esenciales al privilegiar: a) los huevos ovoides de entre 53 y 63 g, b) la higiene de los huevos que se van a incubar y c) la desinfección de los nidos con productos de bajo costo. Aspectos que permitirán al productor establecer una rutina para garantizar un desarrollo embrionario adecuado y un mayor porcentaje de pollitos viables al nacer.

Palabras clave: avicultura; traspatio; estrategias; incubabilidad; productividad

Introducción

El grado de pobreza en las zonas rurales obliga a la búsqueda de estrategias que garanticen la seguridad alimentaria (Díaz-Carreño *et al.*, 2016). Una estrategia fundamental para este propósito es la implementación de Sistemas de Producción Avícola Familiar (SPAF) o de traspatio, ya que permiten a las familias rurales acceder a proteína de origen animal (carne y huevo) a bajo costo (FAO, 2016). Además, la operatividad y supervivencia de estos sistemas no requiere de una inversión intensiva de tiempo o capital (Juárez *et al.*, 2010; FAO, 2013) en comparación con los Sistemas de Producción Avícola con mayor tecnología (SIPSA, 2013).

La mayoría de los investigadores enfocados en los sistemas de producción familiar (agrícola o pecuaria) coinciden en la necesidad de buscar alternativas viables que incrementen la eficiencia productiva, sin alterar drásticamente sus características esenciales, tales como la participación activa de amas de casa, niños y adultos mayores (Juárez-Caratachea *et al.*, 2008; Cuca-García *et al.*, 2015). Para lograrlo, resulta imperativo analizar el funcionamiento integral de los componentes principales que conforman el SPAF.

En la actualidad, existen evidencias que permiten comprender el funcionamiento de los SPAF (Gutiérrez-Triay *et al.*, 2007; Juárez-Caratachea *et al.*, 2015; Juárez-Caratachea *et al.*, 2016; Mata-Estrada *et al.*, 2023), a pesar de la complejidad intrínseca que conlleva su estudio (Juárez-Caratachea *et al.*, 2008). La complejidad de estos sistemas radica en sus propias características, dado que sus dos componentes principales -el animal y el humano- mantienen existencias paralelas que interactúan de forma simbiótica. Por ello, a este tipo de modelos se les denomina 'sistemas en paralelo' (Luhmann, 1990).

La naturaleza del SPAF (como sistema en paralelo) deriva en que la inversión en tecnología y alimentación sea prácticamente nula. Esto se debe a que las aves, por lo general, viven y se reproducen en libertad en los traspatios, alimentándose de granos y desperdicios de cocina proporcionados por la familia; dieta que es complementada por la parvada mediante el consumo de herbáceas, insectos o alimento de otras especies presentes en el predio (Barocio-Urue *et al.*, 2017). Bajo este esquema, la manipulación y el control de los procesos biológicos de los animales son inexistentes (Ortiz-Rodríguez *et al.*, 2024). En consecuencia, la mayor parte de la información disponible sobre los SPAF proviene del uso de encuestas a

productores como principal instrumento de recolección de datos (Juárez-Caratachea *et al.*, 2008).

De acuerdo con lo expuesto, el componente humano no manipula ni controla los eventos biológicos del ave; se limita a ofrecer alimento y refugio a cambio de la obtención de huevo o carne (Juárez-Caratachea *et al.*, 2015). Para los productores del SPAF, el uso de registros, tecnologías y técnicas especializadas no es una prioridad, a pesar de ser fundamental para garantizar la eficiencia y rentabilidad del sistema (Rosas y Lerdon, 2018). No obstante, la introducción e implantación forzada de dichas tecnologías rompería el paradigma del traspatio, forzando la migración hacia un sistema de producción avícola semi-intensivo. Ante este escenario, las estrategias para eficientar el SPAF, manteniendo su esencia original, resultan limitadas.

Bajo el escenario de un sistema ideal, donde el componente humano manipula y controla los diversos procesos de producción animal (Luhmann, 1990), la eficiencia de los sistemas avícolas debe partir de la selección de los futuros reproductores (Rosas y Lerdon, 2018). En este contexto, la obtención y selección de huevos fértiles es un requisito indispensable para incrementar el porcentaje de eclosión y obtener pollitos de calidad -con mayor peso y vigor- que contribuyan a disminuir la mortalidad durante los primeros días post-eclosión (Castellanos *et al.*, 2012). No obstante, en el SPAF, la selección dirigida de reproductores es inexistente; en su lugar impera la selección natural: aquellas aves que sobreviven a enfermedades y depredadores, o que no son destinadas al consumo familiar, se convertirán en los futuros reproductores (Juárez-Caratachea *et al.*, 2008).

Otros factores que limitan la selección de futuros progenitores en el SPAF son la baja tasa de eclosión (60.0%) y la elevada mortalidad post-eclosión (50.0%), cifras que contrastan significativamente con los indicadores de los sistemas semi-intensivos, los cuales presentan un 85% de eclosión y apenas un 20.0% de mortalidad (FAO, 2013; Juárez-Caratachea *et al.*, 2008; Hidalgo *et al.*, 2021). No obstante, estos indicadores podrían mejorar sin alterar las características inherentes del traspatio mediante la capacitación de los productores en el control y manipulación de dichos eventos biológicos. Considerando que la viabilidad del pollito post-eclosión depende de una compleja interacción entre factores genéticos y ambientales (Tona *et al.*, 2003; Beissinger *et al.*, 2005), el objetivo de esta revisión fue

caracterizar y modelar esquemáticamente los factores que afectan la incubabilidad y viabilidad del pollito al nacimiento en los SPAF.

Enfoque Metodológico

Para la elaboración de la presente revisión, se realizó una búsqueda exhaustiva de artículos científicos en las bases de datos PubMed, Science Direct y Google Scholar. La búsqueda se centró en identificar factores ambientales y genéticos que inciden en la viabilidad del pollito post-eclosión, con el fin de correlacionarlos con las condiciones predominantes en el SPAF. Se consideraron publicaciones realizadas en el periodo comprendido entre el año 2000 y 2025.

La información recabada fue analizada bajo los criterios de la Teoría General de Sistemas (TGS). Esta metodología permite el estudio del fenómeno de manera integral y no aislada, buscando explicar la interrelación entre los componentes del sistema y las variables externas que lo afectan (Bertalanffy, 1976). La aplicación de este enfoque al sistema pecuario se describe en la Figura 1.



Figura 1. Esquema generalizado de un Sistema de Producción Pecuaria.

Fuente: Modificado de Ortiz *et al.*, 2015

De acuerdo con la Figura 1, el sistema de producción pecuaria es concebido como un conjunto de componentes interdependientes; el contexto (geografía y economía) actúa de manera directa sobre la inversión económica y ello, limita el acceso a instalaciones y equipo.

Al centro del sistema se encuentra la administración (metas de producción) componente intangible o ausente en este tipo de sistemas. Sin embargo, en el SPAF, la interacción entre la gestión de tecnologías y la parvada es el punto más débil, debido a la falta de control sobre los procesos biológicos. Este esquema generalizado permite identificar que, para mejorar la viabilidad del pollito, es necesario fortalecer el componente animal para eficientar la producción sin romper el equilibrio con el recurso humano.

De acuerdo con la TGS, el SPAF -al igual que cualquier otro sistema de producción pecuaria- se compone de forma general por tres elementos: el componente humano, el componente animal y el componente tecnológico. Esta tríada cumple con la definición de sistema: la interacción de dos o más componentes para la consecución de un fin ya sea cuantitativo o cualitativo (Bertalanffy, 1976). Desde un enfoque económico, dicho fin es la maximización de los recursos escasos (Ortiz *et al.*, 2015), lo cual se traduce en el SPAF como la obtención de proteína de origen animal a bajo costo y la generación de ingresos mediante la venta de excedentes (Prado-González *et al.*, 2003).

No obstante, el cumplimiento de este objetivo depende de la magnitud de la interacción entre los componentes, aspecto que está supeditado a: conocimientos, economía del productor y mercados regionales (Ortiz *et al.*, 2015). Aunado a ello, en el SPAF el hombre no manipula las fases biológicas; se limita a cubrir necesidades básicas (alimento, agua y refugio) a cambio de huevo y carne, clasificándose, así como un 'sistema en paralelo' (Juárez-Caratachea *et al.*, 2015).

Finalmente, los sistemas de producción familiar son autorreferenciales y autopoieticos (Maturana y Varela, 1994): autorreferenciales porque su administración y metas nacen de la experiencia propia del productor, y autopoieticos porque el sistema genera su propia estructura y los elementos que lo integran.

Debido a la complejidad intrínseca de los sistemas de producción pecuaria, la TGS resulta clave para la solución de sus problemáticas; a través de esta metodología, la complejidad se puede reducir si el sistema se representa mediante un modelo matemático, conceptual o esquemático (Wadsworth, 1997). La modelación -entendida como una representación externa creada por expertos- aproxima la realidad del sistema en un periodo específico y

facilita su comprensión (Greca y Moreira, 1998). Mediante la modelación del sistema (Figura 1), es posible reconocer por qué los modelos pecuarios se catalogan como sistemas abiertos, complejos y adaptativos.

Un sistema abierto se define por su intercambio constante de materia y energía con el medio circundante, manifestando procesos de importación, exportación, constitución y degradación de sus componentes (Bertalanffy, 1976). No obstante, este intercambio no es puramente físico, ya que también incluye información organizada, elemento esencial para la manutención y transformación del sistema (Luhmann, 1990). Bajo esta perspectiva, los sistemas abiertos que logran aprovechar, seleccionar y procesar la información del entorno poseen la capacidad de evolucionar hacia estructuras de mayor complejidad y eficiencia. Por el contrario, si el sistema es incapaz de gestionar dicha información, tiende irremediablemente hacia la simplificación y la fragmentación (Johnson, 2008).

El enfoque sistémico permite una comprensión profunda del fenómeno; en este sentido, la caracterización y modelación del estudio se realizó en dos momentos. El primero consistió en un enfoque 'suave' de caja negra, en el cual se analizaron de manera general los factores genéticos y ambientales que condicionan la viabilidad del pollito al nacimiento en el SPAF. El segundo momento adoptó un enfoque formal, integrando la información bajo criterios de tecnología, interdependencia relativa entre los componentes y el apoyo de disciplinas afines para descomponer el sistema. Para ello, se contó con la colaboración de diversos expertos en el proceso de caracterización, permitiendo una retroalimentación constante sobre los procesos y su validación en función del objetivo e hipótesis establecidos.

Modelo esquemático de los factores ambientales y genéticos que inciden en la viabilidad del pollito recién nacido (24 h post-eclosión)

Contexto: El SPAF representa una de las actividades pecuarias con mayor tradición y presencia a nivel mundial. Su función principal es la producción de proteína de origen animal (carne y huevo para plato) destinada prioritariamente al autoconsumo de las familias en zonas rurales (83%) y la comercialización de excedentes (14.2%) de dichos productos (Mata-Estrada *et al.*, 2023). Debido a estas características, se define como un sistema multifuncional (Cruz-Sánchez *et al.*, 2016) de bajo impacto ambiental y elevado impacto social, siendo un pilar para la seguridad alimentaria y la economía de las comunidades rurales (Hortúa-López

et al., 2021). Dentro de la diversidad de especies presentes en estos sistemas, las gallinas son las aves con mayor predominancia, alcanzando una presencia igual o superior al 97.5% (Toapanta *et al.*, 2019)

Componente humano: de acuerdo con Sánchez-Sánchez y Torres-Rivera (2014), la creación de los SPAF es impulsada por motivaciones personales del productor: entre el 33 y 55% por tradición; entre el 33 y 43% para mantener una alimentación saludable, y entre un 5 y 17% por motivos económicos o de ahorro. Independientemente del motivo que da origen al sistema, las amas de casa (68 - 81%) y los niños (7%) constituyen la principal mano de obra; esto se debe a que ellos, además de realizar las actividades domésticas, permanecen mayor tiempo en contacto directo con las aves (Lara *et al.*, 2003; Ruiz *et al.*, 2014; Juárez-Caratachea *et al.*, 2015).

De acuerdo con Toapanta *et al.* (2019), las principales características de los productores de SPAF son las siguientes: edad, entre los 19 y 83 años y nivel académico, 2.0% es analfabeta, 74.0% ha cursado algún grado de educación primaria y 24.0% restante, cuenta con secundaria o niveles superiores. Estas proporciones pueden diferir según la zona geográfica donde se ubique el sistema (Bello y Expósito, 2003; Sánchez-Sánchez y Torres-Rivera, 2014). Además, se ha establecido que, a menor preparación académica, la producción de carne y huevo se enfoca primordialmente al autoconsumo familiar (83%); en contraste, a mayor grado académico, el enfoque del sistema tiende a la generación de ingresos adicionales mediante la venta de excedentes (14.2%), integrando prácticas que mejoran la eficiencia productiva (Mata-Estrada *et al.*, 2023).

Componente Animal: diversos investigadores coinciden en que los SPAF presentan actualmente una amplia diversidad genética y fenotípica. En este sentido, Mammo y Wude (2011) establecieron que las gallinas empleadas originalmente en estos sistemas son las denominadas "criollas", aves de tamaño pequeño, plumaje preponderantemente negro y bajo potencial productivo, pero con una notable resiliencia ante la nutrición inadecuada, las enfermedades y las condiciones ambientales locales. No obstante, con la introducción de estirpes comerciales al sistema -con el fin de mejorar la productividad (Ssewanyana *et al.*, 2003; Ssebina, 2003)-, la resiliencia característica de estas aves puede verse comprometida (Juárez *et al.*, 2000).

En relación con el tamaño de la parvada o núcleo de aves presentes en los SPAF, este oscila entre 3 y 60 gallinas. La densidad de ejemplares dentro de estos sistemas está determinada primordialmente por: a) el espacio disponible en el predio familiar para el establecimiento del sistema, y b) la incidencia de enfermedades y depredadores (Lara *et al.*, 2003). En cuanto a la alimentación de las gallinas, esta se caracteriza por su heterogeneidad, consistiendo en una mezcla de granos, desperdicios de cocina, forrajes e insectos recolectados en el predio; no obstante, en algunos casos, las aves pueden recibir alimento comercial de forma complementaria (Ortiz-Rodríguez *et al.*, 2023). Debido a estas particularidades, el SPAF no demanda inversiones onerosas en infraestructura o nutrición especializada, consolidándose como un modelo accesible para familias de bajos ingresos

Componente Tecnológico: la escasa inversión de capital en el SPAF se refleja directamente en el nivel tecnológico, la infraestructura y la alimentación del sistema (Juárez-Caratachea *et al.*, 2008). Por lo general, no se cuenta con alojamientos ni equipo especializado; en consecuencia, las aves permanecen en el predio familiar, utilizando árboles, vehículos u otras estructuras existentes como refugio para mitigar los efectos del clima (Centeno *et al.*, 2007; Gutiérrez-Triay *et al.*, 2007). Asimismo, el equipo empleado es rústico (Juárez-Caratachea *et al.*, 2015): utensilios de cocina en desuso funcionan como bebederos y comederos, mientras que neumáticos, cajas y ollas son adaptados como nidos (Sánchez-Sánchez y Torres-Rivera, 2014).

Alimentación y nutrición de las gallinas en el SPAF: en el 89% de estos sistemas, las aves recolectan el alimento directamente del piso, mientras que el 11% lo hace en comederos específicos para la especie. En el 63% de los SPAF, las aves beben agua de charcos o bebederos de otras especies presentes en el predio (perros, gatos, caballos, cerdos, vacas), mientras que en el 37% restante, la parvada cuenta con bebederos exclusivos para ella. El alimento suministrado a las aves se compone principalmente de granos (82.1%) como el maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum*) y sorgo (*Sorghum spp.*), seguido por desechos de cocina (13.5%) e insumos recolectados por las propias aves (3.1% de herbáceas y 1.4% de insectos) mediante el pastoreo (Hernández-Sánchez *et al.*, 2023). Nutricionalmente, las parvadas de los SPAF se encuentran bajo un esquema de alimentación deficiente: 12.2% de proteína cruda, 4.5% de extracto etéreo y 18.6% de fibra cruda. Sin embargo, la composición nutrimental de la

dieta de estas aves en el SPAF se encuentra relacionada con la estacionalidad y disponibilidad de dichos insumos -cantidad y calidad de la producción agrícola- en la región en la que se encuentra el sistema (Barocio-Urue *et al.*, 2017).

Funcionamiento del sistema: en la actualidad, se han establecido (Juárez-Caratachea *et al.*, 2008) las fases productivas por las que transitan las gallinas en los SPAF (Figura 2), las cuales se describen a continuación de forma sintética:

Fase de postura: esta etapa inicia regularmente entre las 28 y 30 semanas de edad en las gallinas locales. Sin embargo, la introducción de estirpes comerciales ha provocado que el inicio de la postura se adelante, presentándose entre las 22 y 24 semanas. En general, se registran de tres a cuatro periodos de producción de huevo al año, con un rendimiento de 11 ± 3 huevos/gallina/mes y un peso promedio de entre 55 y 60 g por huevo (Tovar-Paredes *et al.*, 2015).

Fase de cloques-crianza de los pollitos: esta etapa tiene una duración aproximada de entre 8 y 9 semanas y puede subdividirse en dos momentos: la fase de cloques, que comprende la incubación y eclosión (21 días), y la fase de crianza de los pollitos (8 semanas). Una vez que la gallina entra en estado de cloques, incuba entre 9 y 15 huevos simultáneamente (FAO, 2013). Sin embargo, cuando el productor decide iniciar el proceso y las gallinas no presentan este estado fisiológico, se recurre al uso de guajolotes o patos hembras como nodrizas para la incubación de dichos huevos (Camacho-Escobar *et al.*, 2014; Juárez-Caratachea *et al.*, 2015).

Al cumplirse el día 21 de incubación, se presenta la fase de eclosión, en la cual solo el 60.7% de los huevos incubados logran eclosionar, lo que representa un promedio de 7 ± 3 pollitos nacidos por gallina (Lara *et al.*, 2003). Finalmente, en la fase de crianza, la actividad reproductiva de la gallina permanece inactiva debido al estado de cloques que persiste tras el nacimiento; este periodo manifiesta, en esencia, el comportamiento materno y de protección del animal hacia la progenie.

Fase de separación gallina-pollito: esta etapa inicia cuando el eje hipotálamo-hipófisis-ovario de la gallina reactiva un nuevo ciclo de postura y el estado de cloques cesa en el ave

(Yao *et al.*, 2019). En este punto, los pollitos han alcanzado una independencia alimentaria práctica, lo cual ocurre generalmente entre las 8 y 9 semanas de edad (Juárez y Pérez, 2003). **Fase de desarrollo y engorda:** esta fase tiene una duración de 10 a 12 semanas, resultando en ejemplares (machos y hembras) con un peso de 1.690 ± 200 g destinados al autoconsumo o la venta (Juárez y Pérez, 2003). Aquellas aves que no se comercializan ni se consumen se integran habitualmente al núcleo de la parvada reproductora; no obstante, estos individuos no son producto de un proceso de selección artificial, sino que han sido filtrados primordialmente a través de un proceso de selección natural (Camacho-Escobar *et al.*, 2008). Este ciclo productivo y sus interacciones sistémicas se integran en el modelo de la Figura 2.

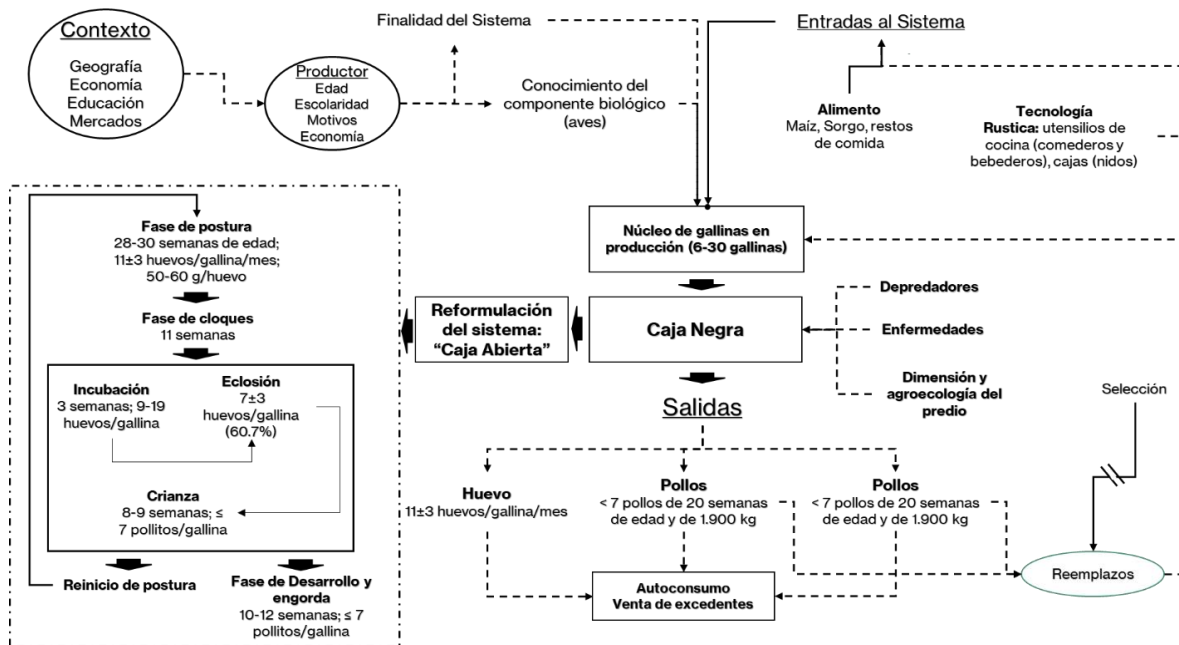


Figura 2. Representación esquemática (caja negra y abierta) del SPAF

Fuente: Modificada de Juárez-Caratachea *et al.*, 2008

Como se detalla en la Figura 2, el funcionamiento del SPAF puede ser analizado a través de la interacción de sus entradas, procesos y salidas bajo un enfoque de sistema abierto. El contexto (geografía, economía, educación y mercados) condiciona directamente el perfil del productor (edad, escolaridad y motivos), lo cual determina el grado de conocimiento del componente biológico y la finalidad del sistema.

Las entradas al sistema se componen de una tecnología rústica (utensilios de cocina y cajas para nidos) y una alimentación basada en maíz, sorgo y restos de comida, que sustentan al

núcleo de gallinas en producción (6-30 aves). El proceso biológico central ocurre dentro de una 'Caja Negra' influenciada por factores externos como depredadores, enfermedades y la agroecología del predio, derivando en las salidas del sistema: huevos y pollos destinados al autoconsumo o la venta de excedentes.

Al realizar la reformulación del sistema como 'Caja Abierta', se identifican con precisión los cuellos de botella productivos: una fase de postura con rendimientos de 11 ± 3 huevos/gallina/mes y una fase de eclosión donde solo el 60.7% de los huevos incubados tienen éxito (7 ± 3 pollitos). Esta representación esquemática permite visualizar cómo la baja eficiencia en la incubación y la crianza limitan la disponibilidad de reemplazos, afectando la sostenibilidad a largo plazo del sistema.

Incubabilidad y viabilidad del pollito post-eclosión (24 h) en el SPAF

En el SPAF se puede observar la presencia de gallinas cluecas, y su periodicidad dependerá del éxito de las fases de incubabilidad, eclosión y crianza del pollito (Figura 2). El fenómeno de cloques de la gallina -así como en guajolotes y patos hembra- (Camacho-Escobar, 2006) provoca que esta incube sus huevos en un ambiente oscuro y protegido de los depredadores (CTA, 2007). No obstante, esta característica puede perderse con la introducción de gallinas mejoradas genéticamente a dichos sistemas, debido a que este tipo de animales han perdido la capacidad de encluecarse (Salas, 2019; Alemu y Terfa, 2024). Sin embargo, la eficiencia de la incubación natural depende de múltiples factores tanto endógenos como exógenos (Sarkar, 2022).

El proceso de incubación en el SPAF se lleva a cabo de forma natural, mediante el cual las gallinas cluecas aseguran el desarrollo del embrión regulando la temperatura y la humedad de la superficie del huevo a través de su calor corporal, secreciones y el volteo constante de los huevos (King'Ori, 2011). De esta manera, la incubabilidad -definida como el porcentaje de huevos fértiles que logran eclosionar (Vaca, 2003)- en dichos sistemas se sitúa alrededor del 60.7%; este rendimiento se atribuye principalmente a la falta de técnicas y tecnologías aplicadas en el área reproductiva (Juárez-Caratachea *et al.*, 2015).

Respecto a la viabilidad del pollito a las 24 h de nacido, esta se encuentra directamente relacionada con su capacidad de sobrevivir y adaptarse a su entorno (Llamuca *et al.*, 2024).

En los SPAF, dichas capacidades se ven severamente limitadas por la poca o nula inversión de capital en alimentación, infraestructura y equipo específico para la especie (Juárez-Caratachea *et al.*, 2008). Estos aspectos ponen en riesgo no solo a los pollitos recién nacidos, sino también a la parvada completa ante el ataque de depredadores como coyotes, tlacuaches, comadrejas, perros, gatos y serpientes, entre otros. Aunado a ello, el SPAF carece habitualmente de acceso a fuentes de calor adecuadas, disponibilidad de agua limpia y suministro de alimento de calidad para los pollitos durante sus primeras horas de vida (Juárez y Pérez, 2003).

El análisis integral de los factores que inciden en la viabilidad del pollito a las 24 h post-eclosión se presenta de forma esquemática en la Figura 3. A diferencia de los sistemas tecnificados, donde existe un control estricto de las variables, el SPAF se caracteriza por la ausencia de manipulación técnica, lo que convierte a la viabilidad en un resultado multicausal.

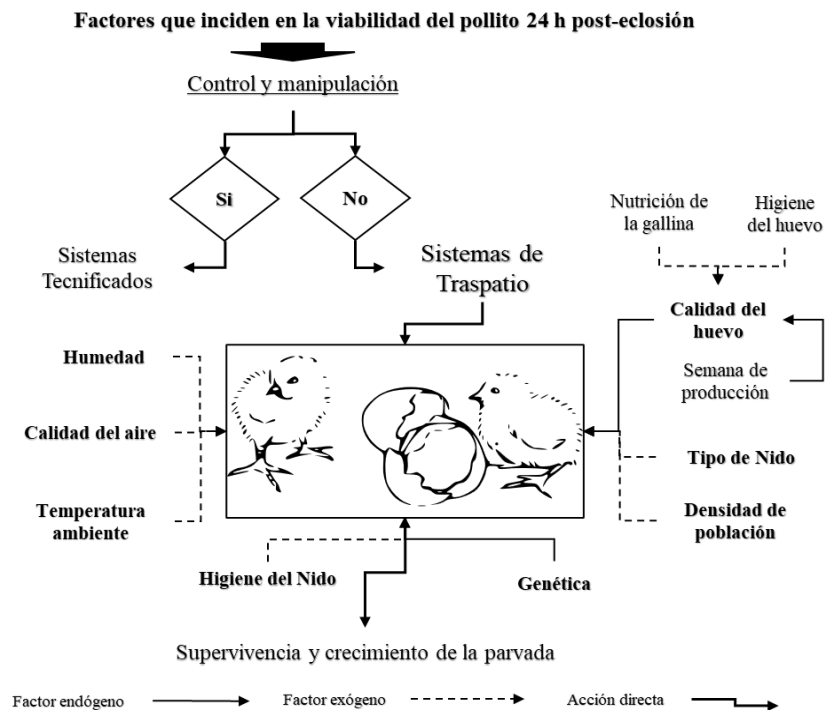


Figura 3. Visión esquemática del sistema biológico en torno a la viabilidad del pollito, supervivencia y crecimiento de la parvada en el SPAF

Dentro de este sistema biológico, los factores endógenos -como la genética, la semana de producción y la calidad del huevo (determinada por la nutrición de la gallina y la higiene)-

interactúan directamente con el embrión y el neonato. Paralelamente, los factores exógenos actúan como presiones externas constantes: la humedad, la calidad del aire y la temperatura ambiente, sumadas a la higiene y el tipo de nido (rústico), condicionan la probabilidad de éxito. La convergencia de estos elementos determina finalmente la supervivencia y el crecimiento de la parvada, subrayando que, en el traspatio, la viabilidad es una respuesta adaptativa del sistema ante un entorno con baja regulación antrópica.

De acuerdo con la revisión sobre la viabilidad del pollito recién nacido, los factores que inciden sobre este aspecto en el SPAF se clasifican en: exógenos o ambientales, dentro de los cuales se enmarcan la nutrición y la edad de la gallina (semana de producción), elementos que contribuyen directamente al peso y la calidad del huevo fértil; así como la temperatura y humedad ambiental, la calidad del aire, la densidad de población y la tecnología disponible (nidos). Por otro lado, dentro de los factores endógenos, además del peso y la calidad del huevo, se encuentra el genotipo de los progenitores (Figura 3) (Castellanos *et al.*, 2012; Rodríguez-Moya y Cruz-Bermúdez, 2017).

Factores endógenos y exógenos que inciden sobre la viabilidad de pollito en los SPAF

La metodología sistémica ha establecido que los sistemas complejos plantean serias dificultades para su comprensión; por ello, se requiere descomponer al sistema en sus partes y explicarlas por separado para, finalmente, volver a integrarlas. Solo a través de este proceso el investigador logra aproximarse a su verdadera comprensión (Bertalanffy, 1976; Wadsworth, 1997). Al respecto, la viabilidad del pollito al nacimiento está determinada por la interacción de los factores previamente descritos (Figura 3). No obstante, la literatura sugiere que los elementos de mayor impacto son: el peso y la calidad del huevo, así como el desarrollo embrionario (Castellanos *et al.*, 2012).

Para el peso del huevo a incubar, la edad de la gallina y/o la semana de producción influyen directamente sobre esta variable (Vázquez *et al.*, 2006): conforme se incrementan las semanas de producción, se incrementa el peso del huevo (Figura 4). Dicho comportamiento se asocia con la madurez del aparato reproductor del ave (Intriago *et al.*, 2023; Llamuca *et al.*, 2024; Aygun *et al.*, 2025). Por lo tanto, si se incuban huevos pequeños (< 55 g) producidos al inicio de la fase de postura (Figura 4), se pone en riesgo la viabilidad del pollito

al nacimiento, debido a que el peso de este corresponde a un rango de entre el 61.0 y 68.0% del peso del huevo original (Santamaría-Valderrama *et al.*, 2025).

Así, el peso ideal para la incubación del huevo de gallina oscila entre los 50 y 65 g; sin embargo, el peso del pollito tiende a variar por efecto del tamaño del huevo, el genotipo y la pérdida de peso durante el proceso de incubación (Rodríguez-Moya y Cruz-Bermúdez, 2017). En este sentido, se ha establecido que el peso de los pollitos a las 24 h de nacidos en los SPAF oscila entre los 34 y 45 g, lo que define una relación peso del huevo-peso del pollito al nacer de entre el 62 y 76% (Wilson, 1991; Juárez-Caratachea *et al.*, 2010).

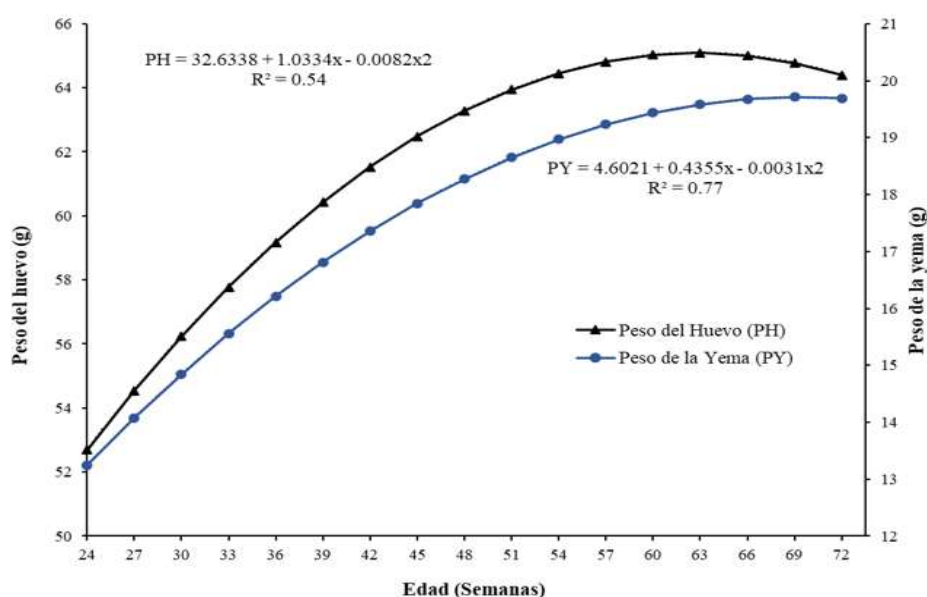


Figura 4. Dinámica del comportamiento de peso del huevo (PH) y de la yema (PY) de acuerdo con la edad (semanas) de las gallinas

Fuente: elaboración propia a partir de Padhi *et al.* (2013), Rizzi y Chierricato, (2016), Rakonjac *et al.* (2018), Manyeula *et al.* (2021)

En la Figura 4, se puede observar la correlación directa entre la madurez cronológica del ave y la deposición de nutrientes en el huevo. La dinámica del PH muestra un crecimiento sostenido que se estabiliza hacia las 60-63 semanas ($r = 0.54$), mientras que el PY presenta una asociación más alta ($r = 0.77$). Este incremento en el PY es crítico para la viabilidad, ya que la yema representa la principal fuente de energía y nutrientes para el desarrollo embrionario y las primeras horas de vida del pollito. En este sentido, las aves de menor edad

(24-30 semanas) producen huevos con yemas proporcionalmente más pequeñas, lo que restringe la disponibilidad de recursos energéticos para el embrión. Por el contrario, el pico de peso observado entre las 57 y 69 semanas sugiere que este es el periodo óptimo para la obtención de huevos destinados a la incubación, garantizando una 'entrada' al sistema con mayores reservas de vitelo.

En cuanto a la calidad del huevo a incubar, al descomponer al huevo en sus componentes se puede establecer que la yema -que representa aproximadamente el 33% del peso total del huevo (Cedro *et al.*, 2009)- es esencial para el óptimo desarrollo embrionario y la viabilidad del pollito (Leone *et al.*, 2010). Aun cuando el huevo fértil contiene los nutrientes esenciales para el óptimo desarrollo del embrión (Vleck y Hoyt, 2004) [lípidos (45.0% /100g MS), proteínas (48.5% /100g MS) y carbohidratos (3.7% /100g MS)] (Romanoff y Romanoff, 1949), la yema constituye la fuente relativamente más rica en estos nutrientes en comparación con la albúmina (Freeman y Vince, 1974)

Aunado a lo anteriormente descrito, la yema es una fuente rica en minerales (fósforo, calcio, magnesio, zinc y hierro) y energía, elementos esenciales para la formación del embrión. En relación con el aporte energético de la yema, en esta estructura se encuentran presentes lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) y de baja densidad (LDL) (Martínez *et al.*, 2010), las cuales proporcionan la energía suficiente para el desarrollo del embrión y del pollito durante sus primeras horas de vida (Osorio y Flores, 2018). No obstante, se ha establecido que el incremento del peso de la yema de huevo -en relación con la albúmina- está asociado a la edad de la gallina (O'Sullivan *et al.*, 1991; Peebles *et al.*, 2000). En este sentido, las variaciones en la composición del huevo causadas por el genotipo, la edad de la reproductora y el tamaño del huevo, así como la nutrición de la gallina, son factores que limitan o potencializan el desarrollo embrionario.

Respecto a la nutrición de las gallinas reproductoras y su efecto sobre la calidad del huevo y la viabilidad del pollito post-eclosión, Mendoza-Martínez *et al.* (2012) destacan que un menor porcentaje de proteína (13%) en la dieta provoca un decremento en el porcentaje de postura (86.8%) y en el peso del huevo (58.1 g), en comparación con aquellas dietas con niveles altos de proteína (16%), donde el porcentaje de postura alcanza el 89.2% y el peso del huevo los 59.1 g.

Por su parte, Chan-Colli *et al.* (2007) determinaron que niveles bajos de proteína en la dieta de las aves interfieren directamente con la densidad del albumen, lo cual afecta a su vez el peso del huevo y del pollito (menor peso). En este sentido, se requiere investigar insumos no convencionales para la dieta de las gallinas bajo el SPAF que aporten proteína, sean económicos y de fácil acceso para los productores; especialmente harinas de hojas de *Moringa oleifera*, *Leuceana leucocephala*, *Manihot esculenta* y *Carica papaya* (Olarotimi y Adu, 2017), las cuales pueden mejorar significativamente la dieta convencional de las gallinas en estos sistemas.

En cuanto a la energía metabolizable, Tepox-Pérez *et al.* (2012) establecieron que un aumento de ácidos grasos en la dieta de las gallinas estimula la síntesis y liberación de estrógenos, lo que resulta en mayor peso del huevo. No obstante, Tasayco y Huallanca (2021) determinaron un efecto opuesto: un incremento de energía metabolizable en la dieta puede afectar negativamente el peso del huevo. Esta contradicción puede explicarse por lo reportado por Wu *et al.* (2005), quienes señalan que las gallinas alimentadas con dietas altamente energéticas disminuyen su consumo voluntario; esto provoca que el resto de los requerimientos nutricionales no se cubran adecuadamente, derivando en un menor peso del huevo y problemas en el desarrollo embrionario que finalmente se reflejan en una menor viabilidad del pollito al nacimiento.

En lo referente a los minerales y su aporte a la calidad del huevo, el desarrollo embrionario y la viabilidad del pollito, estos son esenciales, puesto que proporcionan los elementos necesarios para la formación de huesos, tejidos y órganos. Así, por ejemplo, Rodríguez y Bravo (2019) establecen que una deficiencia de calcio en la dieta de las gallinas reduce el grosor del cascarón, lo cual provoca mayor número de huevos rotos y, por consiguiente, menor porcentaje de eclosión.

Kim *et al.* (2012) señalan que las gallinas priorizan el suministro de algunos nutrientes para la formación del huevo sobre su propio mantenimiento; tal es el caso del calcio en sangre, el cual se mantiene en homeostasis mediante el tejido óseo para compensar la falta de calcio intestinal, aspecto por el cual la manipulación de las dietas no siempre contribuye directamente a la mejora de la calidad del huevo. No obstante, para Givisiez *et al.* (2020), la nutrición *in ovo* representa una estrategia para el suministro de nutrientes esenciales para el

desarrollo embrionario del pollo, repercutiendo no solo en la fase embrionaria, sino también en la etapa de crianza, al beneficiar el metabolismo y el desarrollo intestinal durante la incubación.

En lo que respecta al calcio, se ha establecido que la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la dieta de las gallinas mejora la calidad del huevo y del pollito al nacimiento (Calderón-González *et al.*, 2021), debido a que esta cactácea es rica en dicho mineral (El-Mostafa *et al.*, 2014). Por último, se debe considerar el factor genético de la gallina, aspecto que varía de acuerdo con el tipo de sistema avícola; en sistemas altamente tecnificados se observan núcleos de gallinas de genotipo comercial con un alto rendimiento, mientras que en los SPAF -como fue mencionado anteriormente- el núcleo se basa en gallinas autóctonas (criollas) con cruza de gallinas de razas europeas. Por ello, el genotipo de estos sistemas está relacionado con ejemplares híbridos (Pym *et al.*, 2006; Di Rosa *et al.*, 2020), lo cual propicia la aparición de diversos fenotipos (colores de plumaje) y un relativo aumento en la producción bajo condiciones rústicas (FAO, 2013; Juárez- Caratachea *et al.*, 2016).

En los análisis de los fenotipos de las gallinas de traspatio y su relación con las variables asociadas a las características del huevo, se ha observado una gran heterogeneidad en cuanto a peso, color y calidad (Illescas-Cobos *et al.*, 2022). Las características morfométricas promedio son de menor tamaño respecto a las razas mejoradas; no obstante, dentro de la variedad de colores presentes en los SPAF, el mayor porcentaje se ubica en la tonalidad marrón. Estos huevos presentan menor peso en comparación con razas europeas, como la Rhode Island Red (≥ 60 g), frente al promedio de las gallinas de traspatio (55.9 g). Sin embargo, los huevos de color beige provenientes de los SPAF suelen ser de mayor tamaño y se clasifican comercialmente como "medianos".

En cuanto a la fertilidad, las gallinas de traspatio presentan rangos de entre 76.5 y 82.4% (Juárez y Ortiz, 2001), frente al 85.1% en gallinas Chulillas (Ruiz *et al.*, 2016), el 97.81% en Araucanas y el 90.7% en Utreranas (González-Ariza *et al.*, 2020). Asimismo, se ha reportado que en los SPAF las gallinas con plumaje rojo producen huevos de mayor peso (53 g) en comparación con las de plumaje negro (49 g), características de las aves criollas (Juárez-Caratachea *et al.*, 2016). De acuerdo con lo referido, es necesario investigar con mayor

detalle el efecto del genotipo sobre el peso del huevo y la viabilidad del pollito, permitiendo al productor seleccionar mejores individuos para el reemplazo del núcleo reproductor.

Los factores analizados en los párrafos anteriores deben ser tomados en cuenta para asegurar el desarrollo embrionario y la viabilidad del pollito al nacimiento en los SPAF. Existe una estrecha relación entre el peso del huevo y el peso del pollito al nacer, considerando que el peso del pollito al nacimiento representa habitualmente entre el 62.0 y 76.0% del peso inicial del huevo (Hidalgo *et al.*, 2021). De aquí que, para el proceso de incubación, se recomienda la selección de huevos con un peso mínimo de 53 g, con el fin de asegurar una óptima calidad del pollito post-eclosión (Moposita *et al.*, 2021).

Incubabilidad y viabilidad del pollito post-eclosión (24 h) bajo un contexto de tecnología: selección del huevo para incubar e incubación artificial

De acuerdo con las características de un SPAF, la carencia de técnicas y tecnologías impide eficientar la incubabilidad y la viabilidad del pollito; ambas variables están supeditadas a la calidad del huevo y al estado de cloques de la gallina, factores en los cuales el productor tiene escasa influencia. Esto se debe a que la acción del productor suele limitarse al almacenamiento de una cantidad determinada de huevos -sin criterios de selección previos- y a la decisión de qué ave (gallina, guajolote o pato) realizará la incubación natural (Juárez-Caratachea *et al.*, 2015). Por el contrario, los sistemas de producción avícola con mayor nivel tecnológico priorizan la selección rigurosa del huevo como elemento central para garantizar la eficiencia y la incubabilidad del sistema (SIPSA, 2013).

El proceso de incubación artificial se lleva a cabo mediante un dispositivo eléctrico que cuenta con: cámara de incubación, sistema de calefacción, termostato, depósito de agua, higrómetro, ventilador y, en algunos casos, bandejas automáticas para el volteo. El conjunto de dichos componentes permite eficientar la incubabilidad de huevos fértiles seleccionados previamente por el productor (Moposita *et al.*, 2021). En síntesis, esta tecnología simula las condiciones proporcionadas por la gallina clueca: calor (37.6 a 37.8 °C), humedad (50 a 65%) y volteo del huevo (cada 2 h aproximadamente); elementos fundamentales que permiten el desarrollo embrionario (Figura 5) (King'Ori, 2011).

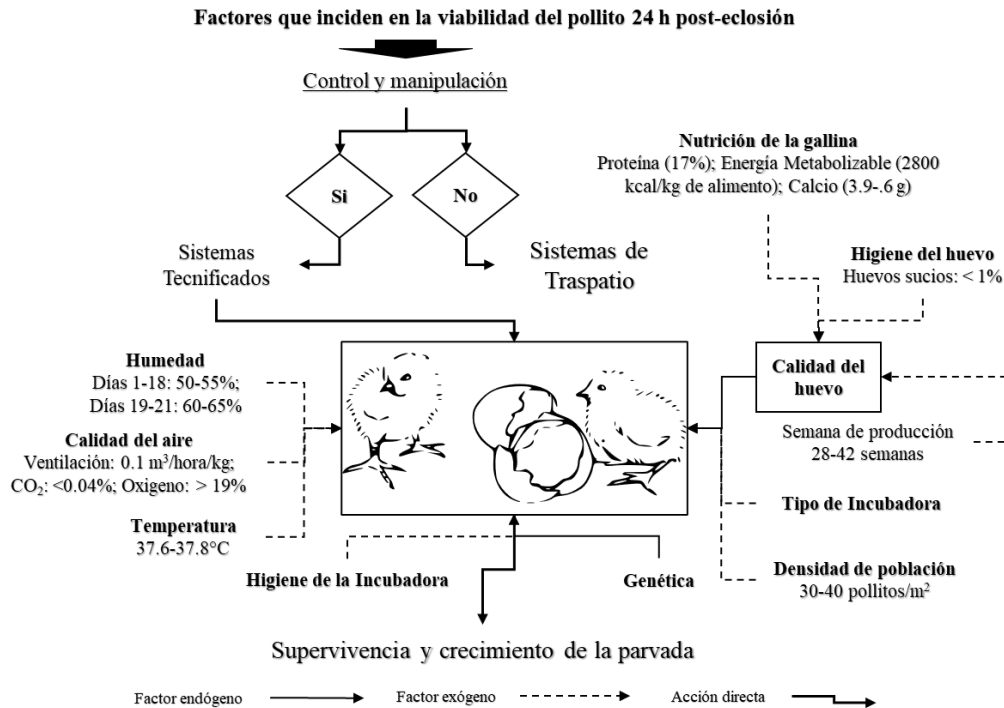


Figura 5. Reformulación de la visión esquemática del sistema de la incubación artificial en torno a la viabilidad del pollito, supervivencia y crecimiento de la parvada.

La reformulación del sistema biológico bajo un contexto de incubación artificial (Figura 5), establece que, con la introducción de tecnología se puede controlar y manipular las variables críticas para la viabilidad del pollito al nacimiento. En este escenario, el azar del entorno es sustituido por parámetros técnicos precisos: una temperatura constante de 37.6-37.8 °C, un gradiente de humedad que se ajusta según la fase de desarrollo (50-55% en los primeros 18 días y 60-65% en la fase final) y un control estricto de la calidad del aire para garantizar niveles de oxígeno superiores al 19%.

Esta visión esquemática (Figura 5) subraya que la eficiencia no depende solo de la máquina, sino de la calidad de los insumos seleccionados por el productor. Factores endógenos como la nutrición de la gallina se cuantifican ahora bajo estándares óptimos (17% de proteína y 2800 kcal/kg de alimento), mientras que la higiene del huevo -con una tolerancia de suciedad menor al 1%- y la selección de aves en su pico de producción (28-42 semanas) actúan como filtros de alta eficiencia para asegurar la supervivencia y el crecimiento sostenido de la parvada.

Antes de considerar los elementos que pueden incidir en el desarrollo embrionario y la viabilidad del pollito al nacimiento, por efectos humanos o desperfectos del dispositivo eléctrico para la incubación, se requiere establecer las condiciones mínimas necesarias que deben reunir los huevos para ser incubados de manera artificial (Figura 6).

En el caso de la selección del huevo para incubar, se consideran aspectos tales como: tamaño, forma, higiene e integridad (Galindo, 2005). Respecto al tamaño, este debe situarse entre los 53 y 63 g; los huevos con menor peso se descartan debido a su relación directa con el bajo peso del pollito al nacimiento. Por otro lado, los huevos con mayor peso (>63 g) también se descartan, ya que se asocian con un menor grosor del cascarón (Gandarillas, 2008; Hidalgo *et al.*, 2021); esto incrementa el riesgo de un inadecuado desarrollo embrionario y afecta la viabilidad del pollito al nacimiento, debido a la facilidad con la que pueden presentarse fisuras y fracturas que permiten la entrada de agentes contaminantes (Tubon *et al.*, 2024). En este sentido, la integridad del huevo es esencial para eficientizar el proceso de incubación y, por ello, se recomienda eliminar aquellos ejemplares con cascarones con grietas o rotos, puesto que son altamente susceptibles de contaminación por agentes patógenos (Rodríguez-Moya y Cruz-Bermúdez, 2017).

La forma del huevo es importante para la selección del huevo a incubar y esta debe ser ovoide; los ejemplares circulares, irregulares o arrugados son descartados, puesto que estos no cuentan con una distribución uniforme de calcio en la superficie del huevo, lo que predispone a menor cantidad de poros por cm², aspecto que dificulta el intercambio gaseoso durante el desarrollo embrionario (Casas *et al.*, 2010). Finalmente, respecto a la higiene de los huevos, si estos presentan residuos de heces, plumas y/o sangre, no se seleccionan; ya que, durante el proceso de incubación, dichos residuos pueden contaminar la parte interna del huevo a través de los poros del cascarón (Rodríguez-Moya y Cruz-Bermúdez, 2017).

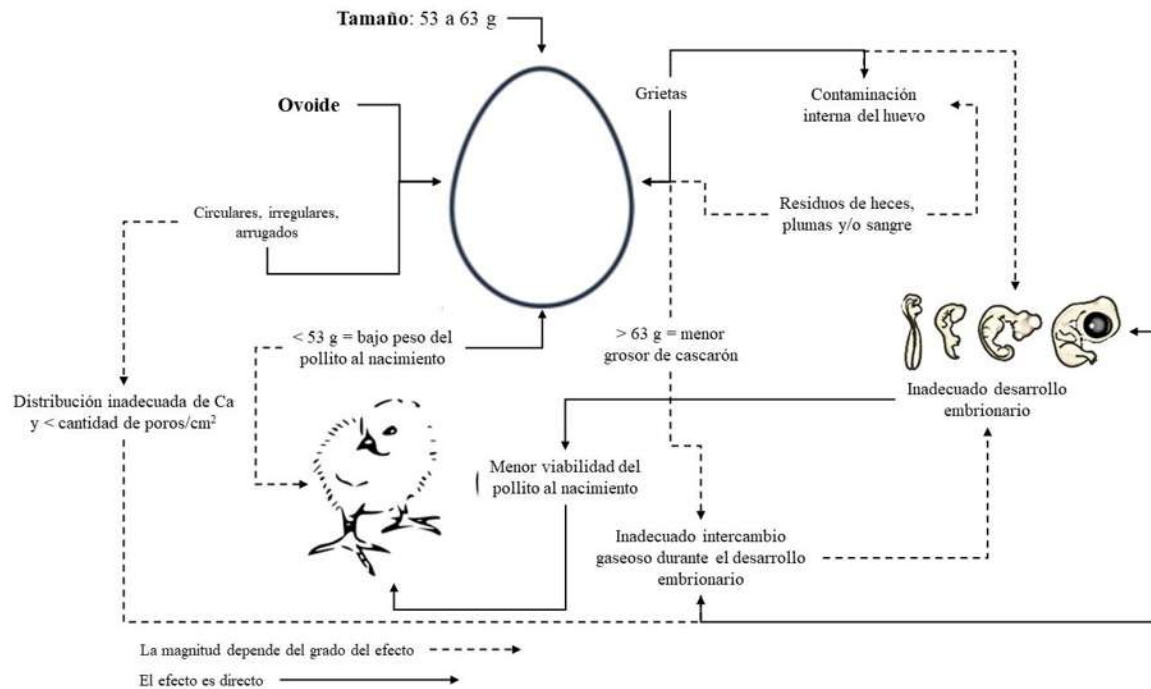


Figura 6. Condiciones del huevo a incubar que pueden favorecer o perjudicar el desarrollo embrionario y viabilidad del pollito al nacimiento

En síntesis, la viabilidad del pollito depende de la calidad del huevo (Figura 6). Un huevo óptimo debe ser ovoide y pesar entre 53 y 63 g; pesos menores producen pollitos débiles, mientras que pesos superiores presentan cascarrones delgados que desprotegen al embrión. Asimismo, formas irregulares o arrugadas indican una mala distribución de calcio y baja porosidad, lo que dificulta el intercambio gaseoso y el desarrollo embrionario. Finalmente, la presencia de grietas o suciedad (heces, plumas o sangre) eleva el riesgo de contaminación interna, comprometiendo drásticamente el éxito del nacimiento.

Aunado a lo anteriormente descrito, el desarrollo embrionario y la viabilidad del pollito al nacimiento están determinados por factores ambientales (Figura 7), tales como la temperatura, la humedad relativa y la calidad del aire (Rodríguez-Moya y Cruz-Bermúdez, 2017). Diversas investigaciones (Lourens *et al.*, 2007; Ruiz *et al.*, 2016; Intriago *et al.*, 2023) establecen que los rangos óptimos de temperatura durante la incubación oscilan entre 37.6 y 37.8 °C. Sin embargo, la fluctuación de este factor puede afectar negativamente la viabilidad tanto del embrión como del pollito e incluso incrementar la muerte embrionaria en sus diferentes etapas (temprana, intermedia y tardía); aspecto que incide directamente sobre el

porcentaje de eclosión (Figura 6) (Muñoz *et al.*, 2023). Por lo que, el control preciso de estos parámetros exógenos es lo que permite transitar de la incertidumbre de los Sistemas de Producción Avícola Familiar (SPAF) hacia la supervivencia y crecimiento eficiente de la parvada, como se detalla en la dinámica de la Figura 7.

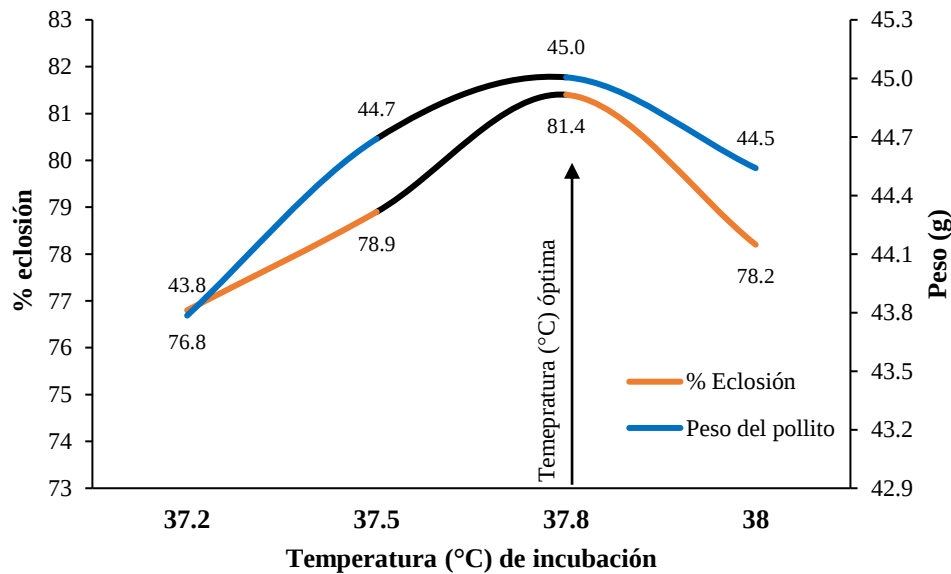


Figura 7. Dinámica del comportamiento de la eclosión (%) y peso del pollito al nacimiento de acuerdo con la temperatura (°C) de incubación

Fuente: elaboración propia a partir de Muñoz *et al.*, 2023

Para Lourens *et al.* (2007) y Ruiz *et al.* (2016), la temperatura de incubación no solo está estrechamente relacionada con el porcentaje de eclosión, sino también con el peso del pollito al momento de la eclosión (Figura 7). Por ejemplo, temperaturas superiores a los 37.8 °C provocan nacimientos prematuros y una disminución significativa en el peso del paquete visceral (Tabla 1). Específicamente, a una temperatura de 40 °C, los pollitos presentan pesos inferiores de corazón (0.30 g) y proventrículo (0.36 g) en comparación con aquellos incubados a 37.8 °C, cuyos órganos pesan 0.39 g y 0.40 g, respectivamente (Leksrisompong *et al.*, 2007). Esta tendencia se confirma en estudios de Intriago *et al.* (2023), donde a 38 °C el peso del corazón y del proventrículo fue de 0.34 g, mientras que a una temperatura de 37.2 °C los pesos fueron significativamente mayores (0.40 g y 0.46 g, respectivamente).

Tabla 1. Pesos (g) de los pollitos y su paquete visceral de acuerdo con la temperatura de incubación

Autor	Edad (d)	Temp	Peso (g)	SV	Czón	Híg	Pro	Vent
Joseph <i>et al.</i> , 2006	0-1	36.6	40.0	4.3	0.44*	1.5*	0.33**	2.1*
		37.8	39.0	3.0	0.38*	1.4*	0.41**	1.9*
Leksrisompong <i>et al.</i> , 2007	0-1	38.2	47.7	5.3	0.39	1.3	0.40	2.3
		40.0	44.6	4.8	0.30	1.3	0.36	2.4
Lourens <i>et al.</i> , 2007	0-1	37.8	41.5	4.0	0.41	1.7	0.34**	2.3*
		38.9	39.8	4.0	0.32	1.5	0.34**	2.0*
Ruiz <i>et al.</i> , 2016	1.5	37.5	37.1	2.5	0.50	1.5	0.50	1.5
		39.5	36.3	6.2	0.20	1.0	0.40	1.2
Abioja <i>et al.</i> , 2020	0	37.5	35.5	3.8	0.26	0.9	0.30	1.7
		37.2	43.6	2.4	0.40	1.3	0.46	3.6
Intriago <i>et al.</i> , 2023	0-1	37.5	44.7	4.7	0.42	1.2	0.30	2.1
		37.8	46.3	4.5	0.36	1.4	0.38	4.0
		38.0	44.6	4.2	0.34	1.4	0.34	2.5
		CV	2.5	9.5	25.8	21.9	16.0	33.9

d= días; Temp= temperatura (°C); g= gramos; SV= saco vitelino; Czón= corazón; Híg= hígado; Pro= Proventrículo; Vent= ventrículo; CV= coeficiente de variación; *= valores (p<0.05) estimados a través de regresión lineal; **= valores (p<0.05) estimados a través de regresión cuadrática

La humedad relativa (HR) durante la incubación, mantenida idealmente entre el 55 y 60%, es un factor crítico que influye sobre el desarrollo, peso y viabilidad del pollito. Esto se debe a que el agua contenida en el huevo fértil debe perderse gradualmente durante el desarrollo embrionario -mediante el intercambio gaseoso entre el embrión y el medio ambiente- en un rango de entre el 11 y 14% respecto al peso inicial del huevo.

Al respecto, Barbosa *et al.* (2013) y Boleli *et al.* (2016) determinaron que valores fuera de este rango óptimo impiden el correcto desarrollo embrionario. Una HR baja provoca una pérdida excesiva de humedad, resultando en la eclosión de pollitos deshidratados y con bajo peso. Por el contrario, una HR alta acelera la fase de eclosión, lo que impide una adecuada maduración del pollito y repercute negativamente en su periodo de crecimiento (Tabla 2).

Tabla 2. Pesos (g) de los pollitos, yema residual, tiempo de incubación (horas) y pérdida peso del huevo (%) de acuerdo con la humedad relativa en incubación

Autores	HR (%)	PP (g)	TI (h)	PPH (g)	YR (g)
Bruzual <i>et al.</i> , 2000	43	39.4	496.8	9.2	5.5*
	53	40.1	494.4	9.7	6.0*
	63	41.2	499.2	8.5	6.9*
Barbosa <i>et al.</i> , 2008	48	39.0	501.9**	15.2	5.4
	56	38.7	505.5**	13.4	5.1
	64	39.4	497.3**	12.4	5.1
Boleli <i>et al.</i> , 2012	50	37.6	528.9	13.1	4.1*
	60	38.1	516.7	11.1	4.5*
Van der Pol <i>et al.</i> , 2013	30-35	43.8	488.0	12.7	9.0
	50-60	44.2	488.0	9.7	9.0
Prado-Rebolledo <i>et al.</i> , 2017	50	43.0	534.4**	11.4	8.3*
	58	42.9	531.0**	10.7	8.2*
	CV	5.7	3.3	17.4	27.7

g= gramos; h=horas; HR= humedad relativa (%); PP= peso de los pollitos; TI= tiempo de incubación; PPH= pérdida de peso del huevo; YR= yema residual; CV= coeficiente de variación; *= valores estimados a través de regresión lineal; **= valores estimados a través de regresión cuadrática

El intercambio gaseoso [oxígeno (O₂) y dióxido de carbono (CO₂)] que se lleva a cabo durante el proceso de incubación son elementos que afectan tanto el desarrollo embrionario como la viabilidad del pollito al nacimiento (Cordeiro y Hincke, 2016). En dicho proceso, la integridad del cascarón como la de la membrana corioalantoidea son vitales para el éxito de la incubabilidad del huevo, puesto que estas estructuras participan directamente en el intercambio de O₂ y CO₂ entre la sangre del embrión y el medio ambiente (Deeming *et al.*, 2016).

Para Rodríguez-Moya y Cruz-Bermúdez (2017), el porcentaje de O₂ adecuado oscila entre el 21 y 22%. En cuanto al contenido de CO₂, Prado-Rebolledo *et al.* (2021) establecen que el incremento de dichos porcentajes repercute negativamente en la incubabilidad al provocar anomalías, lentitud en el desarrollo y debilidad en el embrión. Al respecto, Okur (2019) observó que el porcentaje de incubabilidad disminuye drásticamente si los niveles de CO₂ superan el 0.9% (Figura 8).

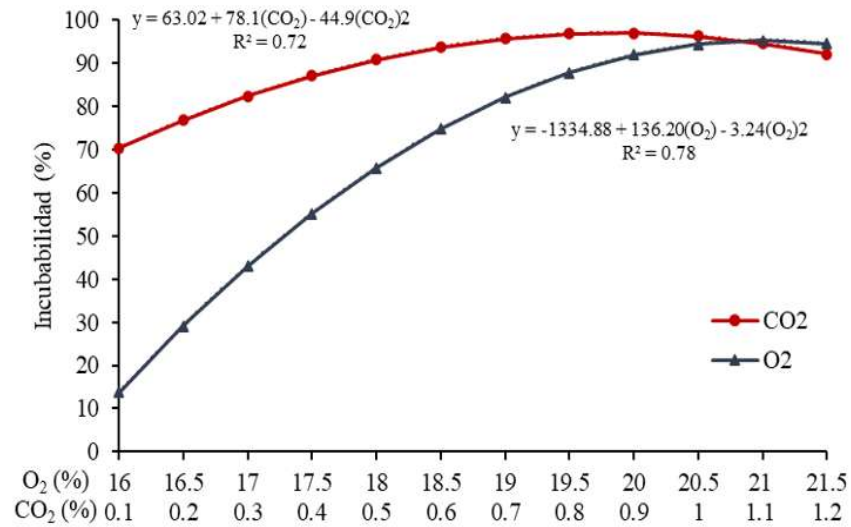


Figura 8. Predicción del comportamiento del porcentaje de incubabilidad de acuerdo con el porcentaje de oxígeno y dióxido de carbono

Fuente: elaboración propia a partir de Okur, 2019

Para eficientar los SPAF sin inversión extra, el almacenamiento de los huevos fértiles post-selección debe limitarse a siete días en lugares frescos (15-20 °C); pues, de acuerdo con Fasenko (2007), el calor o tiempo prolongado deshidratan el huevo, afectando su viabilidad. Asimismo, el uso de nidos de madera y paja mantiene los 37.8 °C y la ventilación necesaria para el intercambio gaseoso, favoreciendo la eclosión (Prado-Rebolledo *et al.*, 2021; Muñoz *et al.*, 2023). Esta eficiencia se complementa con la higiene de nidos y el descarte de huevos sucios para evitar patógenos (Rodríguez-Moya y Cruz-Bermúdez, 2017). Finalmente, seleccionar reemplazos con peso al nacer de 36-43 g asegura mejor desarrollo de órganos digestivos y absorción de nutrientes, optimizando el crecimiento hacia el inicio del ciclo productivo a las 28 semanas (Elvis-Chikwem *et al.*, 2024).

EFFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*O. ficus-indica*) A LA DIETA DE GALLINAS (*Gallus gallus domesticus*) SOBRE COLESTEROL (sérico y en huevo), PRODUCTIVIDAD, INCUBABILIDAD Y VIABILIDAD DEL POLLITO BAJO EL ESQUEMA DE AVICULTURA FAMILIAR

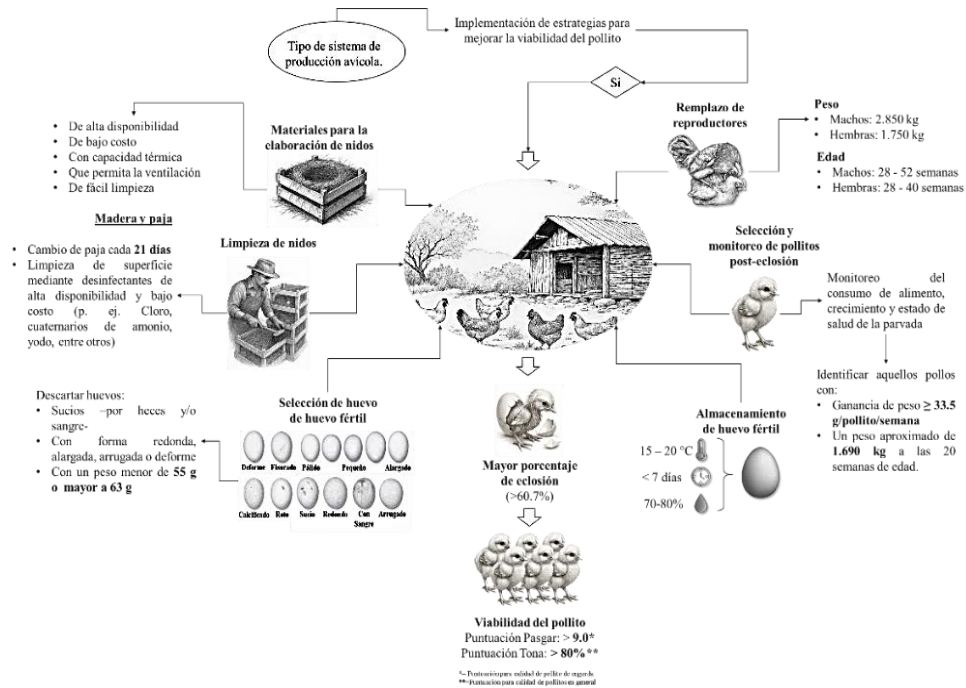


Figura 9. Estrategias para mejorar el porcentaje de eclosión y viabilidad del pollito al nacimiento

Conclusiones

La presente revisión permitió establecer que la viabilidad del pollito en los sistemas de producción avícola familiar (SPAF) no debe entenderse como un evento aislado, sino como la salida (output) de un sistema complejo que integra variables biológicas y ambientales. Bajo esta perspectiva, la optimización de las entradas constituye el primer paso crítico, donde la selección morfológica y la gestión de la carga microbiana actúan como filtros esenciales: a) privilegiar huevos ovales de entre 53 y 63 g, b) garantizar la higiene mediante el descarte de ejemplares sucios y c) desinfección de nidos con agentes de bajo costo (cloro o yodo). Bajo estos criterios, el productor establece una rutina de selección de huevos y una barrera eficaz contra la contaminación interna del embrión y asegura un desarrollo visceral adecuado.

La mejora del proceso de transformación en el SPAF depende de la capacidad de mantener la homeostasis dentro de la incubación natural. Por lo que, la implementación de nidos rústicos fabricados con madera y paja surge como una estrategia tecnológica viable para conservar el punto de ajuste térmico de 37.8 °C y permitir el flujo gaseoso necesario para la

morfogénesis de órganos vitales como el corazón y el proventrículo. Este control ambiental se complementa con la ubicación de los nidos en áreas que favorezcan una humedad relativa del 55-60%, lo que permite una pérdida de peso del huevo equilibrada y una asimilación eficiente de la yema residual antes del nacimiento.

Finalmente, la evaluación de la salida del sistema debe basarse en criterios de calidad post-eclosión que aseguren la viabilidad a largo plazo. La selección de pollitos de reemplazo con pesos de 36 a 43 g a las 24 horas de vida garantiza que el sistema se retroalimente con individuos poseedores de una estructura digestiva robusta y una alta capacidad de absorción de nutrientes. Al seguir este modelo de intervención técnica simplificada, es posible elevar los indicadores de eclosión y supervivencia sin alterar la naturaleza de baja inversión del SPAF, cumpliendo así con los estándares de producción que demanda el ciclo reproductivo hacia las 28 semanas de edad

Consideraciones Generales

La metodología de la Teoría General de Sistemas permite comprender la viabilidad del pollito al descomponerla en componentes críticos -nutrición, genética y ambiente de incubación- para luego analizar sus interacciones complejas. Este enfoque identifica factores susceptibles de control dentro del sistema de producción familiar sin comprometer su esencia.

Factores exógenos y la gallina: La viabilidad inicia con factores que afectan a la progenitora, tales como, nutrición y edad y en consecuencia estos factores determinan directamente el peso y la calidad del huevo fértil, repercutiendo en el desarrollo embrionario. Otro factor implícito en los factores exógenos y que limita la productividad del SPAF es la económica, debido a que el alimento comercial no es viable en estos sistemas, la introducción de líneas mejoradas surge como un recurso para beneficiar el peso del huevo a incubar. Pero esta acción, no favorece a este tipo de ejemplares.

El microambiente de incubación: El éxito de la eclosión depende de la interacción de variables físicas y ambientales, tales como la calidad del huevo y en donde la selección basada en tamaño forma e higiene son clave para la incubación y viabilidad del pollito al nacimiento. En cuanto al control ambiental, aunque es casi imposible controlar la temperatura, humedad y calidad del aire en sistemas tradicionales, la capacitación permite

mitigar estas carencias mediante nidos rústicos estratégicamente ubicados y la higiene rigurosa. Puesto que, en el sistema tradicional, la gallina sigue siendo el componente mecánico esencial para proveer temperatura y volteo.

Evolución del sistema, en este sentido existe una tensión teórica en la mejora de los SPAF, puesto que implica cambio de clasificación. Las modificaciones propuestas en la higiene y el ambiente de incubación podrían alejar al sistema de su definición "tradicional" al alterar su forma operativa. No obstante, el enfoque sistémico demuestra que es posible mejorar el porcentaje de eclosión y la viabilidad sin transformar fundamentalmente la naturaleza del sistema, manteniendo la baja inversión y el manejo familiar.

Bibliografía

- Abioja, M.O., Akinjute, O.F., Abiona, J.A. and Ojoawo, H.T. (2020). Effect of egg storage duration on spread of hatch, chick quality and organ development in FUNAAB-alpha chickens. *Tropical Agriculture*, 97(3): 164-172. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.13480>
- Alemu, S.B. and Terfa, S.G. (2024). A Review on the Effects of Broodiness Characteristics on Egg Productivity, Hatchability, and Chick Quality of Indigenous Chicken in Ethiopia. *American Journal of Biological and Environmental Statistics*, 10(4), pp. 131-138.
- Aygun, A., Nariç, D. y Arısoy, H., 2025. Comparación del rendimiento, la calidad del huevo y el costo del huevo de diferentes genotipos de postura en un sistema de cría en libertad desde las 21 a las 44 semanas de edad. *Animals*, 15(1): 86. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani15010086>
- Barbosa, V.M., Cançado, S.V., Baião, N.C., Lana, A.M.Q., Lara, L.J.C. and Souza, M.R. (2008). Efeitos da umidade relativa do ar na incubadora e da idade da matriz leve sobre o rendimento da incubação. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 60(3): 741-748. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352008000300032>
- Barbosa, V.M., Rocha, J.S.R., Pompeu, M.A., Martins, N.R.S., Baiao, N.C., Lara, L.J.C., Bautista, J.V.M.S.P. and Leite, R. C. (2013). The effects of relative humidity and turning in incubators machines on the incubation yield and chick performance. *World's Poultry Science Journal*, 69(1): 89-98. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933913000081>
- Barocio-Urue, J.N., Juárez-Caratachea, A., Gutiérrez-Vázquez, E., Pérez-Sánchez, R.E. and Ortiz-Rodríguez, R. (2017). Effect of diet on live weight and egg weight of backyard hens during the rainy season. *Austral Journal of Veterinary Sciences*, 49(2): 91-98. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0719-81322017000200091>
- Beissinger, S.R., Cook, M.I. and Arendt, W.J. (2005). The shelf life of bird eggs: testing egg viability using a tropical climate gradient. *Ecology*, 86(8), 2164-2175. DOI: <https://doi.org/10.1890/04-1624>

- Bello, A.P. y Expósito, G.P. (2003). La avicultura de traspatio en zonas campesinas de la provincia de Villa Clara, Cuba. *Livestock Research for Rural Development*. 15(2).
- Bertalanffy, L.V. (1976). Fundamentos, desarrollo, y aplicaciones; Teoría General de los Sistemas. Ed. Fondo de Cultura Económica. México D.F. Pp. 13-64.
- Boleli, I.C. and Queiroz, S.D. (2012). Effects of incubation temperature and relative humidity on embryonic development in eggs of red-winged tinamou (*Rhynchotus rufescens*). *International Journal of Poultry Science*, 11(8): 517-523.
- Boleli, I.C., Morita, V.S., Matos Jr, J.B., Thimotheo, M. and Almeida, V.R. (2016). Poultry egg incubation: integrating and optimizing production efficiency. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 18: 1-16.
- Bruzual, J.J., Peak, S.D., Brake, J. and Peebles, E.D. (2000). Effects of relative humidity during incubation on hatchability and body weight of broiler chicks from young breeder flocks. *Poultry science*, 79(6): 827-830. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/79.6.827>
- Calderón-González, M., Pérez-Sánchez, R.E., Juárez-Caratachea, C.A., Gutiérrez-Vázquez, E. y Ortiz-Rodríguez, R. (2021). Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la dieta de gallinas Rhode Island Red sobre la calidad del huevo con énfasis en el colesterol. *Opuntia*. Pp. 65-74.
- Camacho-Escobar, M.A., Arroyo-Ledezma, J. and Ramírez-Cancino, L. (2008). Diseases of backyard turkeys in the Mexican tropics. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1149(1): 368-370.
- Camacho-Escobar, M.A., Lira-Torres, I., Ramírez-Cancino, L., López-Pozos, R. y Arcos-García, J.L. (2006). La avicultura de traspatio en la costa de Oaxaca, México. *Ciencia y Mar*, 10(28): 3-11.
- Camacho-Escobar, M.A.; Jerez-Salas, M.P. y Vásquez-Dávila, M.A. (2014). La guajolota, incubadora tradicional del traspatio en México. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 4: 316-318.
- Casas, L.G., Izquierdo, F.U., Aguilar, F.G. and Hidalgo, J.S.V. (2010). Caracterización de huevos clasificados como no aptos por su peso y forma procedentes de reproductoras ligeras, semirrústicas y pesadas. *Revista de Producción Animal*, 22(1): 44-48.
- Castellanos, R.B., Pérez, M.S. and Cañizares, A.V. (2012). Comportamiento de la incubabilidad y fertilidad, de tres líneas de gallinas semirrústicas. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 13(4): 1-9.
- Cedro, T.M.M., Calixto, L.F.L., Gaspar, A., Curvello, F.A. and Hora, A.S. (2009). Internal quality of conventional and omega-3-enriched commercial eggs stored under different temperatures. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 11: 181-185.
- Centeno, S.B., López, C. A. y Juárez, M.A. (2007). Producción avícola familiar en una comunidad del municipio de Ixtacamaxtitlán, Puebla. *Revista Técnica Pecuaria México*, 45(1): 41-60.
- Chan-Colli, M., Carvajal, M., Segura, J., Sarmiento, L. and Santos, R. (2007). Effect of dietary energy and sulphur amino acid level on egg production traits in the tropics. *Journal of Animal Veterinary Advances*, 6(10): 1209-1213. <https://doi.org/10.3923/javaa.2007.1209.1213>
- Cordeiro, C.M. and Hincke, M.T. (2016). Quantitative proteomics analysis of eggshell membrane proteins during chick embryonic development. *Journal of proteomics*, 130: 11-25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2015.11.012>

- Cruz-Sánchez, B., Muñoz-Rodríguez, M., Santoyo-Cortés, V.H., Martínez-González, E.G. y Aguilar-Gallegos, N. (2016). Potencial y restricciones de la avicultura de traspatio sobre la seguridad alimentaria en Guerrero, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 13(2): 257-275.
- Cuca-García, J.M., Gutiérrez-Arena, D.A. y López-Pérez, E. (2015). “La avicultura de traspatio en México: historia y caracterización”. *Revista Agro productividad*, 8(4): 30-36.
- Deeming, D.C. (2016). How does the bird-nest incubation unit work?. *Avian Biology Research*, 9(2): 103-113. DOI: <https://doi.org/10.3184/175815516X14666935825929>
- Di Rosa, A.R., Chiofalo, B., Lo Presti, V., Chiofalo, V. and Liotta, L. (2020). Egg Quality from Siciliana and Livorno Italian Autochthonous Chicken Breeds Reared in Organic System. *Animals*, 10(5): 864. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10050864>
- Díaz-Carreño, M. Á., Sánchez-Cándido, L. V. y Herrera Rendón-Nebel, M. T. (2019). La inseguridad alimentaria severa en los estados de México: Un análisis a partir del enfoque de las capacidades 2008-2014. Estudios sociales. *Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 29(53).
- El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El Kebbaj, M.S., Latruffe, N., Lizard, G., Nasser, B. and Cherkaoui-Malki, M. 2014. Nopal Cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a Source of Bioactive Compounds for Nutrition, Health and Disease. *Molecules*, 19(9): 14879-14901. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules190914879>
- Elvis-Chikwem, C. L., Bahar, B., Derecka, K., White, G., Burton, E., Castellanos, M. and O’Shea, C. J. (2024). Identification of differences in digestive organ weight, bone mineral concentration, and ileal transcriptomic profiles of low and high weight broiler chicks. *The Journal of Agricultural Science*, 162(4): 394–403. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859624000571>
- Fasenko, G. M. (2007). Egg storage and the embryo. *Poultry science*, 86(5): 1020–1024. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/86.5.1020>
- Freeman, B.M. and Vince, M.A. (1974). Development of the avian embryo: a behavioural and physiological study. London, UK: Chapman and Hall.
- Galindo, S.L.R. (2005). Embriodiagnosis y ovoscopia. Análisis y control de calidad de los huevos incubables. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*. 6(3): 1-25.
- Gandarillas, E.D. (2008). Estudio del efecto, tamaño, peso del huevo sobre la incubabilidad de broilers. *Ciencia & Desarrollo*. 12: 53-56.
- Givisiez, P.E., Moreira Filho, A.L., Santos, M.R., Oliveira, H.B., Ferket, P.R., Oliveira, C.J. and Malheiros, R.D. (2020). Chicken embryo development: metabolic and morphological basis for in ovo feeding technology. *Poultry Science*, 99(12): 6774-6782. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.074>
- González-Ariza, A., Nogales, S., Navas-González, F.J., Delgado, J.V., León, J.M., Barba, C.J., Arando, A. and Camacho, M.E. (2020). Preliminary study of the characterization of the growth of the Utrerana avian breed. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 4: 14-20.
- Greca, I.M.R. y Moreira M.A. (1998). Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 15(2): 107-120.

- Gutiérrez-Triay, M.A., Segura-Correa, J.C., López-Burgos, L., Santos-Flores, J., Santos-Ricalde, R.H., Sarmiento-Franco, L., Carvajal-Hernández, M. y Molina-Canul, G. (2007). Características de la avicultura de traspatio en el municipio de Tetiz, Yucatán, México. *Tropical and subtropical Agroecosystems*, 7(3): 217-224.
- Hernández-Sánchez, A., Román-Bravo, R.M., Juárez-Caratachea, A., Gutiérrez-Vázquez, E., Val-Arreola, D. y Ortiz-Rodríguez, R. (2023). Comparación del crecimiento y rendimiento cárnico de pollos F1 plumaje normal y de cuello desnudo, criados bajo condiciones de traspatio en un ambiente de trópico seco. *Revista Científica, FCV-LUZ*, 1(33): 1-6.
- Hidalgo, J.S.V., Moposita, D.A.M. y Naveda, N.R.O. (2021). Parámetros productivos en la incubación de huevos considerados como no aptos procedentes de reproductoras pesadas. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 6(12): 488-503.
- Hortúa-López, L.C., Cerón-Muñoz, M.F., de Lourdes Zaragoza-Martínez, M. y Angulo-Arizala, J. (2021). “Avicultura de traspatio: aportes y oportunidades para la familia campesina”. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 32(3): 1019-1033. <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.42903>
- Illescas-Cobos, A.A., González-Cerón, F. y Pro-Martínez, A. (2022). Caracterización morfométrica y potencial reproductivo de los huevos de gallinas Criollas Mexicanas (*Gallus gallus domesticus*) dispuestos a incubación artificial. TIP. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 25. DOI: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.509>
- Intriago, V., Rivera, O.A.C., Hurtado, E. y Fernández, R.D.R. (2023). Manejo en edad de reproductoras y temperatura de incubación sobre ventana de nacimiento y calidad del pollito bb. *Revista Ciencia UNEMI*, 16(43): 24-34. DOI: <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol16iss43.2023pp24-34p>
- Johnson, S. (2008). Sistemas emergentes. O qué tienen en común hormigas, neuronas, ciudades y software. *Revista Eure*. 34(101): 142-145. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/250370611_Steven_Johnson_Sistemas_emergentes_O_que_tienen_en_comun_hormigas_neuronas_ciudades_y_software
- Joseph, N.S., Lourens, A. and Moran, E.T. (2006). The Effects of Suboptimal Eggshell Temperature During Incubation on Broiler Chick Quality, Live Performance, and Further Processing Yield. *Poultry Science*, 85(5): 932–938. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/85.5.932>
- Juárez, C.A. y Pérez, T.J. (2003). Comportamiento de la parvada de gallinas criollas en condiciones naturales del medio rural. *Ciencia Nicolaita*, 35: 73-80.
- Juárez, C.A. y Ortiz, A.M.A (2001). Estudio de la incubabilidad y crianza en aves criollas de traspatio. *Veterinaria México*, 32(1): 27-32
- Juárez, C.A., Gutiérrez, E.V., Garcidueña, R.P. y Salas, G.R. (2010). “Producción de huevos en gallinas criollas Cuello Desnudo (Nana) y con plumaje normal (nana) en la región del altiplano mexicano”. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 44(3): 287-290.
- Juárez-Caratachea, A., Barocio-Urue, J.N., García-Valladares, A., Gutiérrez-Vázquez, E. y Ortiz-Rodríguez, R. (2016). Efecto del fenotipo (color de plumaje) sobre el peso del huevo y peso vivo de la gallina de traspatio. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 48: 99-106.

- Juárez-Caratachea, A., Ortiz-Rodríguez, R., Pérez-Sánchez R.E., Gutiérrez-Vázquez, E. y Val-Arreola, D. (2008). Caracterización y modelación del sistema de producción avícola familiar. *Livestock Research for Rural Development*, 20(2): 13.
- Juárez-Caratachea, A., Ortiz-Rodríguez, R., Pérez-Sánchez, R.E., Gutiérrez-Vázquez, E. y Val-Arreola, D. (2015). Caracterización y modelación del sistema de producción avícola familiar. *Teoría General de Sistemas para Principiantes*, 69.
- Kim, W.K., Bloomfield, S.A., Sugiyama, T. and Ricke, S.C. (2012). Concepts and methods for understanding bone metabolism in laying hens. *World's Poultry Science Journal*, 68(1): 71-82. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933912000086>
- King'Ori, A.M. (2011). Review of the factors that influence egg fertility and hatchability in poultry. *International Journal of poultry science*, 10(6): 483-492.
- Lara, L.L.H., Merino, G.C., González, Q.J., Sánchez, R.J.F. y Juárez, C.A. (2003). Diagnóstico de la avicultura familiar en el municipio de Penjamillo, Michoacán. Memoria XIV Encuentro de Investigación Veterinaria y Producción Animal. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. Pp. 194-197.
- Leksrisompong, N., Romero-Sanchez, H., Plumstead, P.W., Brannan, K.E. and Brake, J., (2007). Broiler incubation. 1. Effect of elevated temperature during late incubation on body weight and organs of chicks. *Poultry Science*, 86(12): 2685-2691. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00170>
- Leone, V.A., Worzalla, S.P. and 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(4): 621-632. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00264>
- Llamuca, L., Llamuca, M. y Intriago, V. (2024). Efecto de la edad de gallinas reproductoras en la incubabilidad y calidad del pollito bb: Una revisión. *Revista Científica Arbitrada en Investigaciones de la Salud GESTAR*, 7(14): 184-204.
- Lourens, A., Van den Brand, H., Heetkamp, M.J.W., Meijerhof, R. and Kemp, B. (2007). Effects of eggshell temperature and oxygen concentration on embryo growth and metabolism during incubation. *Poultry science*, 86(10): 2194-2199. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00170>
- Luhmann, N., 1990. Sociedad y sistema: La ambición de la teoría. Ediciones Paidós Ibérica, S. A. Barcelona, España. Pp. 9-29.
- Mammo, M. and Wude, T. (2011). Phenotypic and genotypic characteristics of indigenous chickens in Ethiopia: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 6: 5398-5404. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR11.679>
- Manyeula, F., Sebolai, B., Sempule, G. and Moreki, J.C. (2021). Effects of broiler breeders' Age on egg quality characteristics and their correlation coefficients. *Journal of World's Poultry Research*, 11(3): 368-375. <https://doi.org/10.36380/jwpr.2021.53>
- Martínez, Y., Valdivié, M., Estarrón, M., Solano, G. y 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.
- Mata-Estrada, A., González-Cerón, F., Pro-Martínez, A., Torres-Hernández, G., Bautista-Ortega, J., Vargas-Galicia, A. J., Becerril-Pérez, C.M. y Sosa-Montes, E. (2023). Caracterización del sistema de producción avícola de traspatio en el Estado de

- Campeche, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 20(2): 125-138. DOI: <https://doi.org/10.22201/asd.20070720e.2023.20.2.1074>
- Maturana, R.H. y Varela G.F. (1994). De Máquinas y Seres vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo. Sexta Ed. Editorial LUMEN. Buenos Aires 2003. Pp. 67-131
- Mendoza-Martínez, G.D., Arce-Menocal, J., López-Coello, C. y Ávila-González, E. (2012). Respuesta productiva de gallinas a dietas con diferentes niveles de proteína. *Archivos de medicina veterinaria*, 44(1): 67-74. DOI: <https://doi.org/10.29057/amv.v44i1.1210>
- Moposita, D.A.M., Hidalgo, J.S.V. y Naveda, N.R.O. (2021). Incubación artificial y producción de huevos. *CIENCIAMATRIA*, 7(1): 73-94.
- Muñoz, V.A.I., Rengifo, F.A.C. y Loor, R.I.Z. (2023). Diferentes temperaturas en incubación de huevos fértiles Cobb-500 y su efecto en la pérdida de peso y rendimiento en peso del pollito. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 31(Suplemento): 403-409.
- O'Sullivan, N.P., Dunnington, E.A. and Siegel, P.B. (1991). Relationships among age of dam, egg components, embryo lipid transfer, and hatchability of broiler breeder eggs. *Poultry Science*, 70: 2180-2185.
- Okur, N. (2019). Effects of incubator carbon dioxide and oxygen levels, and egg weight on Broilers' hatchability of fertile eggs. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 21. DOI: <https://doi.org/10.1590/1516-635x210220>
- Olarotimi, O.J., y Adu, O.A. (2017). Potenciales de las fuentes no convencionales de proteína en la alimentación de animales no rumiantes. *Archivos de zootecnia*, 66(255): 451-457. DOI: <https://doi.org/10.21071/az.v66i255.2524>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2013). Revisión del Desarrollo Avícola. Pp. 1-4.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2016). Iniciativa Regional 2 agricultura familiar y sistemas alimentarios inclusivos para el desarrollo rural sostenible. Disponible en: <https://bit.ly/3Z6KXr4>
- Ortiz, R.R., Pérez, S.R.E., Juárez, C.A. y Gómez, R.B. (2015). Teoría de Sistemas en la Producción Animal. 1ª Edición 2015. Universidad Michoacana de San de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.
- Ortiz-Rodríguez, R., Barocio, J.N., Gutiérrez-Vázquez, E., Pérez-Sánchez, R.E., Val-Arreola, D. y Juárez-Caratachea, A. (2023). Caracterización de las dietas de gallinas de traspatio en la región del Bajío Michoacano durante la época seca. *Livestock Research for Rural Development*, 35: 12.
- Ortiz-Rodríguez, R., Pérez-Sánchez, R.E., Gutiérrez-Vázquez, E., Juárez-Caratachea, A. y Hernández-Sánchez, A. (2024). Factores que determinan el núcleo de gallinas en los sistemas de producción avícola familiar en el trópico seco. *Ciencia en la frontera*. Pp. 131-135.
- Osorio, J.H. y Flores, J.D. (2018). Comparación de lípidos sanguíneos entre pollos de engorde y gallinas ponedoras. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 65(1): 27-35.
- Padhi, M.K., Chatterjee, R.N., Haunshi, S. and Rajkumar, U. (2013). Effect of age on egg quality in chicken. *Indian Journal of Poultry Science*, 48(1): 122-125.

- Peebles, E.D., Zumwalt, C.D., Doyle, S.M., Gerard, P.D., Latour, M.A., Boyle, C.R. and Smith, T.W., 2000. Effects of breeder age and dietary fat source and level on broiler hatching egg characteristics. *Poultry Science*, 79: 698-704.
- Prado-González, E.A., Ramírez-Avila, L. and Segura-Correa, J.C. (2003). Genetic parameters for body weights of Creole chickens from Southeastern Mexico using an animal model. *Livestock Research for Rural Development*, 15(1): 27-31.
- Prado-Rebolledo, O. y Juárez-Estrada, M. (2017). Efecto de la humedad en incubación sobre la incubabilidad y mortalidad embrionaria del pollo de engorda en el trópico seco mexicano. *Abanico veterinario*, 7(2): 68-74. DOI: <https://doi.org/10.5897/AV.2021.0216>
- Prado-Rebolledo, O., Castellano-Ortega, J., Ruíz-Ramírez, J., Zepeda-Batista, J. y García-Casillas, A. (2021). Efecto del nivel de dióxido de carbono de la incubadora sobre el desarrollo embrionario y parámetros de eclosión en pollo de engorda. *Abanico Veterinario*, 10(1): 1-10.
- Pym, R.A.E., Bleich, E.G. and Hoffmann, I. (2006). The relative contribution of indigenous chicken breeds to poultry meat and egg production and consumption in the developing countries of Africa and Asia. Animal Production and Health Division, Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome, Italy.
- Rakonjac, S., Petrović, M., Bogosavljević-Bošković, S., Škrbić, Z., Perić, L., Dosković, V. and Petričević, V. (2018). Effect of age and season on production performance and egg quality of laying hens from different rearing systems. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 28(6): 1602-1608.
- Rizzi, C. and Chiericato, G.M. (2005). Organic farming production. Effect of age on the productive yield and egg quality of hens of two commercial hybrid lines and two local breeds. *Italian Journal of Animal Science*, 4(3): 160-162. DOI: <https://doi.org/10.4081/ijas.2005.160>
- Rodríguez, J.H.V. y Bravo, G.A.H. (2019). El efecto de diferentes niveles de suministro de carbonato de calcio sobre el peso y grosor de la cáscara del huevo. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 11(2): 719.
- Rodríguez-Moya, J. y Cruz-Bermúdez, A.I. (2017). Factores que afectan la incubabilidad de huevo fértil en aves de corral. *Nutrición animal tropical*, 11(1): 16-37.
- Romanoff, A.L. and Romanoff, A.J. (1949). The Avian Egg. Wiley, New York.
- Rosas, N.A. y Lerdon, F.J. (2018). Factibilidad de un proyecto avícola para producción de huevos bajo sistema free-range en el sur de Chile. *Idesia (Arica)*, 36(3): 131-140. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018000300015>
- Ruiz, D.N., Orrego, G., Reyes, M. y Silva, M. (2016). Aumento de la temperatura de incubación en huevos de gallina araucana (*Gallus inauris*): efecto sobre la mortalidad embrionaria, tasa de eclosión, peso del polluelo, saco vitelino y de órganos internos. *International Journal of Morphology*, 34(1): 57-62. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0717-95022016000100009>
- Ruiz, H., Ruiz, B. y Mendoza, P. (2014). Caracterización del sistema de producción de aves de traspaso del municipio de Pantepec, Chiapas. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal AICA*, 4: 41-43.
- Salas, M.P.J. (2019). Conservación del patrimonio genético de gallinas criollas (*Gallus gallus*) en Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6(2): 21-28.

- Sánchez-Sánchez, M. and Torres-Rivera, J.A. (2014). Diagnóstico y tipificación de unidades familiares con y sin gallinas de traspatio en una comunidad de Huatusco, Veracruz (México). *Avances en investigación Agropecuaria*, 18(2): 63-75.
- Santamaría-Valderrama, D.E., Vera-Velásquez, K.A. y Intriago-Muñoz, V.A. (2025). Evaluación de la incubabilidad en huevos considerados no aptos para la incubación. *Revista Científica Arbitrada En Investigaciones De La Salud GESTAR*, 8(15): 381-393.
- Sarkar, P.K. (2022). Broodiness and broody hen management during egg incubation. *Reviews in Agricultural Science*, 10: 337-343. https://doi.org/10.7831/ras.10.0_337
- Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA). (2013). Gallinas ponedoras y producción de huevo una fuente de proteína animal de bajos costos, al alcance de todos. *Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria*, 1(16): 1-5.
- Ssebina, B.S. (2003). Integrated programmend hatching of days old chicks on one particular day per week (A basis for improving the social economic status of rural communities.) Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Ssewanyana, E., Onyait, A., Ogwal, J., Mukasa, B., Nsamba, P. and Masaba, J. (2003). Characteristics of rural chicken production in Apac and Kumi districts of Uganda. *Uganda Journal of Agricultural Sciences*, 8(10): 159-164.
- Tasayco, E.S. y Huallanca, S.J.B. (2021). Gestión de la energía dietaria en la reducción de costo de alimentación en la producción de huevos. *ALFA Revista de investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 5(15): 509-515.
- Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation (CTA). (2007). Improved Practices in Rearing Indigenous Chickens. CTA Practical Guide Series, No. 4. CTA, Wageningen, The Netherlands.
- Tepox-Pérez, M.D.L.Á., Jínez-Méndez, T. y Ávila-González, E. (2012). Diferentes niveles de energía metabolizable y aminoácidos azufrados en dietas para gallinas Bovans blancas. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 3(4): 439-448.
- Toapanta, M., Avilés-Esquivel, D.F., Montero-Recalde, M. y Pomboza, P. (2019). Caracterización del sistema de producción de aves de traspatio del cantón Cevallos, Ecuador. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal AICA*, 13: 1-5.
- Tona, K., Bamelis, De Ketelaere, B., Bruggeman, V., Moraes, V.M., Moraes, B., Buyse, J., Onagbesan, O. and Decuypere, E. (2003). Effects of egg storage time on spread of hatch, chick quality, and chick juvenile growth. *Poultry science*, 82(5): 736-741. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/82.5.736>
- Tovar-Paredes, J.L., Narváez-Solarte, W. y Agudelo-Giraldo, L. (2015). Tipificación de la gallina criolla en los agroecosistemas campesinos de producción en la zona de influencia de la selva de Florencia (Caldas). *Luna Azul*, (41): 57-72.
- Tubon, D.S., Zurita, J.H., González, F.N. y Esquivel, D.A. (2024). Peso y tiempo de almacenamiento de huevos de gallina criolla sobre índices de incubación. *Archivos de zootecnia*, 73(284): 268-273.
- Vaca, L. (2003). Producción avícola. EUNED. San José, Costa Rica. Pp. 102-109.
- Van der Pol, C.W., van Roover-Reijrink, I.A.M., Maatjens, C.M., Van den Brand, H. and Molenaar, R. (2013). Effect of relative humidity during incubation at a set eggshell temperature and brooding temperature posthatch on embryonic mortality and chick

- quality. *Poultry Science*, 92(8): 2145-2155. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02740>
- Vázquez, J.L., Prado, O.F., García, L.J. y Juárez, M.A. (2006). Edad de la reproductora sobre la incubabilidad y tiempo de nacimiento del pollo de engorda. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 10(1): 21-28.
- Vleck, C.M., and Hoyt, D.F. (2004). Metabolism and energetic of reptilian and avian embryo In Deeming D. C., & Ferguson M. W. J. (Eds.), *Egg incubation: Its effect on embryonic development in birds and reptiles* Cambridge, MA: Cambridge University Press. Pp. 286–306.
- Wadsworth, J. (1997). Análisis de sistemas de producción animal: las herramientas básicas. *Estudio FAO Producción y sanidad animal*, 140(2): 4-10. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/w7452s/w7452s00.htm>
- Wilson, H.R. (1991). Interrelationship of egg size, chick size, post hatching growth and hatchability. *World's Poultry Science Journal*, 47: 5-20. DOI: <https://doi.org/10.1079/WPS19910002>
- Wu, G., Bryant, M., Voitle, R.A. and Roland, D.A. (2005). Effect of dietary energy on performance and egg composition of bovens white and dekalb white hens during phase I. *Poultry Science*, 84: 1610- 1615.
- Yao, Y., Yang, Y.Z., Gu, T.T., Cao, Z.F., Zhao, W.M., Qin, H.R., Xu, Q. and Chen, G.H. (2019). Comparison of the broody behavior characteristics of different breeds of geese. *Poultry Science*, 98(11): 5226-5233.

Capítulo IV

EFFECTO DE LA VARIABILIDAD DEL PESO DE POLLAS RHODE ISLAND RED (A LA RECEPCIÓN) SOBRE CRECIMIENTO E INICIO DEL CICLO DE POSTURA

Resumen

El objetivo fue evaluar el efecto de la variabilidad del peso de pollas Rhode Island Red (a la recepción) sobre crecimiento e inicio del ciclo de postura. Se adquirieron 60 pollas Rhode Island Red de 18 semanas de edad con un peso promedio de 0.908 ± 0.241 kg/polla, provenientes de una empresa comercial privada, de las cuales se seleccionaron a 36 pollas para formar tres grupos (G), de acuerdo con la siguiente clasificación -establecida por el peso corporal (Pc)-: “retardo de crecimiento”, Pc de 0.719 ± 0.058 kg (G1), “desarrollo intermedio”, con Pc de 0.891 ± 0.050 kg (G2) y “cercano a la madurez sexual”; Pc de 1.056 ± 0.073 kg (G3). Los tres grupos fueron sometidos a la misma alimentación. Se evaluó Pc, ganancia de peso (GP), consumo de alimento (CA), edad de inicio de postura (EIP), peso del huevo al inicio de postura, producción de huevo/semana (ProdH), porcentaje de postura (%P) e índice de conversión de huevo (ICA). La información recabada se analizó estadísticamente mediante los siguientes modelos: de efectos fijos, lineal general y de los coeficientes de regresión cuadrática. Las diferencias entre grupos, etapas y grupos x etapas, se obtuvieron a través de medias de mínimos cuadrados a un $\alpha=0.05$. En el CA/gallina/día durante toda la fase experimental, G3 (113.0-114.7 g) presentó promedios superiores ($p<0.05$) vs G2 (103.8-106.2 g) y G1 (99.3-102.2 g). En el Pc durante la primera etapa (adaptación), este fue diferente ($p>0.05$) en los tres grupos analizados (0.854, 1.039 y 1.170 kg/polla, para G1, G2 y G3, respectivamente); mientras que, en el resto de las etapas G2 (1.658 - 2.386 kg) y G1 (1.603 - 2.358 kg) mostraron Pc menores ($p<0.05$) a G3 (1.811 - 2.607 kg). Durante el ciclo de postura, G3 mostró una tendencia hacia un mejor comportamiento de EIP (27.3 semanas) y ProdH (52.5 huevos puestos/grupo/semana y 3.035 kg/grupos/semana) con respecto al resto de los grupos. Los lotes de pollas con pesos heterogéneos dejan en desventaja a aquellos ejemplares con pesos que indican un retraso en el crecimiento, la cual puede observarse en un inicio de postura tardío, puesto que dichas aves consumen menos alimento y no manifiestan un crecimiento compensatorio.

Palabras clave: Avicultura, uniformidad, desarrollo, madurez sexual.

Introducción

En la actualidad, las familias de zonas marginadas o de extrema pobreza requieren de estrategias para su seguridad alimentaria. Sin embargo, para poder establecer seguridad alimentaria se deben cumplir los siguientes aspectos: disponibilidad física de los alimentos, acceso económico a los alimentos, utilización biológica de los alimentos y estabilidad atemporal de las tres condiciones anteriores (FAO, 2009). En este sentido, la agricultura familiar tiene la capacidad de disminuir el riesgo de carencia de alimento (Marzin *et al.*, 2016) al combinar la actividad agrícola con la pecuaria. Por lo que, la avicultura de traspatio posee la capacidad -dentro de las estrategias de subsistencia- para asegurar el aporte nutricional y económico para las familias (Alders *et al.*, 2018).

Los sistemas de producción avícola familiar (SPAF) tienen como objetivo obtener huevo y carne de pollo a bajo costo; sin descartar, la venta de excedentes de estos productos (FAO, 2013). El bajo costo del huevo y carne de pollo en estos sistemas, se le atribuye a la poca o nula inversión de capital en infraestructura, equipo y tecnología; pero, ello limita la expresión del potencial genético del núcleo de gallinas (Juárez-Caratachea *et al.*, 2008; FAO, 2023). Aunado a ello, la diversidad genética y fenotípica (Cuca-García *et al.*, 2015) de dicho núcleo (debido a la introducción de razas comerciales) provoca -hasta cierto grado-: variabilidad en el peso corporal y productividad de las gallinas (FAO, 2013) y, pérdida de la resiliencia (Juárez *et al.*, 2000; Ssewanyana *et al.*, 2003; Ssebina, 2003) que, comprometen la supervivencia de la parvada (Kejela, 2020; Muñoz-Gómez *et al.*, 2025).

La baja productividad de los SPAF se justifica por el alto porcentaje (> 50%) de mortalidad de los pollitos post-nacimiento y durante la fase de desarrollo y engorda (46.1% y 22.3%, respectivamente) (Juárez-Caratachea *et al.* (2008); mortalidad causada, principalmente, por enfermedades y depredación (Lara *et al.*, 2003). Estas pérdidas reducen del número de aves adultas y obliga a los productores a comprar reemplazos en mercados locales o a adquirir nuevos ejemplares a través de paquetes gubernamentales (Busuulwa, 2009; Hortúa-López *et al.*, 2021), acción que incrementan la variabilidad genética y productiva de la parvada.

Por lo general, los SPAF adquieren pollitos con pocos días de nacimiento -para compensar la mortalidad de aves en estos sistemas- y los someten a su esquema tradicional de alimentación [desperdicios de cocina, granos (sorgo y/o maíz), herbáceas e insectos], lo que

aporta $\approx 12.2\%$ de proteína cruda (PC) (Barocio-Urue *et al.*, 2017), provocando la variabilidad de la parvada en peso corporal y productividad durante la fase de cría y crecimiento. Respecto a dicha variabilidad, se ha reportado que, la diferencia entre los pesos de las gallinas de traspatio puede alcanzar los 764 g de peso corporal (gallinas entre 1.167 y 1.931 kg de peso corporal) (Juárez-Caratachea *et al.*, 2016). Aspecto que incide negativamente en el desempeño productivo, una vez iniciada la fase de postura (Robinson *et al.*, 2007; Chang *et al.*, 2016; van der Klein *et al.*, 2018).

Históricamente la producción de huevos/gallina en el SPAF ha sido baja, en el 2007, Gutiérrez-Triay *et al.* reportaron 0.28 huevos/día/gallina (en núcleos de 12.9 gallinas en promedio). Producción que contrasta con 46 huevos/gallina/año (≈ 0.13 huevos/día/gallina) reportada por Mata-Estrada *et al.* (2023) en núcleos de 24.4 gallinas. Dicha productividad está asociada a: cloques de las gallinas y a la deficiente nutrición de estas (Juárez-Caratachea *et al.*, 2008; Barocio-Urue *et al.*, 2017). Por el contrario, una nutrición eficiente contribuye al desarrollo y maduración del aparato reproductor de las gallinas (Mellouk *et al.*, 2018).

En la avicultura, específicamente en la orientada a la producción de huevo, los factores clave para el inicio y porcentaje de postura, así como, para la persistencia del ciclo productivo de la parvada (Pérez-Bonilla *et al.*, 2012; García *et al.*, 2016) son: nutrición, edad y peso corporal de la gallina, aspectos que incide directamente en la cantidad de lípidos, proteínas y minerales disponibles para la formación del huevo (García *et al.*, 2016; Heijmans *et al.*, 2022). Fuente-Martínez *et al.*, (2012) sugieren que, la máxima producción de huevos de las gallinas se logra con 15% de PC -siempre y cuando se cubran los requerimientos de los aminoácidos esenciales- vs. 16% de PC que recomiendan las casas comerciales de estirpes de gallinas productoras de huevo para plato (Hy-Line W36, 2011). Aspecto que difícilmente se lograría en los SPAF bajo su esquema tradicional de alimentación.

Se ha demostrado que las estirpes comerciales de gallinas ponedoras no son apropiadas para los sistemas de producción avícola familiar (SPAF), debido a sus exigencias nutricionales, pérdida de cluequez y resiliencia ante ambientes hostiles (Sandilands y Hocking, 2012). Aunado a lo anterior, la compra de pollos en comercios cercanos a las localidades donde se asientan los SPAF o la adquisición de estos a través de paquetes gubernamentales tiene serias repercusiones, puesto que, no es posible garantizar la calidad de estos animales al momento

de adquirirlos; aun y cuando los productores estén dispuestos a invertir en alimentos balanceados específicos para este tipo de aves, no se garantiza su eficiencia productiva dentro de estos sistemas. Por ello, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la variabilidad del peso de pollas Rhode Island Red (a la recepción) sobre crecimiento e inicio del ciclo de postura.

Material y Métodos

La investigación se realizó en las instalaciones del sector avícola de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, ubicada en el km 9.5 de la carretera Morelia-Zinapécuaro, municipio de Tarímbaro, Michoacán, entre las coordenadas 19°47'44" de latitud Norte y 101°10'35" de longitud Oeste, a una altura de 1864 msnm, con un clima templado y con lluvias en verano, presenta una precipitación pluvial anual de 609.0 mm y temperaturas que oscilan de 2.5 a 25.1 °C (INEGI, 2022).

Se adquirieron 60 pollas Rhode Island Red de 18 semanas de edad provenientes de una empresa comercial privada. A la recepción se realizó el pesaje de cada ejemplar para determinar la uniformidad de la parvada: el promedio del lote fue de 0.908 ± 0.241 kg/polla. Debido a que se esperaba contar con ejemplares con peso cercano a la madurez sexual (18 semanas de edad con peso entre 1.4 y 1.5 kg en dicha raza) se realizó una estratificación con las 60 pollas, con base en el desarrollo (kg) corporal al momento de su recepción.

Se identificaron tres estratos (grupos), de acuerdo con el peso corporal (Pc) de las pollas al momento de su recepción: el primero (20%) con Pc cercano a la madurez sexual (1.056 ± 0.073 kg); el segundo (41.7%) con Pc medio (0.885 ± 0.122 kg) y, el tercero (38.3%) con Pc que indicó retraso en crecimiento (0.661 ± 0.106).

Para el logro del objetivo de esta investigación, se seleccionaron -mediante un muestreo intencional- a 36 pollas de la población original (60%) para formar tres grupos -se descartó al resto de los ejemplares para reducir la variabilidad interna de cada grupo-: Grupo 1, pollas (n= 12) con Pc inicial (0.719 ± 0.058 kg) con retardo de crecimiento -el cual representó mayor rezago fisiológico respecto al estándar racial-; Grupo 2, pollas (n= 12) con Pc inicial (0.891 ± 0.050 kg) medio o de desarrollo transicional y Grupo 3, pollas (n= 12) con Pc inicial (1.056 ± 0.073 kg) cercano a la madurez sexual

Cada grupo de pollas fue confinado en un corral de 2.25 m² (1.5 x 1.5 m) -un corral/grupo- hasta alcanzar una edad de 21 semanas. En cada corral se colocó un bebedero de campana, un comedero de lámina semiautomáticos tipo tolva, un foco de luz cálida y cama a base de aserrín y viruta. A 21 semanas de edad, las aves fueron confinadas en jaulas individuales (40 x 45 x 45 cm) tipo batería, para monitorear el ciclo de postura. Las jaulas contaban con bebederos tipo copa y comederos de lámina tipo canaleta. Las aves fueron sometidas a una dieta[®] específica para aves en fase de postura (Tabla 1), tanto la dieta como el agua de bebida se proporcionaron *ad libitum*.

Tabla 1. Composición y valor nutricional de la dieta e insumos utilizados

Ingredientes, %	Contenido
Maíz	64.65
Pasta de soya	23
Piedra caliza	8.55
Fosfato dicalcio	1.35
Caolín	0.55
Aceite de soya	0.8
Minerales + vitaminas premezcla#	0.5
Sal (NaCl)	0.43
DL-metionoina-98%	0.12
L-lisina-78%	0.03
Butilhidroxitolueno	0.02
Total	100
Análisis estimado	
Energía metabolizable, kcal/kg	2800
Proteína cruda, %	16
Fibra bruta, %	4.5
Calcio total, %	3.6
Fósforo total, %	0.4

#Niveles por Kg de dieta: Vit. A – 8000 UI; Vit. D3 – 2000 UI; Vit. E – 50 mg; Vit. K – 3 mg; Vit. B1 – 1.5 mg; Vit. B2 – 4 mg; Vit. B6 – 0.12 mg; Vit. B12 – 15 mg; Ac. Fólico – 0.6 mg; Ac. Pantoténico – 10 mg; Niacina – 30 mg; Biotina – 0.1 mg; Colina – 300 mg; Hierro – 50 mg; Cobre – 10 mg; Zinc – 70 mg; Manganeso – 100 mg; Iodo – 1 mg; Selenio – 0.3 mg; Antioxidantes 50 mg.

La fase experimental fue de 26 semanas (18 a 44 semanas de edad), la cual se dividió en cuatro etapas: adaptación (confinamiento en corral), pre-postura, inicio de postura y postura continua -estas etapas bajo confinamiento en jaula-.

Las variables evaluadas por etapa y semana (sem) fueron: peso (kg) corporal (Pc), ganancia de peso (GP), consumo de alimento (CA), edad de inicio de postura (EIP), peso del huevo al

inicio de postura (PHvo), producción de huevo/sem (ProdH), índice de conversión alimenticia (ICA), porcentaje de postura (%P) e índice de Conversión de Huevo (ICH)

Para el caso del Pc, este se determinó pesando cada ave/semana/grupo. La determinación del Pc se realizó con una báscula Torrey® L-PCR-40 con una precisión de 0.5 g.

El CA se estableció mediante la resta del rechazo de alimento suministrado/día. Para ello, se utilizó una báscula Torrey® L-PCR-40 con una precisión de 0.5 g.

La GP se calculó a través de la siguiente formula:

$$GP = Pc_n - Pc_{n-1}$$

Donde:

GP= Ganancia de peso semanal

Pc_n = peso corporal (Pc) de la semana actual,

Pc_{n-1} = peso corporal (Pc) de la semana anterior

La EIP se determinó mediante el monitoreo diario de las gallinas, registrando la fecha del primer huevo puesto/gallina/grupo

El PHvo se estableció pesando cada huevo/gallina/grupo con una báscula Sartorius® BL15000 con una precisión de 0.1 g.

La ProdH se determinó con el peso del total de huevos puestos/semana/G. El cual se realizó con una báscula Torrey® L-PCR-40 con una precisión de 0.5 g.

Finalmente, el ICA e ICH se determinaron/grupo a través de las siguientes formulas:

$$ICA = \frac{\sum CA}{\sum GP}$$

Donde:

ICA= Índice de conversión alimenticia,

$\sum CA$ = consumo de alimento total semanal,

$\sum GP$ = Gancia de peso total semanal.

$$ICH = \frac{\sum CA}{ProdH}$$

Donde:

ICH = Índice de conversión de huevo,

$\sum CA$ = consumo de alimento total semanal,

$ProdH$ = peso total de masa de huevo producida semanalmente.

Se construyó una base de datos con la información recabada para su análisis estadístico. Las variables Pc, CA y GP se analizaron mediante la metodología de mediciones repetidas en el tiempo, empleando un modelo de efectos fijos (Littell *et al.*, 1998). La dinámica de crecimiento (kg) se modeló a través de los coeficientes de regresión cuadrática (García-Guzmán *et al.*, 2013). Las variables EIP, PHvo, ProdH (número y kg), %P e ICH se evaluaron mediante la metodología de los modelos lineales generales (GLM, siglas en inglés) (Littell *et al.*, 2010). En los casos en donde se detectaron efectos de los factores de variación ($P < 0.05$), las comparaciones de medias se realizaron mediante pruebas de “t” usando la instrucción LSMEANS del SAS (SAS, 2000).

Resultados

Se determinaron efectos ($P < 0.001$) de Grupo y de la anidación Grupo(Etapa) sobre las variables CA, Pc y GPS.

Consumo de alimento (CA); durante la Etapa de adaptación (18 a 20 sem de edad) el G3 ($\approx$ Madurez) registró mayor ($P < 0.05$) consumo (113.5 g/polla/día) en comparación con G2 (Transicional) y G1 (Retraso): 103.9 y 99.3 g/día/polla, respectivamente ($P < 0.05$). En la Etapa de pre-postura, la duración de esta fue inversamente proporcional al Pc inicial de las pollas: 9, 7 y 6 semanas, para G1, G2 y G3, respectivamente y, en donde, el CA también fue mayor ($P < 0.05$) en G3 (113.0 g/polla/día) y menor ($P < 0.05$) en G1 (102.2 g/polla/día). Tendencia que se mantuvo en las Etapas de inicio de postura y de postura continua: CA mayor ($P < 0.05$) en G3 (117.2 y 114.7 g/día/polla, respectivamente) y menor ($P < 0.05$) en G1 y G2 (Tabla 2).

Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para indicadores de crecimiento y consumos de alimento de gallinas Rhode Island Red de acuerdo con el grupo y la fase

		Etapas			
G1 (retraso en crecimiento)	Recepción	Adaptación	Pre-postura	In-postura	Postura
		Edad (Semanas)			
		18-20	21-30	31-32	33-44
Peso (kg)	0.719 ^a ±0.059	0.854 ^a ±0.041	1.603 ^a ±0.023	2.180 ^a ±0.051	2.358 ^a ±0.021
Consumo de alimento					
g/ave/día		99.3 ^a ±2.4	102.2 ^a ±1.3	99.8 ^a ±3.0	101.7 ^a ±1.2
Total/Grupo/fase (kg)		25.02 ^a ±0.61	85.85 ^a ±1.05	16.76 ^a ±0.50	102.51 ^a ±1.32
Ganancia de peso (kg)		0.099 ^a ±0.014	0.113 ^a ±0.006	0.064 ^a ±0.015	0.003 ^a ±0.006
G2 (desarrollo transicional)		Edad (Semanas)			
	Recepción	18-20	21-28	29-30	31-44
Peso (kg)	0.891 ^b ±0.059	1.039 ^b ±0.041	1.658 ^a ±0.025	2.140 ^a ±0.050	2.386 ^a ±0.019
Consumo de alimento					
g/ave/día		103.9 ^a ±2.45	106.2 ^b ±1.50	103.8 ^a ±3.0	106.0 ^b ±1.13
Total/Grupo/fase (kg)		26.18 ^a ±0.61	71.36 ^b ±1.05	17.44 ^a ±0.50	124.66 ^b ±1.32
Ganancia de peso (kg)		0.133 ^a ±0.015	0.108 ^a ±0.007	0.074 ^a ±0.015	0.004 ^a ±0.006
G3 (≈ madurez sexual)		Edad (Semanas)			
	Recepción	18-20	21-27	28-29	30-44
Peso (kg)	1.056 ^c ±0.059	1.170 ^c ±0.041	1.811 ^b ±0.027	2.266 ^a ±0.051	2.607 ^b ±0.019
Consumo de alimento					
g/ave/día		113.5 ^b ±2.45	113.0 ^c ±1.60	117.2 ^b ±3.0	114.7 ^c ±1.10
Total/Grupo/fase (kg)		28.6 ^b ±0.61	66.44 ^c ±1.05	19.69 ^b ±0.50	144.52 ^c ±1.32
Ganancia de peso (kg)		0.140 ^a ±0.015	0.116 ^a ±0.008	0.095 ^a ±0.015	0.024 ^b ±0.005

±= Error estándar; In=Inicio; ICA= Índice de conversión alimenticia

Literales a, b indican diferencias ($p < 0.05$) entre promedios dentro de fase

Peso corporal (Pc): se observaron diferencias ($P > 0.05$) durante las primeras tres Etapas de estudio: adaptación, el Pc fue diferente ($P > 0.05$) en los tres grupos analizados (0.854, 1.039 y 1.170 kg/polla, para G1, G2 y G3, respectivamente); pre-postura, G1 y G2 mostraron Pc similar entre sí ($P > 0.05$) y menor ($P > 0.05$) a G3 (1.811 kg/polla); inicio de postura y postura continua, en estas etapas se observaron Pc similares ($p > 0.05$) en G1 y G2; pero, menores ($P < 0.05$) a G3 (2.266 y 2.607 kg/polla, respectivamente).

Ganancia de peso semanal (GP): no se observaron diferencias ($P > 0.05$) en GP en las primeras Etapas de estudio (adaptación, pre-postura e inicio de postura). En la de adaptación la GP fue de entre 0.099 y 0.140 kg/semana/polla, en pre-postura de 0.113 – 0.116 k/polla y en la de inicio de postura la GP osciló entre 0.064 y 0.095 k/gallina (Tabla 2).

Respecto a la Etapa de postura continua, se encontró efecto de grupo sobre GP ($P < 0.05$). El G3 mostró una GP mayor (0.024 kg/semana/gallina) ($P < 0.05$) en comparación con G1 y G2 (0.003 y 0.004 kg/gallina, respectivamente (Tabla 2).

Dinámica de crecimiento (kg): el análisis de los estimadores de la regresión cuadrática (Tabla 3) confirmó que el peso de recepción de las pollas (18 semanas de edad) predetermina la dinámica de crecimiento y madurez sexual de estas aves. El modelo ajustado para cada grupo mostró que el β_0 del G1 (-3.352 ± 0.19) fue el más bajo en comparación con G2 y G3 ($P < 0.05$).

Tabla 3. Estimadores de la regresión cuadrática de acuerdo con la clasificación del peso corporal inicial de las pollas Rhode Island Red

Clasificación	Parámetros			R ²
	$\beta_0 \pm \text{E.E.}$	$\beta_1 \pm \text{E.E.}$	$\beta_2 \pm \text{E.E.}$	
G1 (Retardo)	$-3.352^a \pm 0.19$	$0.2860^a \pm 0.013$	$-0.00368^a \pm 0.0002$	0.87
G2 (Transicional)	$1.521^b \pm 0.21$	$4.853^b \pm 0.014$	$0.204^a \pm 0.0002$	0.84
G3 ($\approx$ Madurez)	$1.356^c \pm 0.17$	$4.788^b \pm 0.011$	$0.162^a \pm 0.002$	0.89

Literales a, b indican diferencias ($p < 0.05$) entre valores dentro de estimador

En cuanto a la modelación de la dinámica de crecimiento de las pollas a partir de las 18 semanas de edad, esta presentó un paralelismo en el crecimiento (kg/sem) en los tres grupos, en donde las pollas de G1 y G2 no lograron expresar el potencial de crecimiento del G3 durante el periodo evaluado ($P < 0.05$). El pico de peso corporal de G3 se alcanzó a las 41 sem de edad, mientras que G1 y G2 lo alcanzaron a la edad 40 y 39 sem: 2.328 y 2.482 kg, respectivamente (Figura 1).

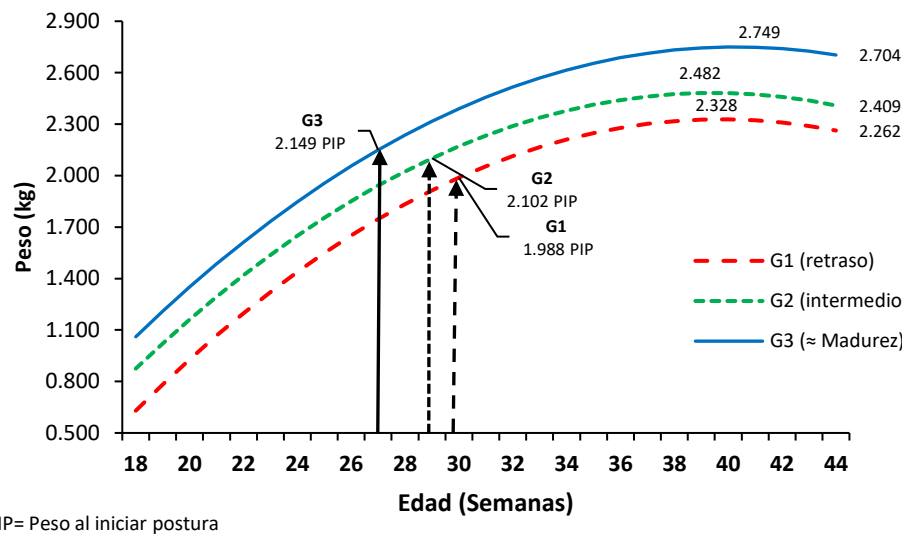


Figura 1. Dinámica de crecimiento (kg) de las pollas de 18 a 44 semanas de edad de acuerdo con el grupo (G)

Productividad: las aves del G1 requirieron de mayor tiempo ($P < 0.05$) para iniciar la postura (30.1 sem), ello en comparación con las gallinas del G2 (27.3 sem). Sin embargo, el G2 mostró similar edad ($P > 0.05$) al iniciar postura que G1 y G3. Estas diferencias de peso/grupo no se reflejaron en el peso del huevo en esta Etapa ($P < 0.05$): los tres grupos produjeron huevos de peso similar (46.0 a 52.6 g) (Tabla 4).

Tabla 4. Indicadores productivos durante el ciclo de postura de gallinas Rhode Island Red

Variable	Grupo			E.E.
	G1 (Retraso)	G2 (Transicional)	G3 (≈ Madurez)	
Madurez Sexual				
Edad al inicio de postura (sem)	30.1 ^a	28.9 ^{ab}	27.3 ^b	0.64
Peso de huevo al inicio (g)	52.6 ^a	46.0 ^a	49.3 ^a	2.31
Intensidad de Postura				
Núm. promedio huevos/sem/grupo	45.7 ^a	48.6 ^a	52.5 ^a	6.22
Porcentaje (%) de Postura	54.0 ^a	58.0 ^a	63.0 ^a	7.40
Capacidad de Producción				
Masa de huevo promedio/grupo (kg)	2.677 ^a	2.836 ^a	3.035 ^a	373
Producción total de huevo/grupo (kg)	58.903	62.398	66.779	--
Eficiencia Alimenticia				
ICA (kg alimento/kg peso corporal)				
ICH (kg alimento/kg huevo)	1.7 ^a	2.0 ^{ab}	2.2 ^b	0.18

Literales ^{a, b, c} indican diferencias ($P < 0.05$) entre grupos dentro de fase

*= semanas/gallina/grupo; &= kg/gallina/grupo

En el caso de la productividad expresada en número de huevos/sem/grupo y %P no se observaron diferencias entre grupos ($P > 0.05$): 45.7 a 52.5 huevos/sem/grupo o de 3.8 a 4.4 huevos/sem/gallina y un %P entre 54.0 a 63%. En masa de huevo (kg) no se observó diferencias entre grupos ($P > 0.05$), esta fue de 2.677 a 3.035 kg. De acuerdo con estos indicadores, la tendencia que mostró G3 fue hacia una mayor productividad en comparación con G1 y G2. Sin embargo, el ICA determinó que el G3 requirió de mayor consumo de alimento/kg de Pc (2.9:1) ello en comparación con G1 y G2, en donde dicho índice fue similar ($P > 0.05$) en ambos grupos (2.3:1 y 2.4:1, respectivamente). Similar comportamiento se observó en el ICH: mayor consumo de alimento/kg de huevo (2.2:1) vs G1 y G2 (1.7:1 y 2.0:1, respectivamente) (Tabla 4).

Discusión

Las características inherentes de los SPAF -poca o nula inversión en capital en su construcción y operación- provocan una baja productividad (Lara *et al.*, 2003) y alto porcentaje de mortalidad (>50%) de las aves (Juárez-Caratachea *et al.*, 2008). Por lo que, los productores están obligados a adquirir remplazos a través de mercado locales y/o apoyos gubernamentales (Busuulwa, 2009; Hortúa-López *et al.*, 2021) sin que ello implique cambios en la infraestructura, alimentación y tecnología dentro del SPAF. Aspecto que, se reflejará en un pobre desempeño productivo de estas aves -edad al inicio de postura y producción de huevo- (Robinson *et al.*, 2007; Chang *et al.*, 2016; van der Klein *et al.*, 2018).

Los resultados del CA/gallina/día (Tabla 2) mostraron diferencias ($p < 0.05$) entre los estratos (grupos) realizados -en base al Pc de las pollas en el momento de la recepción- durante la fase experimental. En este sentido, el mayor CA/gallina/día observado en G3 ($p < 0.05$) durante la etapa de adaptación indica que las aves con un mayor desarrollo corporal presentan una mayor demanda energética, lo cual se asocia al incremento del metabolismo basal y a la preparación del organismo para la madurez sexual (Xin *et al.*, 2024).

Con respecto a la etapa de pre-postura, el comportamiento de CA observado en G3 (113.0 g/gallina/día), permite una mayor ingesta y aprovechamiento de los nutrientes, lo cual incide directamente sobre el desarrollo del aparato reproductor de las aves (Yin *et al.*, 2023), aspecto que explicaría la causa de que dicha etapa tuviera una menor duración en G3 vs G2 y G1: 6,

7 y 9 semanas respectivamente. En cuanto al CA durante las etapas de inicio de postura y postura continua, concuerda con lo reportado por Cruz-Bermúdez *et al.* (2021) quienes establecen que las gallinas de postura durante su ciclo productivo incrementan su CA, esto con el objetivo de cumplir con sus requerimientos nutricionales para la formación del huevo.

Por otro lado, en cuanto al Pc de las pollas evaluadas durante la fase experimental (Tabla 2) contrastan con lo establecido por Osio-Orihuela *et al.* (2022), quienes reportan una mayor aceleración en el crecimiento. Aspecto que se pudiera atribuir a una inadecuada alimentación durante las primeras semanas de edad -antes de la recepción-. No obstante, el comportamiento de G3, G2 y G1 (Tabla 2 y Figura 1) concuerda con lo establecido por Reynolds *et al.* (2004) quienes señalan que un mayor Pc al finalizar la etapa de crecimiento, condiciona el desempeño posterior -particularmente la transición hacia la postura-, mientras que un Pc menor provoca un retraso en el crecimiento corporal y en la preparación reproductiva.

En contraste con el Pc, la GPS no mostró diferencias entre las etapas de adaptación, pre-postura e inicio de postura, aspecto que se podría atribuir a que el crecimiento de las pollas tiende a estabilizarse conforme se aproxima la madurez sexual. Sin embargo, durante la etapa de postura continua G3 presentó un promedio mayor ($p<0.05$) con respecto a G2 y G1, lo que sugiere una mejor capacidad de adaptación fisiológica de las gallinas con una mayor madurez para sostener simultáneamente el mantenimiento corporal y la producción de huevo (Lu *et al.*, 2025).

Por último, los resultados de los indicadores productivos -edad al inicio de postura y porcentaje de postura- (Tabla 4); mostraron un mejor comportamiento en G3 vs G2 y G1. Aspecto que se puede atribuir a una mayor concentración de estrógenos en el organismo del ave. Puesto que, el contenido de tejido adiposo -producto de un mayor crecimiento de las aves- a partir de la enzima aromatasa transforma los andrógenos circulantes en estrógenos, lo que incide en la maduración del aparato reproductor de las gallinas y esto a su vez en el inicio de su ciclo productivo (Mellouk *et al.*, 2018). Bajo este contexto, la tendencia hacia una mayor producción de huevo -número de huevos puestos y masa de huevo- observada en las gallinas de G3 (Tabla 4), pudo ser influenciada por una posible mayor concentración de estrógenos y desarrollo de tejido óseo, ya que ambos factores inciden directamente sobre la

formación de las estructuras del huevo -yema, albumen y cascarón- (Raziq *et al.*, 2023; Sinclair-Black *et al.*, 2023).

Conclusiones

Bajo las características de los SPAF -poca o nula inversión de capital- el comportamiento de las gallinas está comprometido y la adquisición de ejemplares para remplazo, en casas comerciales no certificadas o a través de paquetes gubernamentales, es un desafío tanto para el productor como para los remplazos.

Los resultados de esta investigación permiten concluir que: los lotes de pollas con pesos heterogéneos dejan en desventaja a aquellos ejemplares con pesos que indican retraso en crecimiento (G1) o en desarrollo transicional (G2) acorde a su edad, ello en comparación con pollas que están dentro o próximo al peso estándar de la raza (G3). Desventaja que puede observarse en un retraso para el inicio de postura, puesto que las aves con retraso de crecimiento seguirán consumiendo menos alimento y no manifiestan crecimiento compensatorio. Por el contrario, las aves con pesos óptimos, aunque inician tempranamente la postura su índice de conversión alimenticia o de huevo, bajo una alimentación comercial, puede generar mayores gastos por concepto de alimentación. Por lo que, ante la realidad de los mercados locales y apoyos gubernamentales que suministran lotes de aves con pesos corporal heterogéneos, se requiere capacitar al productor para que identifique el estado fisiológico (kg) al momento de adquirir este tipo de aves. Solo así, es posible ajustar el manejo para mitigar el retraso en la edad al inicio de postura, optimizando la productividad de los SPAF.

Bibliografía

- Alders, R. G., Dumas, S., Rukambile, E., Magoke, G., Maulaga, W., Jong, J. and Costa, R. (2018). Family poultry: Multiple roles, systems, challenges, and options for sustainable contributions to household nutrition security through a planetary health lens. *Maternal and Child Nutrition*, 14(3): 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1111/mcn.12668>
- Barocio-Urue, J. N., Juárez-Caratachea, A., Gutiérrez-Vázquez, E., Pérez-Sánchez, R. E. and Ortiz-Rodríguez, R. (2017). Effect of diet on live weight and egg weight of backyard hens during the rainy season. *Austral Journal of Veterinary Sciences*, 49(2): 91-98.
- Busuulwa, S. H. (2009). Poultry Genetic Resources and Small Poultry Production Systems in Uganda. Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). Rome, Italy, pp. 7.

- Chang, S. C., Lin, M. J., Fan, Y. K. and Lee, T. T. (2016). Effects of lighting intensity on growth and reproductive performance of breeder geese. *Journal of Applied Poultry Research*. 25(3): 315–321.
- Cruz-Bermúdez, A.C., WingChing-Jones, R. y Zamora-Sanabria, R. (2021). Gallinas Sex Link Negro y Rhode Island Red con acceso a pastoreo: productividad y comportamiento. *Agronomía Mesoamericana*, 32(2): 599-618. DOI: <https://dx.doi.org/10.15517/am.v32i2.42487>
- Cuca-García, J. M., Gutiérrez-Arena, D. A. y López-Pérez, E. (2015). La avicultura de traspatio en México: historia y caracterización. *Agroproductividad*. 8(4): 30-36.
- Fuente-Martínez, B., Mendoza-Martínez, G. D., Arce-Menocal, J., López-Coello, C. y Ávila-González, E. (2012). Respuesta productiva de gallinas a dietas con diferentes niveles de proteína. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 44(1): 67-74. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2012000100010>
- García, D. M., Colas, M. C., López, W. S., Pérez, E. O., Sánchez, A. P., Lamazares, M. C., y Grandía, R. G. (2016). El peso corporal y su efecto sobre indicadores bioproductivos en gallinas White Leghorn L33. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 63(3): 188-200.
- García-Guzmán, R. A., Román-Bravo, R. M., Val-Arreola, D., Pérez-Sánchez, R. E. y Ortiz-Rodríguez, R. (2013). Caracterización y modelación de la curva de lactancia de vacas Holstein complementadas con nopal (*Opuntia ficus-indica*) durante la época seca. *Revista Científica*, 23(5): 426-433.
- Gutiérrez-Triay, M. A., Segura-Correa, J. C., López-Burgos, L., Santos-Flores, J., Santos-Ricalde, R. H., Sarmiento-Franco, L., Carvajal-Hernández, M. y Molina-Canul, G. (2007). Características de la avicultura de traspatio en el municipio de Tetiz, Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 7: 217 – 224.
- Heijmans, J., Duijster, M., Gerrits, W. J. J., Kemp, B., Kwakkel, R. P. and VAN Den Brand, H. (2022). Impact of growth curve and dietary energy-to-protein ratio of broiler breeders on offspring quality and performance. *Poultry science*, 101(11): 102071.
- Hortúa-López, L.C., Cerón-Muñoz, M.F., de Lourdes Zaragoza-Martínez, M. y Angulo-Arizala, J. (2021). “Avicultura de traspatio: aportes y oportunidades para la familia campesina”. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 32(3): 1019-1033. DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v32i3.42903>
- Hy-line variedad W-36. (2011). Guía de manejo comercial. Iowa, USA.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). Aspectos Geográficos: Michoacán de Ocampo. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463913009.pdf
- Juárez, C. A., Manríquez, A. J. A. y Segura, C. J. C. (2000). Rasgos de aparición fenotípica en la avicultura rural de los municipios de la Ribera del Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. *Livestock Research for Rural Development*, 12(1).
- Juárez-Caratachea, A., Barocio-Uruea, J. N., García-Valladares, A., Gutiérrez-Vázquez, E. y Ortiz-Rodríguez, R. (2016). Efecto del fenotipo (color de plumaje) sobre el peso del huevo y peso vivo de la gallina de traspatio. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 48: 99-106.

- Juárez-Caratachea, A., Ortiz-Rodríguez, R., Pérez-Sánchez R.E., Gutiérrez-Vázquez, E. y Val-Arreola, D. (2008). Caracterización y modelación del sistema de producción avícola familiar. *Livestock Research for Rural Development*, 20(2): 13.
- Kejela, Y. (2020). Introduction of the exotic breeds and cross breeding of local chicken in Ethiopia and solution to genetic erosion: a review. *African Journal of Biotechnology*, 19(2): 92-98.
- Lara, L.L.H., Merino, G.C., González, Q.J., Sánchez, R.J.F. and Juárez, C.A. (2003). Diagnóstico de la avicultura familiar en el municipio de Penjamillo, Michoacán. Memoria XIV Encuentro de Investigación Veterinaria y Producción Animal. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. Pp. 194-197.
- Littell, R.C., Henry, P.R. and Ammerman, C.B. (1998). Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *Journal of Animal Science*, 76: 1216-1231. DOI: <https://doi.org/10.2527/1998.7641216x>
- Littell, R.C., Stroup, W.W. and Freund, R.J. (2010). SAS for linear models. Fourth Edition. Cary NC. USA. SAS Institute Inc.
- Lu, J., Wang, Q., Ma, M., Li, Y., Guo, W., Zhang, X., Yang, X. and Qu, L. (2025). Influence of Body Weight at the End of the Brooding Period on the Productive Performance in Hyline Brown Laying Hens from 6 to 72 Weeks of Age. *Animals*, 15(9): 1292. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani15091292>
- Marzin, J., Bonnet, P., Bessaoud, O. and Ton-Nu, C. (2016). Small-scale family farming in the near east and north Africa region synthesis. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i6436e/i6436e.pdf>
- Mata-Estrada, A., González-Cerón, F., Pro-Martínez, A., Torres-Hernández, G., Bautista-Ortega, J., Vargas-Galicia, A. J., Becerril-Pérez, C. M. y Sosa-Montes, E. (2023). Caracterización del sistema de producción avícola de traspatio en el Estado de Campeche, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo (ASyD)*, 20(2): 125-138. DOI: <https://doi.org/10.22231/asyd.v20i2.893>
- Mellouk, N., Ramé, C., Barbe, A., Grandhay, J., Froment, P. and Dupont, J. (2018). Chicken is a useful model to investigate the role of adipokines in metabolic and reproductive diseases. *International journal of endocrinology*, 2018(1): 4579734.
- Muñoz-Gómez, V., Shaw, A. P., Abdykerimov, K., Abo-Shehada, M., Bulbuli, F., Charypkhan, D., Delphino, M., Léger, A., Li, Y., Rasmussen, P., Ritttem, S. Ahmadi, B. V. and Torgerson, P. R. (2025). Economic impact of chicken diseases and other causes of morbidity or mortality in backyard farms in low-income and middle-income countries: a systematic review and meta-analysis. *BMC Veterinary Research*, 21(1): 151.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2009). Rome draft declaration of the world summit on food security. Disponible en: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/Summit/Docs/Declaration/WSFS09>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2013). Revisión del Desarrollo Avícola. Pp. 1-4.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2023). Producción y productos avícolas. Disponible en: <https://www.fao.org/poultry-production-products/production/es/>

- Osio-Orihuela, L., Zárate-Contreras, D., Cigarroa-Vázquez, F.A., Vázquez-Mendoza, P. y González-Cerón, F. (2022). Modelación del crecimiento de aves criollas mexicanas, Rhode Island Red y Hy-Line Brown. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(3). DOI: <http://doi.org/10.19136/era.a9n3.3287>
- Pérez-Bonilla, A., Novoa, S., García, J., Herrera, J., De Vega, M., De, C. y Blas, G. (2012). Uniformidad en gallinas ponedoras (Parte 1): Nivel de proteína, grasa añadida y peso al inicio de puesta. Disponible en: https://www.wpsa-aeca.es/aeca_imgs_docs/uniformidad_en_gallinas_ponedoras_1_-_perez-bonilla%2C_a.pdf
- Raziq, F., Hussain, J., Ahmad, S., Hussain, M. A., Khan, M. T., Ullah, A., Kumar, M., Gull-E-Faran and Wadood, F. (2023). Effect of body weight at photostimulation on productive performance and welfare aspects of commercial layers. *Animal bioscience*, 37(3): 500.
- Reynolds, S. J., Mänd, R. and Tilgar, V. (2004). Calcium supplementation of breeding birds: Directions for future research. *Ibis*. 146(4): 601–614.
- Robinson, F. E., Zuidhof, M. J., and Renema, R. A. (2007). Reproductive efficiency and metabolism of female broiler breeders as affected by genotype, feed allocation, and age at photostimulation. 1. Pullet growth and development. *Poultry Science*. 86: 2256–2266.
- Sandilands, V. and Hocking, P. M. (2012). Alternative systems for poultry: Health, welfare and productivity. *CABI*, (30). DOI: <https://doi.org/10.1079/9781845938246.0000>
- Sinclair-Black, M., Garcia, R. A. and Ellestad, L. E. (2023). Physiological regulation of calcium and phosphorus utilization in laying hens. *Frontiers in physiology*, 14: 1112499. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1112499>
- Ssebina, B.S. (2003). Integrated programmend hatching of days old chicks on one particular day per week (A basis for improving the social economic status of rural communities.) Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Ssewanyana, E., Onyait, A., Ogwal, J., Mukasa, B., Nsamba, P. and Masaba, J. (2003). Characteristics of rural chicken production in Apac and Kumi districts of Uganda. *Uganda Journal of Agricultural Sciences*, 8(10): 159-164.
- Statistical Analysis System Institute (SAS). (2000). Guide for personal computers. Version 8.
- van der Klein, S. A. S., Bédécarrats, G. Y., Robinson, F. E. and Zuidhof, M. J. (2018). Early photostimulation at the recommended body weight reduced broiler breeder performance. *Poultry Science*. 97(10): 3736-3745.
- Xin, Q., Jiao, H., Wang, X., Zhao, J., Liu, M., Li, H. and Lin, H. (2024). Effect of energy level of pullet diet and age on laying performance and expression of hypothalamus-pituitary-gonadal related genes in laying hens. *Poultry Science*, 103(8).
- Yin, L., Chen, Q., Huang, Q., Wang, X., Zhang, D., Lin, Z. and Liu, Y. (2023). Physiological role of dietary energy in the sexual maturity: Clues of body size, gonad development, and serum biochemical parameters of Chinese indigenous chicken. *Poultry Science*, 102(12).

Capítulo V

EFFECTOS DE LA SUPLEMENTACIÓN CON NOPAL (*Opuntia ficus indica*) EN GALLINAS DE POSTURA BAJO UN MODELO EXPERIMENTAL DE AVICULTURA FAMILIAR SOBRE LA PRODUCTIVIDAD, COLESTEROL SÉRICO Y COLESTEROL DEL HUEVO

Resumen

Se evaluó la suplementación con *Opuntia ficus-indica* BF (nopal forrajero, NF; y nopal verdura, NV) en gallinas de postura bajo un modelo experimental de avicultura familiar sobre la productividad, colesterol sérico y colesterol del huevo. Se formaron tres grupos (15 gallinas/grupo): testigo (alimento convencional; AC), AC+NF y AC+NV; se suministraron 120 g/día de AC y 24 g/día de nopal BF. Se registraron consumo de alimento (CA), consumo de nopal, peso corporal (PC), número de huevos (NH), producción de huevo (PH), colesterol sérico (ColS) y colesterol en la yema (ColYh), tasa de eclosión (TE), mortalidad embrionaria temprana (TMET) y tardía (TMETad), y fertilidad del gallo (FG). Los datos se analizaron con modelos de efectos fijos y modelos lineales generalizados ($\alpha=0.05$). El NF mostró mayor aceptabilidad que el NV (23 vs. 17 g/gallina/día; $p<0.05$). Durante la adaptación, el PC disminuyó hasta 12.4% en todos los grupos, pero al final de la prueba fue similar entre tratamientos (≥ 2.231 kg; $p>0.05$). El CA fue mayor en el testigo (102 g/gallina/día; $p<0.05$), mientras que la PH fue superior con NV (62.3 huevos/semana/grupo; $p<0.05$). El ColS aumentó con mayor magnitud en NF durante reproducción y recolección ($\approx 147-146$ mg/dL; $p<0.05$); el ColYh se redujo $\sim 20.8\%$ en testigo y NV, y se mantuvo con NF. La TE y la TMET no difirieron entre grupos (TE $\leq 69.3\%$; TMET $\leq 5.7\%$); en NF, la TMETad fue $\leq 17.4\%$, y la FG fue $\leq 70.9\%$. En conjunto, la adición de nopal (24 g/gallina/día) reduce transitoriamente el PC y el CA e incrementa el ColS, sin comprometer la productividad ni la eclosión; inclusiones moderadas (< 24 g/gallina/día) podrían incluso mejorar la producción bajo condiciones tipo SPAF.

Palabras clave: Avicultura, cactácea, alimento no convencional, metabolito, productividad

Introducción

Los sistemas de producción avícola familiar (SPAF) aportan, a escala global, carne y huevo de bajo costo y acceso local para hogares en contextos de rezago o marginación, por lo que son un pilar de seguridad alimentaria y resiliencia de medios de vida (FAO, 2023). Aunque su productividad es baja frente a esquemas semi-intensivos e intensivos (Mammo y Wude, 2011), su valor social y económico es innegable. Por lo tanto, cualquier intervención debe preservar la esencia del SPAF: soluciones simples, asequibles y compatibles con las prácticas locales, evitando cambios estructurales que desvirtúen el sistema (Juárez-Caratachea *et al.*, 2008).

La baja productividad de los SPAF se asocia a limitada inversión en infraestructura, genética y alimentación (FAO, 2023; Barocio-Urue *et al.*, 2017). La exposición a variabilidad ambiental, depredación y enfermedades reduce el desempeño (Juárez-Caratachea *et al.*, 2008). Si bien las gallinas (autóctonas o híbridos con razas europeas) son resilientes, suelen ser menos productivas que las líneas especializadas (FAO, 2013); además, la relación alimentación-producción es desfavorable debido a que las dietas en los SPAF no cubren los requerimientos de las gallinas (Barocio-Urue *et al.*, 2017).

Aun con raciones simples (maíz, sorgo o trigo, desperdicios de cocina y lo que la parvada recolecta: insectos y herbáceas), los SPAF tienden a un equilibrio productivo con indicadores típicos: inicio de postura a 28–30 semanas, ~11 huevos/gallina/mes, eclosión ~60 %, alta mortalidad post-nacimiento y ganancias de peso modestas (Juárez-Caratachea *et al.*, 2008; Ortiz *et al.*, 2015; FAO, 2013; Tovar-Paredes *et al.*, 2015). Frente a ello, conviene maximizar sin transformar: (a) nutrición con insumos locales y (b) selección de reemplazos. La cloquez facilita incubación natural y reemplazos de bajo costo, con alta viabilidad adaptativa (FAO, 2013; Camacho-Escobar *et al.*, 2008); la selección debe partir del peso y calidad del huevo y culminar en la tasa de eclosión (Castellanos *et al.*, 2012; Rodríguez-Moya y Cruz-Bermúdez, 2017).

La nutrición condiciona el peso/calidad del huevo (Chan-Colli *et al.*, 2007), pero es difícil de modificar en el SPAF (Barocio-Urue *et al.*, 2017). En términos fisiológicos, una mayor deposición de colesterol en yema puede favorecer el desarrollo embrionario y la eclosión (Yin *et al.*, 2008). Este ajuste es viable con insumos locales que modulan el metabolismo lipídico (p. ej., lipogénesis/recirculación), como es el caso del nopal (*Opuntia ficus-indica*)

(Calderón-González *et al.*, 2021). En México dicha cactácea se clasifica de acuerdo a su utilización: forraje -comúnmente implementado para la alimentación animal- y verdura -destinado para el consumo humano-, ambas variedades de nopal presentes en alrededor del 70% de las zonas rurales -ya sea de manera silvestre, como cercos vivos o en cultivos comerciales- (SIAP, 2023). Esta alta disponibilidad posiciona al nopal como una alternativa accesible y de bajo costo para su implementación en la alimentación animal -específicamente para los sistemas avícolas familiares-.

Por otra parte, el nopal (*O. ficus-indica*) en sus dos variedades contiene diferentes compuestos nutricionales -fibra dietética- y bioactivos -flavonoides y fenoles-, que lo convierten en un insumo funcional, puesto que, dichos compuestos pueden modular el metabolismo del organismo, estimular la síntesis de colesterol endógeno e incidir sobre la formación del huevo (Calderón-González *et al.*, 2021; Muñoz *et al.*, 2014; Ortiz-Rodríguez *et al.*, 2021; Martins *et al.*, 2023). Bajo este contexto, el objetivo fue evaluar la suplementación con nopal (*Opuntia ficus-indica*) BF en gallinas de postura bajo un modelo experimental de avicultura familiar sobre la productividad, colesterol sérico y colesterol del huevo.

Materiales y Métodos

Aprobación ética

Los procedimientos de cuidado y manejo de los animales utilizados fueron establecidos de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 062-ZOO (NOM062-ZOO, 1999), la cual describe las especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de animales de laboratorio. Así mismo, se siguieron los International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animal (CIOMS, 2012).

Diseño del estudio

La investigación se realizó en las instalaciones del sector avícola de la Unidad Posta perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), ubicada en el km 9.5 de la carretera Morelia-Zinapécuaro, municipio de Tarímbaro, Michoacán, entre las coordenadas 19°47'44'' de latitud Norte y 101°10'35'' de longitud Oeste, a una altura de 1864 msnm;

con clima templado -temperatura entre 2.5 a 25.1°C- y lluvias en verano -precipitación anual de 609.0 mm- (INEGI, 2022).

Para la etapa experimental se utilizaron 45 gallinas Rhode Island Red con 20 semanas de producción (48 semanas de edad) y con un peso promedio de 2.4 ± 0.4 kg. Con el total de gallinas se formaron tres grupos (n= 15 gallinas/Grupo) y cada grupo con tres repeticiones (n=5 gallinas/repetición): Grupo testigo (GT), grupo al cual se le suministro 600 g de alimento convencional (AC) específico para gallinas de postura/día/corral (≈ 120 g/gallina/día) (Tabla 1); Grupo Nopal Forrajero (GNF), gallinas alimentadas con 600 g de AC (≈ 120 g/gallina/día) más 120 g de nopal (*O. ficus-indica*) forrajero en BF (≈ 24 g/gallina/día) y Grupo Nopal Verdura (GNV, grupo alimentado con 600 g de AC (≈ 120 g/gallina/día) más 120 g de nopal (*O. ficus-indica*) verdura en BF (≈ 24 g/gallina/día) (Tabla 1).

Tabla 1. Composición y valor nutricional de la dieta[&] e insumos utilizados

Ingredientes, %	Dieta control (DC)	DC + NF*	DC + NV*
Maíz	64.65	62.75	62.75
Pasta de soya	23	23	23
Piedra caliza	8.55	8.35	8.35
Nopal	--	2.17	2.17
Fosfato dicalcio	1.35	1.3	1.3
Caolín	0.55	0.53	0.53
Aceite de soya	0.8	0.8	0.8
Minerales + vitaminas premezcla [#]	0.5	0.5	0.5
Sal (NaCl)	0.43	0.43	0.43
DL-metionoina-98%	0.12	0.12	0.12
L-lisina-78%	0.03	0.03	0.03
Butilhidroxitolueno	0.02	0.02	0.02
Total	100	100	100
Análisis estimado			
Energía metabolizable, kcal/kg	2800	2801	2804
Proteína cruda, %	16	15.87	15.92
Fibra bruta, %	4.5	4.78	4.82
Calcio total, %	3.6	3.63	3.63
Fósforo total, %	0.4	0.41	0.41
Análisis calculado, Base seca		NF	NV
Energía metabolizable, kcal/kg		2840	2996
Materia seca, %		89.43	90.01
Proteína cruda, %		9.94	12.26
Fibra cruda, %		17.18	19.44
Extracto etéreo, %		1.04	0.54

EFFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*O. ficus-indica*) A LA DIETA DE GALLINAS (*Gallus gallus domesticus*) SOBRE COLESTEROL (sérico y en huevo), PRODUCTIVIDAD, INCUBABILIDAD Y VIABILIDAD DEL POLLITO BAJO EL ESQUEMA DE AVICULTURA FAMILIAR

Extracto libre de nitrógeno, %	35.48	31.67
Cenizas, %	27.02	27.09
Calcio total, %	5.13	4.87
Fósforo total, %	0.69	0.68

NF: nopal forrajero; NV: nopal verdura.

&Las dietas se expresan en base seca. El nopal fresco ofrecido (24 g sobre 120 g de alimento) equivale a 2.17% de inclusión en BS.

*Los valores de las dietas con nopal se estimaron por promedio ponderado a partir de la DC y de la composición del nopal. Para cada tratamiento se consideró una mezcla de 120 g de DC con 24 g de nopal en base fresca (masa total 144 g). La composición del nopal, reportada en base seca, se convirtió previamente a base fresca usando sus contenidos de materia seca. Las concentraciones finales (%) y la energía metabolizable (kcal/kg) se obtuvieron como promedios ponderados por masa de los componentes.

#Niveles por Kg de dieta: Vit. A – 8000 UI; Vit. D3 – 2000 UI; Vit. E – 50 mg; Vit. K – 3 mg; Vit. B1 – 1.5 mg; Vit. B2 – 4 mg; Vit. B6 – 0.12 mg; Vit. B12 – 15 mg; Ac. Fólico – 0.6 mg; Ac. Pantoténico – 10 mg; Niacina – 30 mg; Biotina – 0.1 mg; Colina – 300 mg; Hierro – 50 mg; Cobre – 10 mg; Zinc – 70 mg; Manganeseo – 100 mg; Iodo – 1 mg; Selenio – 0.3 mg; Antioxidantes 50 mg.

El periodo de la fase experimental se dividió en dos Etapas; cada etapa contó con cuatro fases: 1ª Etapa; 1ª Fase o semana de adaptación a las dietas suministradas; 2ª Fase o semana de reproducción de las gallinas (1:5; gallo:5 gallinas/grupo/corral); 3ª Fase o semana de selección e incubación de huevo fértil y 4ª Fase o semana de retiro de nopal (GNF y GNV), para evaluación del efecto residual del nopal. En esta etapa se consideró de nuevo la Fase de adaptación, debido a que en la 4ª Fase de la 1ª Etapa se suspendió el nopal al GNF y GNV.

Las gallinas/grupo fueron confinadas en corrales de 3.0 m² (1.5 x 2.0 m) construidos con malla para gallinero y con cama de tierra. Cada corral con bebederos automáticos tipo campana, comederos de lámina galvanizada semiautomáticos (tipo tolva) (los bebederos y comederos de marca® MSBEBF5, Novatec Pagani, México). Se optó por el confinamiento en corral para preservar la esencia del SPAF —infraestructura simple, cama de tierra, ventilación natural y equipos básicos— y, al mismo tiempo, controlar el suministro de alimento y el registro de consumos. Este diseño incrementa la validez externa porque reproduce las condiciones operativas reales (limitaciones de insumos, jerarquía social, variabilidad en acceso al comedero/bebedero) que determinan la variabilidad individual de consumo y respuesta metabólica en los SPAF (FAO, 2013; Barocio-Urue *et al.*, 2017; Juárez-Caratachea *et al.*, 2008). A diferencia del libre pastoreo, el corral permite atribuir diferencias principalmente a la dieta y no a variaciones impredecibles de recolección (insectos/herbáceas) o a exposición a depredadores/clima, manteniendo un mínimo de intervención coherente con los SPAF (Mammo y Wude, 2011). Así, el modelo en corral equilibra control experimental y la representatividad del sistema, replicando el entorno

productivo familiar sin transformarlo, y capturando la heterogeneidad intra-parvada que caracteriza a estos sistemas (Francisco *et al.*, 2024).

El AC (Tabla 1) se ofreció a razón de 120 g/gallina/día (Quintana, 2011). Mientras que, la adición de 24 g de nopal -forrajero o verdura- al AC fue al 1.0% (16.67% de la dieta) con base al peso corporal (Ortiz *et al.*, 2020) promedio de las gallinas al inicio de la fase experimental (2.4 kg). La proporción diaria de nopal/grupo (forrajero y verdura) se ofreció mezclado con 1/3 de la proporción de AC a las 8:00 h, para verificar consumo y rechazo del nopal; el resto del AC se ofreció (14:00 h) una vez pesado el rechazo de nopal -forrajero o verdura- de la primera porción de alimento suministrado. El suministro de agua de bebida fue *ad libitum*.

Obtención del nopal

Los cladodios de nopal forrajero fueron cosechados a una edad de 90 días en la parcela experimental ubicada en la Trinidad de los Ángeles, Guanajuato con coordenadas: 20.19694 N y 101.69861 O, a una altura de 2140 msnm, con temperaturas mínimas de 7°C y máximas de 30°C (INEGI, 2017). Mientras que los cladodios de nopal verdura fueron cosechados a una edad ≥ 90 días de una parcela comercial ubicada en la comunidad de La Concepción, municipio de Morelia, Michoacán, a una altura promedio de 2150 msnm, entre las coordenadas 19°42'N 101°18'O; con un clima templado (temperatura anual de 16 a 19°C) (INEGI, 2022).

El objetivo de cosechar cladodios de nopal verdura de edad mayor a lo recomendado para su consumo humano (Maki-Diaz *et al.*, 2015) fue para utilizar dichos cladodios -considerados como desecho- en la alimentación animal. Cosechados los cladodios de nopal estos fueron llevados al sector de aves de la Posta-FMVZ en donde fueron finamente ficados (3 x 3 mm) para ser suministrado a las gallinas.

Variables evaluadas

Las variables evaluadas/grupo/día fueron: consumo de alimento (CA), consumo de nopal -verdura y forrajero en BF- (CNVBF y CNFBF), producción de huevo (PHvo), número de huevos puestos (NH) y peso de huevo (PesoH). Mientras que las variables evaluadas/gallina/semana/grupo fueron: peso corporal (PC), niveles séricos de colesterol

(ColS) y contenido de colesterol en yema de huevo (ColYh). Finalmente, las variables evaluadas al culminar los periodos de incubación fueron: Tasa de eclosión (TE) y de no eclosión (TNE) y dentro de esta última variable se evaluó la tasa de mortalidad embrionaria (TME) temprana (TMET) y tardía (METd); así mismo, se evaluó la fertilidad de los gallos (n=3) a través de la TE.

Las variables CA, CNVBF y CNFBF se estimaron por medio de la resta del rechazo del insumo/día/corral respecto al suministro de este, los cuales fueron pesados con una báscula Rhino® BAPRE-3 con una precisión de 0.2 g. Obtenido el resultado, este se dividió entre el número de animales/grupo: (15 gallinas/grupo en la 1ª Fase y 15 gallinas más el gallo en la 2ª y 3ª Fase y 15 gallinas en la 4ª Fase).

La PHvo fue determinado al recolectar el total de huevos puestos/grupo/día para posteriormente pesarlos con una báscula Rhino® BAPRE-3 con una precisión de 0.2 g. Mientras que NH, se estimó mediante el conteo de las piezas de huevos producidas/grupo/día. El PesoH se estimó al dividir la PHvo entre el NH.

El PC/gallina/Fase se obtuvo al pesar semanalmente a cada gallina/grupo con una báscula Torrey® L-PCR-40 con una precisión de 0.5 g.

Para la determinación de ColS se seleccionaron al azar seis gallinas/grupo, mismas que fueron monitoreadas semanalmente. De cada gallina se tomó una muestra de sangre (una gota de sangre $\approx$ 0.05 mL), la cual se obtuvo por punción -con una aguja calibre 29 G- de la vena braquial. Obtenida la gota de sangre esta se depositó en una tira reactiva para la determinación de ColS mediante un medidor electrónico (Multiparamétrico Eccu Track®). La finalidad de utilizar este medidor electrónico fue para evitar someter a estrés innecesario al animal, puesto que se requieren de 6 mL/Gallina cada siete días (Olmo-González *et al.*, 2023).

Los niveles de ColYh se obtuvieron mediante el método enzimático colorimétrico descrito por Olgun *et al.* (2013) y, a través de espectrofotometría. Para lo cual se consideraron 10 huevos/grupo/semana.

La TE y la TNE fueron estimadas al final del periodo de incubación por medio de las siguientes formulas:

$$TE = NHE / NHI \times 100 [1]$$

$$TNE = NHNE / NHI \times 100 [2]$$

Donde: TE = Tasa de huevos eclosionados; NHE = número de huevos eclosionados; NHI = Número de huevos incubados; TNE = Tasa de no eclosión; NHNE = número de huevos no eclosionados; NHI = Número de huevos incubados.

La TMET se determinaron con las siguientes formulas:

$$TMET = (NHEM_{\leq 7DI} / NHNE) \times 100 [3]$$

$$TMETd = (NHEM_{\geq 14 DI} / NHNE) \times 100 [4]$$

Donde: TMET= Tasa de Mortalidad embrionaria temprana; NHEM_{≤7DI}= Número de huevos con embrión muerto a ≤ 7 días post-inicio de incubación; NHNE= Número de huevos no eclosionados; TMETd= Tasa de Mortalidad embrionaria tardía; NHEM_{≥14 DI}= Número de huevos con embrión muerto a ≥ 14 días post-inicio de incubación; NHNE= Número de huevos no eclosionados

La fertilidad del gallo (FG) se determinó como sigue:

$$FG = (NHEG/S / NHIG/S) \times 100 [4]$$

Donde: FG= Fertilidad del gallo (Gallo A, Gallo B y Gallo C); NHEG/S = Número de huevos eclosionados de la gallina reproducida con el Gallo A, B o C; NHIG/S= Número de huevos incubados de la gallina reproducida con el Gallo A, B o C.

Análisis estadístico

La información cuantitativa se analizó estadísticamente a través de las metodologías de correlaciones de Pearson y mediciones repetidas, utilizando para ello la metodología de los modelos de efectos fijos (SAS, 2000). Para el caso de las variables cualitativas (porcentaje), estas primeramente se transformaron a arcoseno de raíz cuadrada para posteriormente analizarlo mediante la metodología de los modelos lineales generales (SAS, 2000) y las diferencias entre Grupos, Etapas, Grupos x Fase y Grupos x Etapas, se obtuvieron a través de medias de mínimos cuadrados (Lsmeans, siglas en inglés) a un $\alpha=0.05$ (SAS, 2000).

Resultados

Consumo de nopal

Los resultados determinaron efecto ($p < 0.0001$) de Grupo y de la interacción Grupo x Fase sobre el consumo de nopal en las gallinas. El consumo promedio durante las dos Etapas evaluadas, sin incluir las Fases de adaptación, fue de 115 g/corral/día (≈ 23 g/gallina/día) y 85 g/corral/día (≈ 17.0 g/gallina/día), para el GNF y GNV, respectivamente (Tabla 2). Sin embargo, en la Fases de reproducción y recolección de huevo fértil, las gallinas del GNF consumieron mayor ($p < 0.05$) cantidad de nopal: 110.0 a 120 g/corral/día (≈ 22 a 24 g/gallina/día) vs GNV: 65 a 105 g/corral/día (≈ 13.0 a 21 g/gallina/día) (Tabla 2).

Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para el consumo (kg) de nopal/corral de acuerdo con el grupo, a la fase y a la etapa

Etapa	Fase	Grupo		E.E.
		GNF	GNV	
Primera	Adaptación* sin Gallo	0.045 ^{a,1}	0.040 ^{a,1}	0.004
	Reproducción/Gallo	0.110 ^{b,1}	0.100 ^{b,2}	0.004
	Recolección de HF	0.120 ^{c,1}	0.105 ^{b,2}	0.004
	Sin Nopal	0.000	0.000	--
Segunda	Adaptación* sin Gallo	0.075 ^{d,1}	0.095 ^{b,2}	0.004
	Reproducción/Gallo	0.120 ^{c,1}	0.075 ^{c,2}	0.004
	Recolección de HF	0.120 ^{c,1}	0.065 ^{c,2}	0.004
	Sin Nopal	0.000	0.000	--
Promedio**		0.116 ¹	0.086 ²	0.002

E.E.= Error estándar; *=Adición de nopal a la dieta de las gallinas del GNF y GNV; **= Sin incluir la Fase de adaptación de las Etapa 1 y 2

GT=Grupo testigo; GNF=Grupo nopal forrajero; GNV=Grupo nopal verdura

Literales a, b, c, indican diferencias ($p < 0.05$) entre promedios dentro de columna

Numerales 1, 2 e indican diferencias ($p < 0.05$) entre promedios dentro de fila

Consumo de alimento comercial (CA) y peso corporal (PC) de las gallinas

En lo que respecta al CA y PC promedio/gallina/grupo, se encontró efecto ($p < 0.0001$) de Grupo y de la interacción Grupo x Fase sobre estas variables. En el caso del CA promedio/grupo, en la Fase de adaptación de la 1ª Etapa, fue similar ($p > 0.05$) en el GNF y GNV; pero inferior ($p < 0.05$) al GT: 310 ± 120 g/grupo/día ($\approx 62.0 \pm 24.0$ g/día/gallina) (Tabla 2). No obstante, el CA se incrementó a partir de la fase de reproducción/Gallo hasta finalizar la fase experimental (Gráfica 1); en donde, el mayor ($p < 0.05$) CA fue para el GNF: 605 ± 105 g/corral/día ($\approx 121.0 \pm 21.0$ g/día/gallina) vs GT y GNV (Gráfica 1).

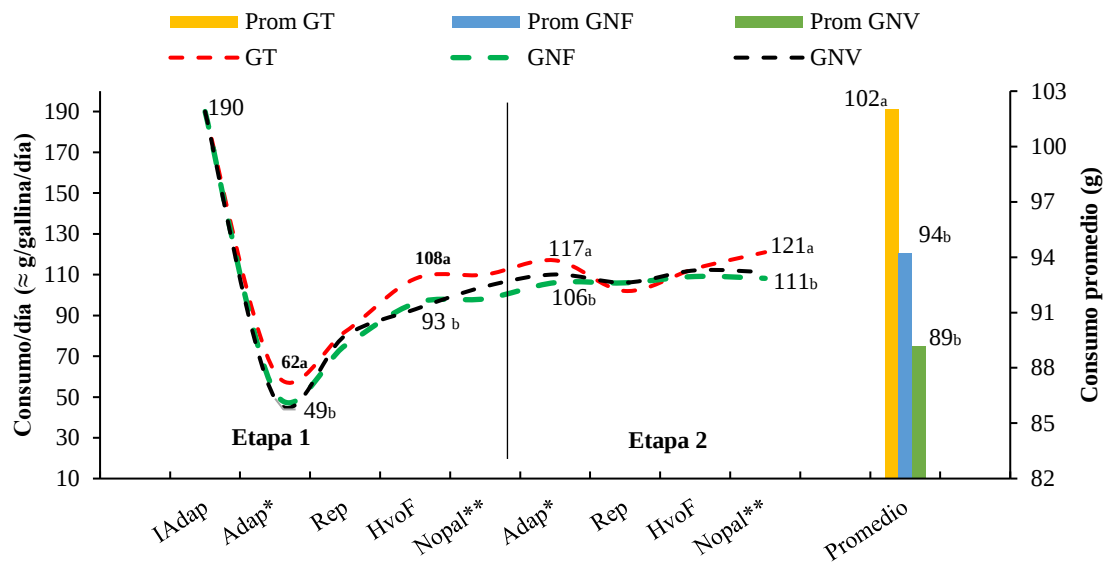


Figura 1. Medias de mínimos cuadrados para el consumo de alimento comercial de las gallinas de acuerdo con el grupo, a la fase y a la etapa. IAdap=Inicio de adaptación; Adap*=Adaptación al nopal sin gallo; Rep=Reproducción con gallo; Nopal**=Retiro de nopal a la dieta de las gallinas del GNF y GNV; GT=Grupo testigo; GNF=Grupo nopal forrajero; GNV=Grupo nopal verdura. Literales a, b, indican diferencias ($p < 0.05$) entre promedios dentro Fase.

Respecto a la asociación entre CA-consumo de nopal (forrajero o verdura) y entre Fase-CA (Tabla 3) se encontró que estas fueron de 0.18 y 0.80 ($p < 0.001$), respectivamente. Mientras que, en el GT, la asociación entre Fase-CA fue de 0.35 ($p < 0.05$).

Tabla 3. Correlaciones de Pearson para las variables productivas y colesterol sanguíneo

Gallinas sometidas a consumo de nopal						
	Fase	PesoH (g)	PHvo (kg)	NH	CA (kg)	CN (kg)
PesoH (g)	NS					
PHvo (kg)	-0.30*	NS				
NH	-0.33*	NS	0.98**			
CA (kg)	0.80**	NS	-0.37*	-0.42**		
CN (kg)	-0.16*	NS	-0.17*	-0.15*	0.18*	
Col (mg/dL)	NS	0.20*	-0.21*	-0.21*	0.24*	0.26*
Gallinas sometidas a dieta sin nopal						
PesoH (g)	-0.11*					--
PHvo (kg)	-0.25*	NS				--
NH	-0.27*	NS	0.99**			--
CA (kg)	0.35*	NS	-0.20*	-0.20*		--
CN (kg)	0.12*	NS	NS	NS	NS	--

PesoH= Peso del huevo; PHvo= Producción de huevo; NH= Número de huevos; CA= Consumo de alimento comercial; CN= Consumo de nopal (forrajero y verdura); Col= Colesterol sanguíneo
NS=No significativo ($p > 0.05$); *=Significativo ($p < 0.05$); **=Altamente significativo ($p < 0.001$)

Para el caso del PC al inicio de la Fase de adaptación, el PC/gallina/grupo fue similar ($p>0.05$) en los tres grupos evaluados: 2.446 a 2.528 kg (Gráfica 2). Pero, entre las Fases de adaptación y la de recolección de huevo fértil, de la 1a Etapa, se observó pérdida del PC de las gallinas en GT, GNF y GNV ($p<0.05$) con respecto al PC del inicio de la Fase de adaptación: 7.2, 12.7 y 12.4% de pérdida de peso, respectivamente. En la 2ª Etapa, se presentó una tendencia de pérdida de peso en las gallinas de los tres grupos, especificate en la Fase reproducción/gallo (Gráfica 2).

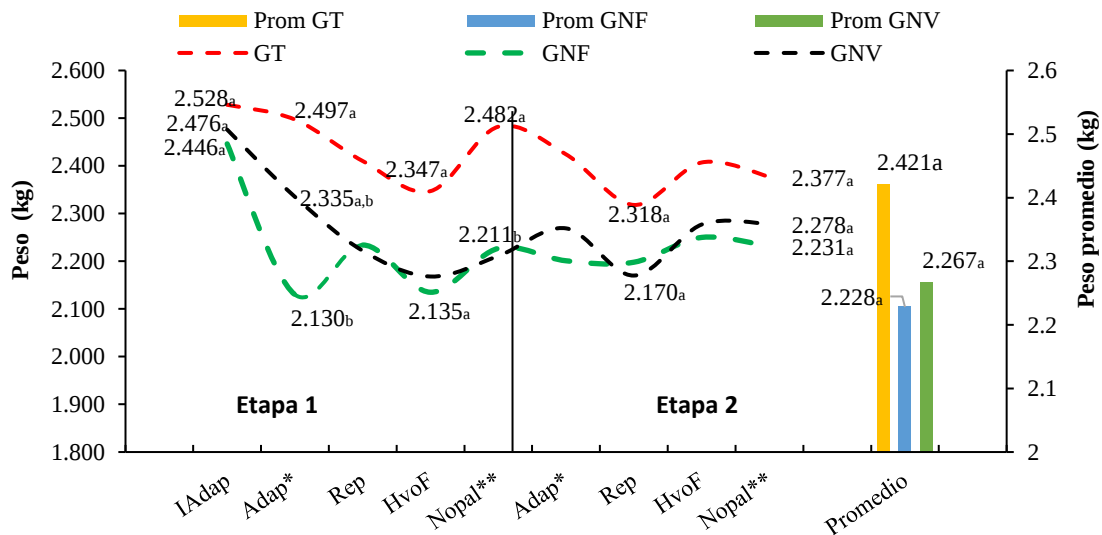


Figura 2. Medias de mínimos cuadrados para el peso corporal de las gallinas de acuerdo con el grupo, fase y etapa. IAdap=Inicio de adaptación; Adap*=Adaptación al nopal sin gallo; Rep=Reproducción con gallo; Nopal**=Retiro de nopal a la dieta de las gallinas del GNF y GNV. Literales a, b, indican diferencias ($p<0.05$) entre promedios dentro Fase.

En la Fase de retiro del nopal (GNF y GNV), el PC de las gallinas se incrementó ($p<0.05$) con respecto a la Fase de adaptación. Pero, el PC fue mayor ($p<0.05$) en el GT (2.482 ± 0.237 kg) vs GNF y GNV. Al finalizar la 2ª Etapa experimental (Fase de retiro de nopal), el PC de las gallinas en los tres grupos fue similar ($p>0.05$) entre sí: 2.231 a 2.278 kg/gallina; ello, respecto a la fase de adaptación de la 2ª etapa (Gráfica 2).

Indicadores productivos de las gallinas de acuerdo con la etapa de la fase experimental

Se encontró que el PesoH, NH y PHvo fueron afectados ($p<0.05$) por el Grupo y la interacción Grupo * Etapa. Al respecto, el GNV mostró -en la 1a Etapa- mejor desempeño ($p<0.05$) en todos estos indicadores (Tabla 4): 62.3 ± 5.2 huevos/Fase; 3.6 kg de huevo/Fase;

≈ 0.58 huevos puestos/día/gallina vs GNF y GT. En la 2ª Etapa, los valores promedio de las variables NH y PHvo disminuyeron respecto a la 1ª Etapa: ≈ 9.3, 11.0 y 13.4%, para el caso del GNV, GNF y GT, respectivamente. Caso contrario sucedió con PesoH; este incrementó ($p < 0.05$) en la 2ª Etapa en los tres grupos evaluados (Tabla 4). En este sentido, se observó que, las asociaciones CA-NH y CA-PHvo -en los grupos que consumieron nopal- fueron negativas: -0.42 y -0.37 ($p < 0.05$), respectivamente. Mientras que, en GT la asociación CA-NH y CA-PHvo mostraron el mismo valor ($r = -0.20$; $p < 0.05$) (Tabla 3).

Tabla 4. Medias de mínimos cuadrados para el número de huevos puestos y kg de huevo de acuerdo con el grupo y la etapa

Variable	Etapa 1			Etapa 2		
	GT	GNF	GNV	GT	GNF	GNV
NH (Grupo/fase)	52.0 ^{a,1}	48.3 ^{b,1}	62.3 ^{c,1}	45.0 ^{a,2}	42.8 ^{a,2}	56.5 ^{c,2}
NH (Grupo/fase/día)	7.4 ^{a,1}	6.9 ^{b,1}	8.9 ^{c,1}	6.5 ^{a,2}	6.1 ^{a,2}	8.1 ^{b,2}
NH (Grupo/fase/día)	0.50 ^{a,1}	0.48 ^{a,1}	0.58 ^{b,1}	0.43 ^{a,2}	0.43 ^{a,2}	0.55 ^{b,1}
PHvo (kg/Grupo/fase)	3.0 ^{a,1}	2.8 ^{b,1}	3.6 ^{c,1}	2.7 ^{a,2}	2.5 ^{a,2}	3.3 ^{b,2}
PesoH (g/Grupo)	58.1 ^{a,1}	57.5 ^{a,1}	57.6 ^{a,1}	59.3 ^{a,2}	59.7 ^{a,2}	59.4 ^{a,2}

GT=Grupo testigo; GNF=Grupo nopal forrajero; GNV=Grupo nopal verdura; NH= Número de huevos; PHvo= Producción de huevo; PesoH= Peso del huevo

Literales a, b, c, indican diferencias ($p < 0.05$) entre promedios entre grupos dentro de etapa

Numerales 1, 2 e indican diferencias ($p < 0.05$) entre promedios entre etapas dentro de grupo

Colesterol sérico, colesterol en huevo, tasa de eclosión y calidad del pollito al nacimiento de acuerdo con la etapa de la fase experimental

Se encontró efecto de Grupo ($p < 0.05$) y de la interacción Grupo x Fase ($p < 0.05$) sobre los valores promedio de ColS de las gallinas. Al inicio de la Fase de adaptación, los niveles de dicho metabolito fueron similares ($p > 0.05$) en los grupos analizados (Gráfica 3). Sin embargo, durante la Fase de adaptación, los niveles de ColS descendieron en los tres grupos; pero, el GNF (127.6 mg/dL) presentó mayor nivel de ColS ($p < 0.05$) vs GT y GNV (Gráfica 3). Fenómeno que prevaleció ($p < 0.05$) en las fases de reproducción y recolección de huevo fértil en ambas Etapas de la fase experimental.

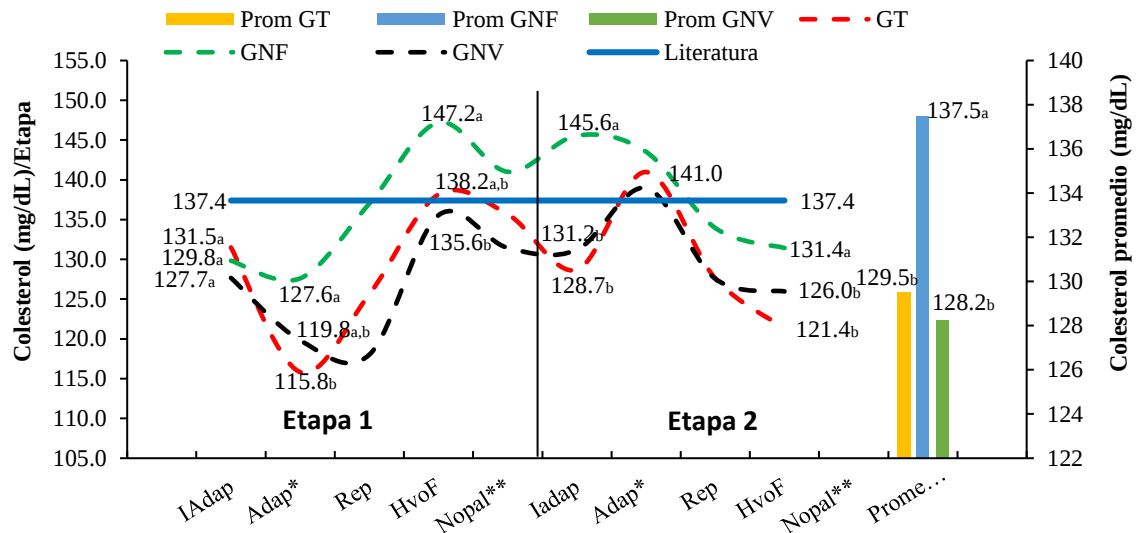


Figura 3. Dinámica de comportamiento del contenido de colesterol sérico durante la fase experimental de acuerdo con la anidación Grupo(Fase). IAdap=Inicio de adaptación; Adap*=Adaptación al nopal sin gallo; Rep=Reproducción con gallo; Nopal**=Retiro de nopal a la dieta de las gallinas del GNF y GNV; GT=Grupo testigo; GNF=Grupo nopal forrajero; GNV=Grupo nopal verdura. Literales a, b, indican diferencias ($p < 0.05$) entre promedios dentro Fase.

Para el caso de los resultados de ColYh no se encontró efecto de Grupo ($p > 0.05$); pero sí de la interacción Grupo x Etapa ($p > 0.05$). Los valores observados (Gráfica 4) fueron mayores ($p > 0.0$) en la 1ª Etapa vs 2ª Etapa de la fase experimental para los grupos GT (12.2 mg/g) y GNV (13.4); estos presentaron una reducción de ColYh de 20.8% en la 2ª etapa respecto a la 1ª etapa (Gráfica 2). Mientras que los valores del GNF fueron similares entre sí ($p > 0.05$), en ambas etapas evaluadas (12.2 y 11.0 mg/g, respectivamente).

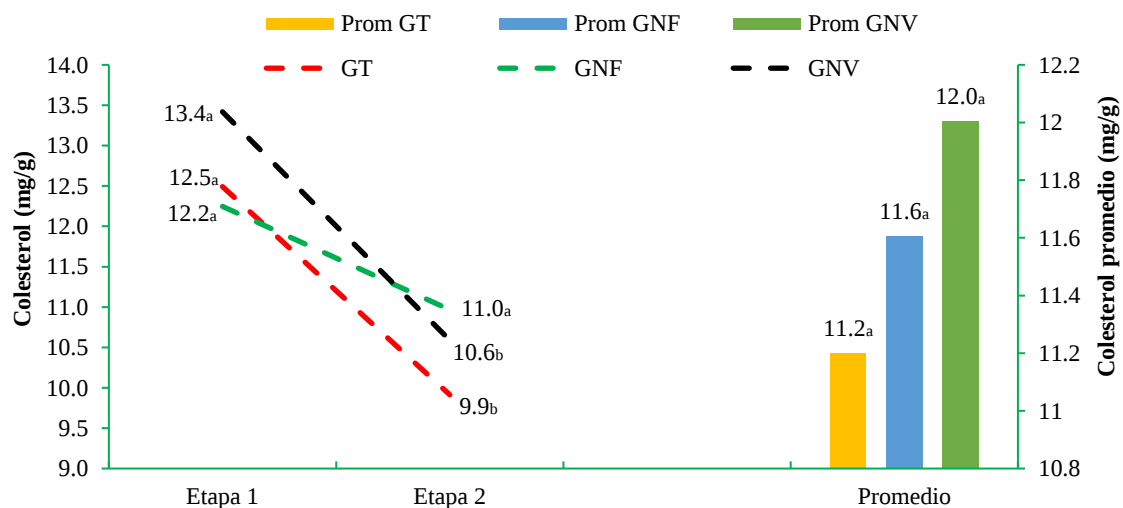


Figura 4. Medias de mínimos cuadrados para colesterol en huevo (mg/g) de acuerdo con el grupo y a la etapa

En el caso de los resultados de la TE de los huevos que se incubaron artificialmente, se encontró que el Grupo, la Etapa y la interacción Grupo x Etapa no afectaron a dicha variable ($p>0.05$). Sin embargo, se observó una tendencia hacia una mayor TE en GNF y GNV en ambas Etapas evaluadas (Tabla 5).

Table 5. Tasa de eclosión y de no eclosión de acuerdo con el grupo, la etapa y la causa de no eclosión

Grupo	% Huevos eclosionados				% Huevos infértiles			
	Etapa		E.E.	Pr > t	Etapa		E.E.	Pr > t
	1	2			1	2		
GT	36.3	59.8	0.04	0.0957	48.9 ^a	5.3 ^b	0.13	0.0280
GNF	50.0	69.3	0.05	0.1304	29.2	6.7	0.15	0.3785
GNV	50.0	69.2	0.05	0.9672	21.0	12.7	0.15	0.7443
Promedio	45.7	60.1	0.03	0.0772	33.9	8.2	0.09	0.0559
Grupo	% Muerte Embrionaria Temprana				% Muerte Embrionaria Tardía			
	Etapa		E.E.	Pr > t	Etapa		E.E.	Pr > t
	1	2			1	2		
GT	1.8	5.3	0.01	0.4380	11.3	26.7	0.02	0.0891
GNF	6.3	0.0	0.01	0.2106	8.3	17.4	0.03	0.3400
GNV	9.8	6.7	0.01	0.5194	15.6	26.1	0.03	0.2695
Promedio	5.7	4.0	0.007	0.4808	11.6 ^b	23.4 ^a	0.02	0.0403

GT=Grupo testigo; GNF=Grupo nopal forrajero; GNV=Grupo nopal verdura
Literales a, b, indican diferencias ($p<0.05$) entre promedios/Etapa

En lo que respecta a la TME de los pollitos/Grupo/Etapa (Tabla 5), se encontró que el Grupo, la Etapa y la interacción Grupo x Etapa no afectaron la TMET ($p>0.05$): 5.7%, en la 1ª Etapa y de 4.0% en la 2ª Etapa (Tabla 5). Caso contrario sucedió con la TMETd: mayor ($p<0.05$) en la 2ª Etapa (23.4%) vs 1ª Etapa (11.6%). Sin embargo, en el comportamiento/grupo se observó una tendencia hacia una menor TMETd en el GNF (8.3 y 17.4%, para la 1ª y 2ª Etapa) vs GT y GNV (Tabla 5).

En cuanto a la fertilidad del gallo, medida a través de la TE, se encontró que el gallo no afectó la TE ($p>0.05$), siendo la fertilidad de los gallos utilizados en esta investigación de 70.9, 68.8 y 56.1%, para el gallo A, B y C, respectivamente.

Discusión

En el contexto de los SPAF, la adopción de insumos no convencionales suele juzgarse como ineficaz por inercias técnico-económicas (FAO, 2013). Sin embargo, el nopal destaca por su

resiliencia a la sequía (Inglese *et al.*, 2018) y por contar con propiedades nutraceuticas (Torres-Ponce *et al.*, 2015), lo que lo convierte en un candidato compatible con la esencia del SPAF: insumos locales, bajo costo y mínima intervención en el sistema productivo.

Bajo las condiciones de alojamiento en corral, diseñadas para equilibrar control experimental y validez externa del SPAF (Francisco *et al.*, 2024), el nopal forrajero (NF) mostró mayor consumo que el nopal verdura (NV). Esto se relaciona con los efectos de la edad del cladodio sobre dureza, fibra y acidez; en NV, cladodios ≥ 90 días reducen la palatabilidad, mientras que NF alrededor de 90 días mantiene turgencia y humedad (INEGI, 2013; FAO, 2006; Mondragón *et al.*, 2003; Martins *et al.*, 2023). Además, el picado necesario para suministrarlo puede inducir cambios postcosecha (p. ej., emisión de etileno) que alteran color, sabor, textura y calidad, acentuando la diferencia sensorial entre ambos tipos de cladodio (FAO, 2006).

La humedad y el mucílago del nopal también ayudan a explicar la dinámica observada. Por un lado, el NF —más turgente— aporta agua que puede mejorar el confort térmico y la hidratación en corral; por otro, su fibra soluble incrementa la saciedad y diluye la densidad energética de la ración, conduciendo a una baja transitoria del consumo de la dieta comercial y a un ajuste posterior cuando la gallina recupera su consumo. En el caso del NV, la mayor dureza y acidez de cladodios cosechados a ≥ 90 días probablemente dificulta la prehensión inicial y prolongaron la adaptación; una vez estabilizado el consumo, la productividad pudo sostenerse porque la dilución energética moderada y el posible efecto antioxidante/mucilaginoso del nopal amortiguaron el impacto del cambio de manejo sobre el eje reproductivo, tal como sugieren las diferencias iniciales en postura a favor del NV observadas en la Etapa 1.

La fase de adaptación (cambio de jaula a corral y ajuste dietario) cursó con descenso del consumo y pérdida de peso en los tres grupos, patrón compatible con estrés, dilución energética y mayor carga fibrosa (Rosado, 2017; Córdova *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2015). El grupo testigo (sin nopal) recuperó antes el peso corporal (PC), probablemente por una señal oxigénica más aguda al no estar expuesto a efectos metabólicos asociados al nopal (p. ej., cambios glucémicos/colesteroemia mediados por fibra y metabolitos secundarios) (El-

Mostafa *et al.*, 2014). Aun así, tras la adaptación hubo recuperación parcial del consumo y convergencia de PC entre tratamientos, lo que sugiere resiliencia de las gallinas al entorno en condiciones de corral (Francisco *et al.*, 2024).

A pesar de la restricción inicial, el grupo con NV presentó mayor número de huevos (NH) y producción en la Etapa 1. Esto puede explicarse porque: (i) una leve reducción energética en gallinas con adiposidad moderada mejora eficiencia de postura (menor grasa de reserva y mejor partición hacia oviducto); y/o (ii) componentes del nopal (mucílagos, antioxidantes) pudieron amortiguar el impacto del estrés sobre el eje productivo (Martínez-Aguilar *et al.*, 2013; Rizzi, 2023).

Con respecto al colesterol sérico (ColS) y del huevo (ColYh), la expectativa “fibra → hipocolesterolemia” no explica por sí sola los hallazgos: se observó incremento de ColS tras la adaptación y durante la reproducción, particularmente con NF. Ello fisiológicamente se asocia con la presencia del gallo y la ovulación aumentan la demanda esteroidogénica y el tráfico hepático de colesterol (Brown *et al.*, 2021; Schneider, 2016; Ru *et al.*, 2024). Además, el estrés y la repartición energética propia del cambio de manejo pueden modular la síntesis/exportación hepática (VLDL_y) hacia la yema, de modo que ColS y ColYh no guardan una relación lineal. Por otra parte, dietas hipocolesterolemicas pueden activar lipogénesis de *novo* y sostener el aporte lipídico a la yema, con potenciales beneficios en incubación y viabilidad del pollito (Moran, 2007; Leone *et al.*, 2010; Osorio y Flores, 2018). Para este caso, el ColYh tendió a disminuir en la Etapa 2 salvo en NF, lo que sugiere ajustes homeostáticos más que un efecto dosis–respuesta simple del nopal.

Para el caso de la eclosión y mortalidad embrionaria, aunque la tasa de eclosión (TE) no mostró diferencias significativas entre tratamientos, se observó una tendencia a mejorar en la Etapa 2 y a reducir la mortalidad embrionaria tardía (TMETd) en NF. Parte de la variación en TE/TNE puede explicarse por la calidad seminal y la edad de las gallinas: la fertilidad de los gallos (56.1–70.9 %) fue inferior a reportes de referencia (Illescas-Cobos *et al.*, 2023), y la hiperactividad sexual puede disminuir la concentración espermática por cópula (Riaz *et al.*, 2004), lo que afecta fertilidad e incubabilidad (Ahmed *et al.*, 2012; Gonçalves *et al.*, 2015; Damaziak *et al.*, 2018). Aun así, la tendencia a reducir la TMETd en NF (Etapa 1 y

Etapas 2) vs el resto de los grupos es relevante para SPAF, dado que la mortalidad tardía se asocia a deficiencias nutricionales parentales —proteína, antioxidantes y lípidos esenciales— que comprometen la viabilidad embrionaria (Uni y Ferket, 2004; Vieira, 2007; Surai, 2020; Applegate y Fowler, 2021).

Conclusión

La adición del nopal (*O. ficus indica*) a la dieta de gallinas confinadas en corral reduce el consumo de alimento comercial y el peso corporal de la gallina. Pero, incrementa la concentración de colesterol sérico y en yema de huevo sin afectar la producción de huevo ni la tasa de eclosión, lo que permite la obtención de un mayor número de pollitos a disposición del productor para la selección de remplazos de los reproductores. Además, la dieta adicionada con nopal forrajero tiende a reducir la mortalidad embrionaria tardía. Sin embargo, se debe investigar si la adición de menos de 24 g de nopal/día/gallina mejora la productividad y la tasa de eclosión de huevo bajo los sistemas de producción avícola familiar.

Bibliografía

- Ahmed, B.H., Saleem, F. and Zahid, S. (2012). Comparative Evaluation of Fertility and Hatchability of Different Crosses of Chicken with White Leghorn for Backyard. *Poultry Journal of Veterinary Animal Science*, 2: 107–112. Disponible en: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20133412462>
- Applegate, T.J., and Fowler, J. (2021). Backyard poultry nutrition. *Backyard Poultry Medicine and Surgery: A Guide for Veterinary Practitioners*, pp 117-130. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119511816.ch6>
- Barocio-Urue, J.N., Juárez-Caratachea, A., Gutiérrez-Vázquez, E., Pérez-Sánchez, R.E., and Ortiz-Rodríguez, R. (2017). Effect of diet on live weight and egg weight of backyard hens during the rainy season. *Austral Journal of Veterinary Sciences*, 49(2): 91-98. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0719-81322017000200091>
- Brown, C.L.J., Zaytsoff, S.J.M., Montina, T., and Inglis, G.D. (2021). Corticosterone-Mediated Physiological Stress Alters Liver, Kidney, and Breast Muscle Metabolomic Profiles in Chickens. *Animals*, 11(11): 3056. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11113056>
- Calderón-González, M., Pérez-Sánchez, R.E., Juárez-Caratachea, C.A., Gutiérrez-Vázquez, E. y Ortiz-Rodríguez, R. (2021). Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la dieta de gallinas Rhode Island Red sobre la calidad del huevo con énfasis en el colesterol. *Opuntia*, pp. 65-74.
- Camacho-Escobar, M.A., Arroyo-Ledezma, J., and Ramírez-Cancino, L. (2008). Diseases of backyard turkeys in the Mexican tropics. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1149(1): 368-370. DOI: <https://doi.org/10.1196/annals.1428.004>

- Castellanos, R.B., Pérez, M.S., y Cañizares, A.V. (2012). Comportamiento de la incubabilidad y fertilidad, de tres líneas de gallinas semirrásticas. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 13(4): 1-9. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/636/63623403004.pdf>
- Chan-Colli, M., Carvajal, M., Segura, J., Sarmiento, L. and Santos, R. (2007). Effect of dietary energy and sulphur amino acid level on egg production traits in the tropics. *Journal of Animal Veterinary Advances*, 6(10): 1209-1213. DOI: <https://doi.org/10.3923/javaa.2007.1209.1213>
- Córdova, M.G.V., Rojas, Q.Y.Z., Olivares, L.D., Vega, J.A.I. y Cansino, N.D.S.C. (2022). Tratamiento y prevención de la obesidad: Saponinas como alternativa. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 10(20): 174-180. DOI: <https://doi.org/10.29057/icsa.v10i20.8725>
- Damaziak, K., Pawęska, M., Gozdowski, D. and Niemiec, J. (2018). Short periods of incubation, egg turning during storage and broiler breeder hens age for early development of embryos, hatching results, chicks quality and juvenile growth. *Poultry Science*, 97(9): 3264-3276. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps/pey163>
- El-Mostafa, K., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El Kebba, M.S., Latruffe, N., Lizard, G., Nasser, B. and Cherkaoui-Malki, M. (2014). Nopal Cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a Source of Bioactive Compounds for Nutrition, Health and Disease. *Molecules*, 19(9): 14879-14901. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules190914879>
- Francisco, J.F., y Navarro-Arroyo, A.K. (2024). Determinación de parámetros productivos en gallinas Rhode Island durante su fase de crecimiento en dos dietas. *Revista Producción agropecuaria y desarrollo sostenible (PAyDS)*, (13): 13-24. DOI: <https://doi.org/10.5377/payds.v13i1.20164>
- Gonçalves, F. M., Santos, V.L., Farina, G., Oliveira, C.O., Anciuti, M.A. and Rutz, F. (2015). Nutritional aspects and reproductive management of roosters in Brazil. *World's Poultry Science Journal*, 71(3): 515-522. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933915002238>
- Inglese, P., Mondragon, C., Nefzaoui, A., Saenz, C., Taguchi, M., Makkar, H. y Louhaichi, M. (2018). Ecología del Cultivo, Manejo y Usos del Nopal. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Pp. 15. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11766/9380>
- Illescas-Cobos, A.A., González-Cerón, F. y Pro-Martínez, A. (2022). Caracterización morfométrica y potencial reproductivo de los huevos de gallinas Criollas Mexicanas (*Gallus gallus domesticus*) dispuestos a incubación artificial. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 25. DOI: <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.509>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2013). Características principales del cultivo de nopal en el Distrito Federal Caso Milpa Alta. Censo Agropecuario 2007. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/agropecuario/2007/agricola/nopal_df/CulnopDF.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Anuario estadístico y geográfico del Estado de Guanajuato. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/contenidos>

- /productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2012/70282509146.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). Aspectos Geográficos: Michoacán de Ocampo. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463913009.pdf
- Juárez-Caratachea, A., Ortiz-Rodríguez, R., Pérez-Sánchez, R.E., Gutiérrez-Vázquez, E. y Val-Arreola, D. (2008). Caracterización y modelación del sistema de producción avícola familiar. *Livestock Research for Rural Development*, 20(2): 13. Disponible en: <https://www.lrrd.org/lrrd20/2/juar20025.htm>
- Leone, V.A., Worzalla, S.P. and 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(4): 621-632. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00264>
- Maki-Díaz, G., Peña-Valdivia, C.B., García-Nava, R., Arévalo-Galarza, M.L., Calderón-Zavala, G. y Anaya-Rosales, S. (2015). Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional. *Agrociencia*, 49(1): 31-51. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000100003
- Mammo, M. and Wude, T. (2011). Phenotypic and genotypic characteristics of indigenous chickens in Ethiopia: A review. *African Journal of Agricultural Research*, 6: 5398-5404. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR11.679>
- Martínez-Aguilar, Y., López-Figueredo, Y., Martínez-Yero, O., Olmo-González, C. y Rodríguez-Bertot, R. (2013). Influencia del peso vivo de gallinas ponedoras White Leghorn (L33) en la producción y calidad del huevo comercial. *Revista Granma Ciencia*, 17(1).
- Martins, M., Ribeiro, M.H. and Almeida, C.M. (2023). Physicochemical, Nutritional, and Medicinal Properties of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. and Its Main Agro-Industrial Use: A Review. *Plants*, 12(7): 1512. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12071512>
- Mondragón, J.C., Méndez, G.S. De, J. y Olmos, O.G. (2003). El cultivo de *Opuntia* para la producción de forraje: de la reforestación al cultivo hidropónico. Estudio FAO-Producción y Protección Vegetal. Food and Agriculture Organization. (FAO). Roma, Italia., 169. Pp. 129-146. Disponible en: <https://www.fao.org/4/y2808s/y2808s0f.htm#TopOfPage>
- Moran, E.T. (2007). Nutrition of the Developing Embryo and Hatchling. *Poultry Science*, 86(5): 1043-1049. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/86.5.1043>
- Muñoz, L., Díaz, Y., González, C., Medina, E. y Cardona, E. (2014). Efecto de la administración oral de nopal deshidratado sobre el perfil de lípidos en individuos con dislipidemia y sobrepeso/obesidad. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(1): 149-160. Disponible en: <https://www.reibci.org/publicados/2014/mayo/4569513.pdf>
- Olgun, O., Yazgan, O. and 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2012.09.005>

- Olmo-González, C., Verdecia, A., Danis, M. y Martínez, Y. (2023). Hemoquímica sanguínea en gallinas y gallos reproductores semirrusticos, alimentados con harina de follaje de *Tithonia diversifolia*. *REDEL*. 2(7): 182-195. Disponible en: <https://revistas.udg.co.cu/index.php/redel/article/view/3965/9307>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2013). Revisión del Desarrollo Avícola, pp. 1-4. Disponible en: <https://www.fao.org/4/i3531s/i3531s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2023). Producción y productos avícolas. Disponible en: <https://www.fao.org/poultry-production-products/production/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2006). Utilización agroindustrial del nopal. *Boletín de servicios agrícolas de la FAO*, 162, pp. 9-30. Disponible en: <https://www.fao.org/4/a0534s/a0534s00.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2013). Disponibilidad de piensos y nutrición de aves de corral en países en desarrollo. Revisión del Desarrollo Avícola, pp. 61-82. Disponible en: <https://www.fao.org/4/al706s/al706s00.pdf>
- Ortiz, R., López, M., Pérez, R.E., Ramírez, PdlP. and Ordaz, G. (2020). Effect of the Inclusion of Different Levels of Dietary Cactus (*Opuntia ficus-indica*) on Gilts' Biochemical Parameters and Feed Intake during Lactation. *Animals*, 10(10): 1881. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10101881>
- Ortiz, R.R., Pérez, S.R.E., Juárez, C.A. y Gómez, R.B. (2015). Teoría de Sistemas en la Producción Animal. 1ª Edición 2015. Universidad Michoacana de San de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.
- Ortiz-Rodríguez, R., Ordaz-Ochoa, G., García-Saucedo, P.A. y Pérez-Sánchez, R.E. (2021). El nopal (*Opuntia ficus-indica*) como complemento de la dieta de cerdas lactantes sobre los niveles de glucosa sérica y consumo de alimento durante la fase de lactancia. *Opuntia*. Pp. 58-64.
- Osorio, J.H. y Flores, J.D. (2018). Comparación de lípidos sanguíneos entre pollos de engorde y gallinas ponedoras. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 65(1): 27-35. DOI: <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v65n1.72021>
- Quintana, L.J.A. (2011). Avitecnia manejo de las aves domésticas más comunes. Editorial Trillas. Cuarta Edición. México, pp. 191-202.
- Riaz, A., Aleem, M., Ijaz, A., Saeed, M.A. and Latif, A. (2004). Effect of collection frequency on the semen quality of broiler breeder. *British poultry science*, 45(6): 823-827. DOI: <https://doi.org/10.1080/00071660400012691>
- Rizzi, C. (2023). A study on egg production and quality according to the age of four Italian chicken dual-purpose purebred hens reared outdoors. *Animals*, 13(19): 3064. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13193064>
- Rodríguez-Moya, J. y Cruz-Bermúdez, A.I. (2017). Factores que afectan la incubabilidad de huevo fértil en aves de corral. *Nutrición animal tropical*, 11(1): 16-37. DOI: <https://doi.org/10.15517/nat.v11i1.28295>
- Rosado, A.V. (2017). Sistemas de alimentación para controlar el estrés calórico en gallinas ponedoras isla Brown en Junín, Ecuador. *Revista Ciencias Agropecuarias*, 3(3): 14-17. DOI: <https://doi.org/10.36436/24223484.224>

- Ru, M., Liang, H., Ruan, J., Haji, R.A., Cui, Y., Yin, C., Wei, Q. and Huang, J. (2024). Chicken ovarian follicular atresia: interaction network at organic, cellular, and molecular levels. *Poultry Science*, 103(8): 103893. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103893>
- Schneider, W.J. (2016). Lipid transport to avian oocytes and to the developing embryo. *Journal Biomedical Research*, 30(3): 174-80. DOI: <https://doi.org/10.7555/JBR.30.20150048>
- Statistical Analysis System Institute (SAS). (2000). Guide for personal computers. Version 8.
- Surai, P.F. (2020). Antioxidants in poultry nutrition and reproduction: An update. *Antioxidants*, 9(2): 105. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox9020105>
- Torres-Ponce, R.L., Morales-Corral, D., Ballinas-Casarrubias, M.D.L. y Nevárez-Moorillón, 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. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000500018
- Tovar-Paredes, J.L., Narváez-Solarte, W. y Agudelo-Giraldo, L. (2015). Tipificación de la gallina criolla en los agroecosistemas campesinos de producción en la zona de influencia de la selva de Florencia (Caldas). *Luna Azul*, (41): 57-72. DOI: <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.41.4>
- Uni, Z. and Ferket, R.P. (2004). Methods for early nutrition and their potential. *World's Poultry Science Journal*, 60(1): 101-111. DOI: <https://doi.org/10.1079/WPS20038>
- Vieira, S.L. (2007). Chicken embryo utilization of egg micronutrients. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 9: 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2007000100001>
- Yang, J., Liu, L., Sheikahmadi, A., Wang, Y., Li, C., Jiao, H., Lin, H. and Song, Z. (2015). Effects of corticosterone and dietary energy on immune function of broiler chickens. *PLoS One*, 10(3). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119750>
- Yin, J.D., Shang, X.G., Li, D.F., Wang, F.L., Guan, Y.F. and Wang, Z.Y. (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(2): 284-290. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00220>

Capítulo VI

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE NOPAL (FORRAJERO Y VERDURA) EN BASE FRESCA A LA DIETA DE GALLINAS DE POSTURA SOBRE CALIDAD DE HUEVO Y VIABILIDAD DEL POLLITO

Resumen

El objetivo fue evaluar el efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) forrajero y verdura en base fresca (BF) de cosecha tardía (90 días) a la dieta de gallinas bajo condiciones de traspatio sobre la calidad del huevo y del pollito al nacimiento. Se utilizaron 45 gallinas Rhode Island Red distribuidas en tres grupos: Testigo (GT), Nopal Forrajero (GNF) y Nopal Verdura (GNV). El nopal se incluyó al 2.17% en base seca. Se evaluaron parámetros de calidad interna y externa del huevo, perfil mineral del cascarón y calidad del pollito mediante la puntuación de Tona. La información recabada se analizó estadísticamente a través de modelos lineales generales y las diferencias entre grupos, réplicas y grupos x réplica, se obtuvieron a través de medias de mínimos cuadrados a un $\alpha=0.05$. El grupo GNF presentó un mayor ($p < 0.05$) peso de cáscara (5.6 g) e índice de cascarón en comparación con el GT (5.3 g). El contenido de calcio en el cascarón fue mayor en el GNF y GNV (33.8 y 32.8%, respectivamente) vs GT (30.5%). En calidad interna, el GNV mostró mayores ($p<0.05$) Unidades Haugh (83.6). No se encontró efecto de grupo sobre la calidad del pollito ($p>0.05$). No obstante, los grupos con nopal mostraron una tendencia superior en la puntuación de Tona (94.1) vs. GT (92.9) y reducción del 50% en pollitos de mala calidad: 6.3% para GNF y GNV vs 12.5% en GT. La inclusión de nopal forrajero y verdura con 90 días de edad mejora la mineralización del cascarón y preserva la integridad del albumen, lo que se refleja en una tendencia hacia una mejor calidad y uniformidad de los pollitos al nacimiento, representando una alternativa nutricional viable para el sistema de traspatio.

Palabras clave: *Opuntia ficus-indica*, avicultura familiar, calidad de cáscara, calcio, Unidades Haugh.

Introducción

Los sistemas de producción avícola familiar (SPAF) o de traspatio son fuente de alimentos (carne y huevo) e ingresos adicionales (venta de excedentes) para las familias de las zonas rurales de México; actividad que llevan a cabo principalmente las amas de casa, los niños y los adultos mayores (Juárez-Caratachea *et al.*, 2008; Cuca-García *et al.*, 2015). Estos sistemas se caracterizan por tener un núcleo pequeño de gallinas (6 - 30 gallinas) bajo una carencia de infraestructura y de tecnologías específicas para la especie que permitan la expresión del potencial productivo de la parvada (FAO, 2023).

La limitada inversión económica en el SPAF afecta negativamente indicadores críticos como la producción de huevo, eclosión y mortalidad de aves en etapas tempranas (Juaréz-Caratachea *et al.*, 2008). Respecto a la producción de huevo, se reportan tasas de ovoposición 12 a 15 huevos/gallina/mes (0.4 a 0.5 huevos/día) antes de que la gallina se enclueque (Cuca *et al.*, 2015) o ≤ 45 huevos/gallina/año. Pero, con la introducción de ejemplares mejorados genéticamente se ha logrado una mayor producción (12.0%) de huevos/gallina/año: > 50 huevos (Juaréz-Caratachea *et al.*, 2008; Galíndez *et al.*, 2012).

En indicadores de mortalidad, las investigaciones señalan tasas críticas ($\geq 50\%$) en pollitos post-nacimiento y en aves en crecimiento (46.1%), asociada principalmente a depredación y enfermedades (Lara *et al.*, 2003; Juárez-Caratachea *et al.*, 2008). Bajo este escenario, al no existir programas técnicos de selección, la sobrevivencia del sistema recae en la selección natural de remplazos de reproductores; es decir, la base de reposición reproductiva se limita a aquellos ejemplares que tuvieron la capacidad de sobrevivir y adaptarse a su entorno; es decir, ejemplares con viabilidad (Juarez-Caratachea *et al.*, 2015; Llamuca *et al.*, 2024).

Finalmente, en términos de incubabilidad, las gallinas suelen incubar entre 9 y 15 huevos (FAO, 2013), con eclosión del 60.7% (7 ± 3 pollitos/gallina) (Lara *et al.*, 2003). En cuanto viabilidad de pollito post-nacimiento en el SPAF, no se cuenta con información; pero, Espinoza-Canaza (2019) determinó que los pollitos de menor viabilidad generan $\approx 30\%$ de pérdidas económicas en los sistemas de producción. Aspecto por el cual, se han buscado estrategias para eficientar los sistemas de producción avícola, en donde el factor nutricional actualmente se ha posicionado como el principal objetivo de investigación (Vázquez *et al.*, 2006; Rosas y Lerdón, 2018).

El uso de insumos no convencionales -para la dieta de las gallinas- como el nopal (*Opuntia ficus-indica*) permitiría mejorar la nutrición de la parvada de los SPAF sin inversión económica extra (Juaréz-Caratachea *et al.*, 2008; FAO, 2013; Ortiz-Rodríguez *et al.*, 2021). Ello, debido al contenido de fibra y metabolitos secundarios de esta cactácea, mismos que provocan efecto hipocolesterolémico en los individuos que la consumen (Muñoz *et al.*, 2014; Martins *et al.*, 2023). Efecto que puede inducir la lipogénesis de *novo* en las gallinas y asegurar niveles adecuados de colesterol en el huevo fértil (Moran, 2007; Petersen y Shulman, 2018). Bajo este contexto teórico, se podría estar en condiciones de asegurar un mayor porcentaje de eclosión y viabilidad de los pollitos al nacimiento (Osorio y Flórez, 2011); puesto que el colesterol es vital para el desarrollo embrionario y supervivencia del pollito post-nacimiento (Jiang *et al.*, 1990).

Un elemento extra en el uso de insumos no convencionales como el nopal, es que, a pesar de sus bondades nutricionales, su composición química varía significativamente según su variedad y estado de madurez del cladodio (Guzmán-Loayza y Chávez, 2007; Vargas *et al.*, 2022). El nopal forrajero -utilizado en la alimentación animal- aporta mayor contenido de cenizas (23.7%), flavonoides (8.6 mgEQ/g) y fenoles totales (1.0 mg EAG/g) vs el nopal verdura: 19.8%, 1.2 mg EQ/g y 0.59 mg EAG/g, respectivamente. Aspecto que sugiere que la variedad forrajera presenta mayor contenido de minerales y una mayor capacidad antioxidante. Por otra parte, el nopal verdura en etapas tempranas -destinado al consumo humano- posee mayor concentración de fibra cruda (8.6%) y extracto libre de nitrógeno (61.0%) -compuestos que inciden en la síntesis de colesterol endógeno- vs el nopal forrajero: 7.3% y 57.4%, respectivamente (Galván, 2025). En este sentido, ambas variedades del nopal presentan compuestos que pueden mejorar tanto la calidad interna como externa del huevo, lo que puede mejorar la incubabilidad y viabilidad del pollito post-nacimiento.

No obstante, en las zonas productoras de nopal verdura se ha reportado un excedente de esta planta que no logra comercializarse (63%), el cual queda en el cultivo y es desechado posteriormente (López-Flores y Omaña-Silvestre, 2023). Por lo que, estos excedentes poseen un potencial nutricional aun no explotado en la avicultura de traspatio. Por ello, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la adición de nopal (forrajero y verdura) en base fresca a la dieta de gallinas de postura sobre calidad de huevo y viabilidad del pollito.

Material y Métodos

Ubicación del estudio y condiciones ambientales: la investigación se realizó en las instalaciones del sector avícola de la Unidad Posta perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), ubicada en el km 9.5 de la carretera Morelia-Zinapécuaro, municipio de Tarímbaro, Michoacán, entre las coordenadas 19°47'44'' de latitud Norte y 101°10'35'' de longitud Oeste, a una altura de 1864 msnm; con clima templado -temperatura entre 2.5 a 25.1°C- y lluvias en verano -precipitación anual de 609.0 mm- (INEGI, 2022).

Animales de experimentación y diseño de tratamientos: se utilizaron 45 gallinas de la raza Rhode Island Red de 48 semanas de edad (20 semanas de producción), con un peso promedio inicial de 2.4 ± 0.4 kg. Las aves se distribuyeron bajo un diseño completamente al azar en tres grupos (n=15 gallinas/Grupo), con tres repeticiones cada uno (n=5 gallinas/repetición): Grupo Testigo (GT): Alimentado con 600 g/día/corral (≈ 120 g/ave/día) de alimento convencional (AC) para gallinas de postura (Tabla 1); Grupo Nopal Forrajero (GNF), 600 g/día/corral de AC más 120 g/día/corral de nopal (*Opuntia ficus-indica*) forrajero en base fresca (BF), equivalente a 24 g/ave/día y Grupo Nopal Verdura (GNV), 600 g/día/corral de AC más 120 g/día/corral de nopal verdura en BF (≈ 24 g/ave/día). La inclusión de nopal (2.17 g en base seca) se calculó para representar el 1.0% del peso corporal de las aves.

Los cladodios de ambas variedades se cosecharon a una edad de 90 días para utilizar el nopal verdura de desecho comercial. Los cladodios fueron picados manualmente (3x3 mm) antes de su suministro.

Tabla 1. Composición y valor nutricional de la dieta[&] e insumos utilizados

Ingredientes, %	Dieta control (DC)	DC + NF*	DC + NV*
Maíz	64.65	62.75	62.75
Pasta de soya	23.00	23.00	23.00
Piedra caliza	8.55	8.35	8.35
Nopal	--	2.17	2.17
Fosfato dicalcio	1.35	1.30	1.30
Caolín	0.55	0.53	0.53
Aceite de soya	0.80	0.80	0.80
Minerales + vitaminas premezcla [#]	0.50	0.50	0.50
Sal (NaCl)	0.43	0.43	0.43
DL-metionina-98%	0.12	0.12	0.12

EFFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*O. ficus-indica*) A LA DIETA DE GALLINAS (*Gallus gallus domesticus*) SOBRE COLESTEROL (sérico y en huevo), PRODUCTIVIDAD, INCUBABILIDAD Y VIABILIDAD DEL POLLITO BAJO EL ESQUEMA DE AVICULTURA FAMILIAR

L-lisina-78%	0.03	0.03	0.03
Butilhidroxitolueno	0.02	0.02	0.02
Total	100.00	100.00	100.00
Análisis estimado			
Energía metabolizable, kcal/kg	2800	2801	2804
Proteína cruda, %	16.00	15.87	15.92
Fibra bruta, %	4.50	4.78	4.82
Calcio total, %	3.60	3.63	3.63
Fósforo total, %	0.40	0.41	0.41
Análisis calculado, Base seca		NF	NV
Energía metabolizable, kcal/kg		2840	2996
Materia seca, %		89.43	90.01
Proteína cruda, %		9.94	12.26
Fibra cruda, %		17.18	19.44
Extracto etéreo, %		1.04	0.54
Extracto libre de nitrógeno, %		35.48	31.67
Cenizas, %		27.02	27.09
Calcio total, %		5.13	4.87
Fósforo total, %		0.69	0.68

NF: nopal forrajero; NV: nopal verdura; & Las dietas se expresan en base seca. El nopal fresco ofrecido (24 g sobre 120 g de alimento) equivale a 2.17% de inclusión en BS; *Los valores de las dietas con nopal se estimaron por promedio ponderado a partir de la DC y de la composición del nopal. Para cada tratamiento se consideró una mezcla de 120 g de DC con 24 g de nopal en base fresca (masa total 144 g). La composición del nopal, reportada en base seca, se convirtió previamente a base fresca usando sus contenidos de materia seca. Las concentraciones finales (%) y la energía metabolizable (kcal/kg) se obtuvieron como promedios ponderados por masa de los componentes; #Niveles por Kg de dieta: Vit. A – 8000 UI; Vit. D3 – 2000 UI; Vit. E – 50 mg; Vit. K – 3 mg; Vit. B1 – 1.5 mg; Vit. B2 – 4 mg; Vit. B6 – 0.12 mg; Vit. B12 – 15 mg; Ac. Fólico – 0.6 mg; Ac. Pantoténico – 10 mg; Niacina – 30 mg; Biotina – 0.1 mg; Colina – 300 mg; Hierro – 50 mg; Cobre – 10 mg; Zinc – 70 mg; Manganeseo – 100 mg; Iodo – 1 mg; Selenio – 0.3 mg; Antioxidantes 50 mg.

Manejo experimental e incubación: las aves fueron alojadas en corrales de 3.0 m² con cama de tierra y ventilación natural. Los corrales fueron construidos con malla para gallinero. Cada corral contó con bebederos automáticos tipo campana (MSBEBF5, Novatec Pagani, México) y comederos de lámina galvanizada semiautomáticos tipo tolva (MSBEBF5, Novatec Pagani, México). Este diseño ofrece la validez externa del SPAF porque reproduce las condiciones operativas reales (limitaciones de insumos, jerarquía social, variabilidad en acceso al comedero/bebedero) que determinan la variabilidad individual de consumo y respuesta metabólica en dicho sistema (FAO, 2013; Barocio-Urue *et al.*, 2017; Juárez-Caratachea *et al.*, 2008)

La fase experimental se ejecutó en dos réplicas, cada una dividida en cuatro etapas consecutivas: Adaptación a las dietas (1 semana); Reproducción: 1 macho por cada 5

hembras (una semana); Selección e incubación de huevo fértil (cuatro semanas) y Evaluación de efecto residual -retiro de nopal- (una semana).

La proporción diaria de nopal/grupo (forrajero y verdura) se ofreció mezclado con 1/3 de la proporción de AC a las 8:00 h, para verificar consumo y rechazo del nopal; el resto del AC se ofreció (14:00 h) una vez pesado el rechazo de nopal -forrajero o verdura- de la primera porción de alimento suministrado. El suministro de agua de bebida fue *ad libitum*.

Los cladodios de nopal forrajero fueron cosechados a una edad de 90 días en la parcela experimental ubicada en la Trinidad de los Ángeles, Guanajuato con coordenadas: 20.19694 N y 101.69861 O, a una altura de 2140 msnm, con temperaturas mínimas de 7°C y máximas de 30°C (INEGI, 2017). Mientras que los cladodios de nopal verdura fueron cosechados a una edad ≥ 90 días de una parcela comercial ubicada en la comunidad de La Concepción, municipio de Morelia, Michoacán, a una altura promedio de 2150 msnm, entre las coordenadas 19°42'N 101°18'O; con un clima templado (temperatura anual de 16 a 19°C) (INEGI, 2022).

El objetivo de cosechar cladodios de nopal verdura de edad mayor a lo recomendado para su consumo humano (Maki-Díaz *et al.*, 2015) fue para utilizar dichos cladodios -considerados como desecho- en la alimentación animal. Una vez cosechados los cladodios de nopal fueron llevados al sector de aves de la Posta-FMVZ en donde fueron finamente ficados (3 x 3 mm) para ser suministrado a las gallinas.

La selección de los huevos para incubación se realizó de acuerdo con lo establecido por Abad *et al.* (2019). Estos fueron desinfectados mediante una solución yodada -de 5ml de yodo solución/1 L de agua pura- e incubados durante 21 días en una incubadora® automatizada (capacidad de 270 huevo), el control de la temperatura se fijó a 37.5 ± 0.5 °C y la humedad a 55-60%. Los huevos fértiles seleccionados fueron desinfectados - e incubados durante 21 días en una incubadora automatizada con una temperatura de 37.5 ± 0.5 °C y una humedad relativa de 55 a 60%.

Variables evaluadas: las variables evaluadas/grupo/semana fueron: calidad de huevo; peso de huevo (PesHvo), peso del cascarón (PesCas), índice de cascarón (ICas), espesor de cascarón (EspCas), peso de albumen (PesAlb), peso de yema (PesYem), diámetro de albumen

(DiamAlb), diámetro de yema (DiamYem), altura de albumen (AltAlb), pigmentación de yema (PigmYem) y unidades Haugh (UH). Mientras que las variables evaluadas/grupo/etapa fueron: calidad del pollito (CPoll); contenido de minerales en cascarón de huevo: calcio (Cal), azufre (S), magnesio (Mg), fósforo (P), potasio (K), cloro (Cl) y estroncio (Sr).

Los pesos (g) de: huevo, cascarón, clara y yema se obtuvieron mediante una báscula Rhino® BAPRE-3 con una precisión de 0.2 g. La AltAlb, el DiamAlb y el DiamYem se midieron con un vernier digital Truper® 14388 con una precisión de 0.01 mm. El EspCas se obtuvo por medio de un micrómetro de mano Mitutoyo® 7310 con una precisión de 2 µm. Para la determinar de la PigYem se utilizó el abanico Roché (Ovocolour BASF D-6700). El ICas y las UH se determinaron mediante las siguientes ecuaciones:

$$UH = 100 \log[(H + 7.57) - 1.7 (W)^{0.37}]$$

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

Donde:

H= altura de la clara (mm)

W= peso del huevo (g)

La CPoll fue evaluada de acuerdo con la metodología descrita por Tona *et al.* (2003); para lo cual se consideró: reflejos, apariencia, cierre de ombligo, condición de las patas, aspecto de ojos y presencia de membrana y/o yema. Además, la CPoll fue clasificada de acuerdo a la puntuación obtenida: >95 puntos, excelente; 90-95, buena; 80-89, regular y <80 mala. Para el caso del contenido de calcio en cascarón, este se determinó a través de la prueba de absorción atómica, mediante la metodología descrita por Dávila y Gallegos (2016). Mientras que el resto de los minerales analizados se estimaron por medio de la prueba de fluorescencia por rayos X, utilizando para ello la metodología establecida por Morales-Morales *et al.* (2019).

La información recopilada se analizó estadísticamente a través de la metodología de modelos lineales generales (GLM, siglas en inglés) (SAS, 2000). Las diferencias entre Grupos, Etapas

y Grupos x Etapas, se obtuvieron a través de medias de mínimos cuadrados (Lsmeans, siglas en inglés) a un $\alpha=0.05$ (SAS, 2000).

Resultados

De acuerdo con los resultados, específicamente con los indicadores de calidad de huevo (Tabla 2), únicamente se encontró efecto ($p<0.05$) de Grupo sobre la pigmentación de la yema. Pero, se observó variación en los resultados de la interacción grupo*etapa experimental ($p<0.05$).

Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para los indicadores de calidad de huevo y contenido de minerales en cascarón de acuerdo con el grupo y la etapa de la fase experimental

	Replica 1			Replica 2			
	Grupos			Grupos			
Indicador	Testigo	Nopal Forrajero	Nopal Verdura	Testigo	Nopal Forrajero	Nopal Verdura	E.E.
Peso de huevo (g)	59.1 ^{a1}	59.0 ^{a1}	58.8 ^{a1}	59.0 ^{a1}	60.1 ^{a1}	58.7 ^{a1}	0.7788
Peso de cascarón (g)	5.1 ^{a1}	5.3 ^{a1}	5.2 ^{a1}	5.3 ^{a1}	5.6 ^{b2}	5.3 ^{a1}	0.0999
Índice de cascarón (%)	8.7 ^{a1}	8.9 ^{a1}	8.8 ^{a1}	9.0 ^{a1}	9.4 ^{a1}	9.0 ^{a1}	0.1563
Espesor de cascarón (µm)	39.4 ^{a1}	39.9 ^{a1}	41.1 ^{a1}	51.1 ^{a2}	52.9 ^{a2}	51.1 ^{a2}	1.0099
Peso albumen (g)	32.5 ^{a1}	34.0 ^{a1}	32.8 ^{a1}	33.1 ^{a1}	34.8 ^{a1}	33.1 ^{a1}	0.6353
Peso yema (g)	18.3 ^{a1}	17.6 ^{a1}	18.2 ^{a1}	18.4 ^{a1}	18.0 ^{a1}	18.7 ^{a1}	0.2980
Diámetro albumen (mm)	94.0 ^{a1w}	91.7 ^{a1}	89.3 ^{a1}	100.5 ^{a2}	99.0 ^{a2}	96.2 ^{a2}	1.8525
Diámetro yema (mm)	42.6 ^{a1}	42.2 ^{a1}	42.4 ^{a1}	42.7 ^{a1}	41.9 ^{a1}	42.6 ^{a1}	0.3192
Altura albumen (mm)	6.3 ^{a1}	6.8 ^{a1}	6.8 ^{a1}	5.3 ^{a2}	5.2 ^{a2}	6.2 ^{b1}	0.2381
Pigmentación de la yema	9.0 ^{a1}	8.8 ^{a1}	9.2 ^{a1}	9.5 ^{a2}	9.2 ^{a1}	9.3 ^{a1}	0.1687
Unidades Haugh	83.7 ^{a1}	84.0 ^{a1}	83.9 ^{a1}	83.2 ^{a2}	83.1 ^{a2}	83.6 ^{b1}	0.1270
Grupos independientemente de la replica							
Minerales	Testigo		Nopal Forrajero		Nopal Verdura		E.E.
Calcio (%)	30.5 ^a		33.8 ^b		32.8 ^b		0.0081
Azufre (%)	0.520 ^a		0.501 ^a		0.603 ^a		0.0286
Magnesio (%)	0.208 ^a		0.227 ^a		0.223 ^a		0.0077
Fósforo (%)	0.345 ^a		0.350 ^a		0.339 ^a		0.0129
Potasio (%)	0.243 ^a		0.236 ^a		0.269 ^a		0.0195
Cloro (%)	0.264 ^a		0.253 ^a		0.279 ^a		0.0248
Estroncio (ppm)	304.5 ^a		320.8 ^a		242.2 ^a		27.090

Literales ^{a, b} indican diferencias ($p<0.05$) entre grupos dentro de la etapa

Numerales ^{1, 2} indican diferencias ($p<0.05$) entre etapas dentro de grupo

En la 1ª Etapa, no se encontraron diferencias ($p < 0.05$) entre los tratamientos (GT, GNF y GNV). Mientras que, en la 2ª Etapa, el peso de la cáscara (5.6 g) fue mayor en GNF ($p<0.05$) vs GNV y GT, ambos con promedios similares ($p>0.05$): 5.3 g. Pero, el espesor de la cáscara se incrementó entre 24.3% y 32.6% en los grupos analizados al pasar de la primera a la

segunda replica ($p < 0.05$). En contraste, el promedio de UH fue mayor ($p < 0.05$) en el GNV (83.6) vs GNV y GT (83.1 y 83.2, respectivamente).

En lo referente a la cuantificación de minerales en la cáscara, independientemente de la réplica, no se encontró efecto de Grupo ($p > 0.05$) sobre el contenido de S, Mg, P, K, Cl y Sr. Pero si, se observó efecto de Grupo sobre el contenido de Calcio; el GNF (33.8%) y el GNV (32.8%) mostraron mayor concentración de este mineral ($p < 0.05$) en comparación con el GT (30.5%).

Tabla 3. Frecuencias y porcentajes de los indicadores de calidad del pollito al nacimiento de acuerdo con el grupo

Indicador		Grupos					
		Testigo		Nopal Forrajero		Nopal Verdura	
				Frec	%	Frec	%
	Clasificación	Frec	%	Frec	%	Frec	%
Peso	< 38 g	2.0	6.3	5.0	15.6	2.0	6.3
	38 a 42 g	6.0	18.8	9.0	28.1	6.0	18.8
	> 42 g	24.0	75.0	18.0	56.3	24.0	75.0
Actividad	Buena	29.0	90.6	30.0	93.8	29.0	90.6
	Débil	3.0	9.4	2.0	6.3	3.0	9.4
Apariencia	Limpia y seca	27.0	84.4	24.0	75.0	25.0	78.1
	Limpia y húmeda	5.0	15.6	6.0	18.8	7.0	21.9
	Sucia y húmeda	--	--	2.0	6.3	--	--
Abdomen	Reducido y suave al tacto	30.0	93.8	31.0	96.9	31.0	96.9
	Abultado y duro al tacto	2.0	6.3	1.0	3.1	1.0	3.1
Ojos	Abiertos y brillantes	29.0	90.6	32.0	100.0	31.0	96.9
	Entreabiertos y no brillantes	3.0	9.4	--	--	1.0	3.1
	Cerrados	--	--	--	--	--	--
Patas y/o dedos	Patas y dedos normales	29.0	90.6	25.0	78.1	25.0	78.1
	Una pata afectada	2.0	6.3	4.0	12.5	5.0	15.6
	Dos patas afectadas	1.0	3.1	3.0	9.4	2.0	6.3
Ombigo	Completamente cerrado y limpio	24.0	75.0	28.0	87.5	27.0	84.4
	No completamente cerrado y de color anormal	7.0	21.9	4.0	12.5	5.0	15.6
	No cerrado y de color anormal	1.0	3.1	--	--	--	--
Membrana restante	No membrana	22.0	68.8	28.0	87.5	26.0	81.3
	Membrana pequeña	7.0	21.9	2.0	6.3	3.0	9.8
	Membrana grande	--	--	1.0	3.1	3.0	9.8
	Membrana muy grande	3.0	9.4	1.0	3.1	--	--
	No yema	32.0	100.0	32.0	100.0	32.0	100.0

EFFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*O. ficus-indica*) A LA DIETA DE GALLINAS (*Gallus gallus domesticus*) SOBRE COLESTEROL (sérico y en huevo), PRODUCTIVIDAD, INCUBABILIDAD Y VIABILIDAD DEL POLLITO BAJO EL ESQUEMA DE AVICULTURA FAMILIAR

Yema restante	Yema pequeña	--	--	--	--	--	--
	Yema grande	--	--	--	--	--	--
	Yema muy grande	--	--	--	--	--	--
Puntuación de Tona		92.9 ^a		94.1 ^a		94.1 ^a	

Literales ^{a, b} indican diferencias (p<0.05) entre grupos dentro de la etapa; Frec=Frecuencia

En el caso de los resultados de la calidad del pollito (Tabla 3), no se encontró (p >0.05) efecto del Grupo sobre los indicadores evaluados. Sin embargo, se observó una tendencia biológica superior en los pollitos provenientes de huevos del GNF y GNV; estos presentaron mayor porcentaje de abdomen reducido y suave (96.9%) vs GT (93.8%). De igual manera, mostraron mejor cicatrización umbilical (84.4 a 87.5% de ombligos cerrados y limpios) y menor incidencia de membranas restantes (81.3 a 87.5%) vs GT (75.0 y 68.8%, respectivamente). Resultados que se reflejaron en la puntuación de Tona: GNF y GNV alcanzaron 94.1 puntos vs GT (92.9 puntos).

En lo referente a la clasificación de calidad del pollito (Tabla 4), también se observaron tendencias consistentes en las dos réplicas de la fase experimental: durante la 1ª replica, el GT mostró mayor porcentaje de pollitos dentro de la categoría "excelente" (62.5%) en comparación con los pollitos provenientes del GNF y GNV (56.3%), el mismo fenómeno para pollitos de "mala" calidad (12.5% en el GT vs 6.3% en GNF y GNV). Pero, los pollitos de los grupos forrajero y verdura presentaron mejores resultados (%) en las categorías intermedias (6.3% más de pollitos en las clasificaciones "buena" y "regular") en comparación con el GT. Patrón de distribución que se mantuvo de manera similar en la 2ª replica. Lo que reafirma la estabilidad de los resultados a lo largo del periodo experimental.

Tabla 4. Porcentajes de la calidad del pollito al nacer de acuerdo con la clasificación, el grupo y la etapa de la fase experimental

Clasificación	Replica 1				Replica 2			
	Grupos				Grupos			
	Testigo	Nopal Forrajero	Nopal Verdura	Todo	Testigo	Nopal Forrajero	Nopal Verdura	Todo
Excelente	62.5	56.3	56.3	58.3	75.0	62.5	56.3	64.6
Buena	12.5	18.8	18.8	16.7	6.3	12.5	18.8	12.5
Regular	12.5	18.8	18.8	16.7	6.3	18.8	18.8	14.6
Mala	12.5	6.3	6.3	8.3	12.5	6.3	6.3	8.3

Discusión

La calidad del pollito está determinada por diversos factores, tales como: la temperatura y humedad ambiental durante la incubación, el peso y calidad de huevo fértil; este último influenciado por la nutrición y edad de la gallina (Tona *et al.*, 2003; Beissinger *et al.*, 2005). Aspecto que explica el comportamiento de la presente investigación, puesto que la adición de nopal a la dieta de gallinas de postura permite cubrir su requerimiento de calcio (4.2 g/gallina/día) (Valdés-Narváez *et al.*, 2011).

Los indicadores de calidad de huevo (Tabla 2) revelaron una estabilidad inicial (1ª replica); en este sentido, conforme avanzó la etapa experimental se pudo observar el efecto de la suplementación con nopal ($p < 0.05$) y ello, sugiere que las gallinas requirieron de un periodo de adaptación metabólica para optimizar la digestión y asimilación de los compuestos bioactivos del nopal, antes de manifestar cambios en la calidad del huevo, tal como se observó en la 2ª replica: incremento la calidad externa del huevo ($p < 0.05$) en el grupo GNF (Tabla 2). Aspecto que sugiere que el nopal forrajero posee mejor biodisponibilidad de calcio en comparación con cladodios de nopal verdura de 90 días de edad.

El aporte de calcio del nopal tiende a ser mayor en el nopal forrajero respecto al nopal verdura a 90 días de edad (5.1 y 4.9%, respectivamente; Tabla 1). Concentraciones que pudieran cubrir la alta demanda fisiológica durante la formación del cascarón, el cual se compone aproximadamente de un 98% de carbonatos de calcio (Reynolds *et al.*, 2004; Safaa *et al.*, 2008). Además, es posible que la madurez del nopal a los 90 días optimice no sola la velocidad de tránsito del bolo alimenticio sino también, la absorción de minerales en el duodeno y su posterior depósito en el útero (Sousa *et al.*, 2024).

Por otro lado, la mejoría en las Unidades Haugh (Tabla 2) -observada en los huevos de las gallinas del grupo GNV- sugiere que el perfil de carbohidratos solubles y mucílagos del nopal verdura a una edad de 90 días (cosecha tardía) ejerció un efecto protector sobre las proteínas del albumen, preservando la viscosidad de la clara (Medina-Torres *et al.*, 2017). Finalmente, el hallazgo más relevante, el incremento de calcio en la cáscara del huevo en el GNF y GNV (Tabla 2), sugiere que la riqueza de este mineral en el nopal (forrajero y verdura) puede garantizar las reservas de calcio biodisponible (Juárez-Caratachea *et al.*, 2024) para la futura

mineralización esquelética del embrión y, a su vez, mejorar la viabilidad post-nacimiento del pollito (Moran, 2007) en el SPAF.

La tendencia hacia una mejor calidad del pollito en los grupos GNF y GNV (Tabla 3) puede explicarse por la sinergia entre la calidad interna del huevo y el perfil mineral de la cáscara, tal como se observó en esta investigación (Tabla 2): los grupos que consumieron nopal como parte de su dieta presentaron una concentración de calcio mayor ($p < 0.05$), lo cual es determinante durante los últimos días de incubación. Una cáscara mineralmente densa no solo provee protección mecánica, sino que actúa como la principal reserva de calcio para el desarrollo del esqueleto embrionario (Moran, 2007).

Asimismo, la mayor integridad del albumen (Unidades Haugh) y la disponibilidad de nutrientes derivados de la dieta con nopal (rica en fibra cruda; Tabla 1) pudieron favorecer una absorción del saco vitelino más eficiente, lo que se puede traducir fisiológicamente en un porcentaje alto de pollitos con abdómenes reducidos y suaves, así como ombligos mejor cicatrizados (Tabla 3), indicadores clave para un proceso de incubación exitoso y con pollitos de mayor viabilidad al nacimiento (Tona *et al.*, 2003). Estos hallazgos sugieren que, el nopal forrajero o verdura con 90 días de edad optimiza las condiciones de desarrollo embrionario.

Finalmente, la distribución de la calidad del pollito observada (Tabla 4) -acorde a la clasificación establecida-, sugiere que la integridad estructural del huevo no solo es importante para el éxito de la incubación, también lo es, para la calidad del pollito al nacimiento. Por lo que, los resultados del GT, específicamente en el porcentaje de pollitos con clasificación de “mala calidad” (12.5%) en ambas replicas, se puede atribuir a la menor calidad externa del huevo, observada en este grupo: menor espesor, peso reducido y un menor contenido de calcio (Tabla 2) en comparación con el GNF y GNV.

De acuerdo con Gandarillas (2008) e Hidalgo *et al.* (2021), una menor calidad de la cáscara del huevo incrementa el riesgo de un desarrollo embrionario inadecuado y, en consecuencia, una baja viabilidad post-nacimiento. Una menor deposición de calcio en la cáscara de huevo lo hace más susceptible a micro-fisuras, mismas que permiten la entrada de agentes contaminantes. Además, la integridad de esta estructura es vital para el intercambio de oxígeno y bióxido de carbono entre la sangre del embrión y el medio ambiente.

Un intercambio gaseoso deficiente provocado por un huevo con una estructura mineral (cáscara) subóptima puede derivar en anormalidades, lentitud en el desarrollo y debilidad embrionaria (Prado-Rebolledo *et al.*, 2021). Así, las dietas para gallinas bajo el SPAF adicionas con nopal favorecen la formación de la cáscara con mayor contenido de calcio, reduciendo el porcentaje de pollitos de mala calidad (Tabla 4). Por lo tanto, el uso de nopal de 90 días no solo mejora la apariencia externa del huevo, sino que garantiza el ambiente fisiológico necesario para maximizar el vigor y la calidad sanitaria de la progenie.

Conclusión

La adición de nopal (forrajero o verdura) -a una edad de 90 días- a la dieta de las gallinas es una estrategia nutricional viable para mejorar la calidad externa e interna del huevo en sistemas de producción avícola de traspatio. Puesto que, el uso de cualquiera de estas variedades (forrajero y verdura) como parte de la dieta de las gallinas permite incrementar la deposición de calcio en la cáscara del huevo. En términos prácticos, el aprovechamiento del nopal forrajero y los excedentes de nopal verdura de cosecha tardía representa una alternativa de bajo costo y alto valor funcional. Esta suplementación reduce a la mitad la incidencia de pollitos de mala calidad y, en consecuencia, optimiza la uniformidad, vigor y viabilidad del pollito al nacer.

Bibliografía

- Abad, J. C., Sabia, J., Novoa, S., Frikha, M., Guerra, C. y Muñoz, J. (2019). Clasificación de los huevos incubables de las reproductoras. *aviNews*. 38, 73-80.
- Barocio-Urue, J.N., Juárez-Caratachea, A., Gutiérrez-Vázquez, E., Pérez-Sánchez, R.E. and Ortiz-Rodríguez, R. (2017). Effect of diet on live weight and egg weight of backyard hens during the rainy season. *Austral Journal of Veterinary Sciences*, 49(2): 91-98. <https://doi.org/10.4067/S0719-81322017000200091>
- Beissinger, S.R., Cook, M.I. and Arendt, W.J. (2005). The shelf life of bird eggs: testing egg viability using a tropical climate gradient. *Ecology*, 86(8): 2164-2175. <https://doi.org/10.1890/04-1624>
- Cuca-García, J. M, Gutiérrez-Arena, D. A. y López-Pérez, E. (2015). La avicultura de traspatio en México: historia y caracterización. *Agroproductividad*. 8(4): 30-36.
- Dávila, P. y Gallegos, R. (2016). Determinación de sodio, potasio, hierro, zinc y calcio en tres leguminosas: garbanzo, soya y maní, por espectrofotometría de absorción atómica de llama. *infoANALÍTICA*, 4(1): 9-19.
- Espinoza-Canaza, F. (2019). Construcción y evaluación del funcionamiento de un prototipo de incubadora para usos múltiples, Chachapoyas, 2018 [Construction and evaluation

- of the operation of a prototype of an incubator for multiple uses, Chachapoyas, 2018]. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*. 2(1): 26 - 32.
- Gandarillas, E.D. (2008). Estudio del efecto, tamaño, peso del huevo sobre la incubabilidad de broilers. *Ciencia & Desarrollo*. 12, pp. 53-56.
- Galíndez, R., Peña, I., Albarran, A. y Prospert, J. (2012). Producción de huevos y fertilidad en cuatro líneas de gallinas reproductoras venezolanas. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 38: 123-131.
- Galván, M. S. (2025). Efecto de la biofertilización y del proceso de extrusión del nopal verdura y forrajero (*Opuntia ficus-indica*) sobre sus características bromatológicas, fitoquímicas y morfológicas (Tesis de Maestría). Facultad de Químico Farmacobiología. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.
- Gutiérrez-Arenas, D. A., Cuca-García, J. M., Pró-Martínez, A., Becerril-Pérez, C. M. y Figueroa-Velasco, J. L. (2013). Niveles de calcio y fósforo disponible en gallinas durante 48 semanas en postura. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 4(4): 435-446.
- Guzmán-Loayza, D. and Chávez, J. (2007). Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(1): 41-45.
- Hidalgo, J.S.V., Moposita, D.A.M. and Naveda, N.R.O. (2021). Parámetros productivos en la incubación de huevos considerados como no aptos procedentes de reproductoras pesadas. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 6(12), pp. 488-503.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). Anuario estadístico y geográfico del Estado de Guanajuato. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2012/70282509146.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). Aspectos Geográficos: Michoacán de Ocampo. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463913009.pdf
- Jiang, Z., Cherian, G., Robinson, F. E., & Sim, J. S. (1990). Effect of feeding cholesterol to laying hens and chicks on cholesterol metabolism in pre- and posthatch chicks. *Poultry Science*, 69(9), 1694–1701. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.0691694>
- Juárez-Caratachea, A., Ortiz-Rodríguez, R., Pérez-Sánchez R.E., Gutiérrez-Vázquez, E. y Val-Arreola, D. (2008). Caracterización y modelación del sistema de producción avícola familiar. *Livestock Research for Rural Development*, 20(2): 13.
- Juárez, A., Gutiérrez, E., Villalba, C. and Ordaz, G. (2024). Effects of Cactus Flour (*Opuntia ficus-indica*) on Productive Performance and Eggshell Quality of Laying Hens. *Journal of World's Poultry Research*, 14(4): 351-360. DOI: <https://dx.doi.org/10.36380/jwpr.2024.36>
- Lara, L.L.H., Merino, G.C., González, Q.J., Sánchez, R.J.F. y Juárez, C.A. (2003). Diagnóstico de la avicultura familiar en el municipio de Penjamillo, Michoacán.

- Memoria XIV Encuentro de Investigación Veterinaria y Producción Animal. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. Pp. 194-197.
- Llamuca, L., Llamuca, M. y Intriago, V. (2024). Efecto de la edad de gallinas reproductoras en la incubabilidad y calidad del pollito bb: Una revisión. *Revista Científica Arbitrada en Investigaciones de la Salud GESTAR*, 7(14): 184-204.
- López-Flores, M. M. y Omaña-Silvestre, J. M. (2023). Modelo de desarrollo para el aprovechamiento de nopal verdura en Milpa Alta, Ciudad de México. *Agricultura, Sociedad Y Desarrollo*, 20(4): 408-424. DOI: <https://doi.org/10.22231/asyd.v20i4.1417>
- López-Palacios, C., Peña-Valdivia, C.B., Reyes-Agüero, J.A. y Rodríguez-Hernández, A.I. (2012). Efectos de la domesticación sobre polisacáridos estructurales y fibra dietética en nopalitos (*Opuntia spp.*). *Recursos genéticos y evolución de cultivos*, 59(6): 1015-1026.
- Maki-Díaz, G., Peña-Valdivia, C. B., García-Nava, R., Arévalo-Galarza, M. L., Calderón-Zavala, G. y Anaya-Rosales, S. (2015). Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional. *Agrociencia*, 49(1): 31-51. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000100003
- Martins, M., Ribeiro, M. H. and Almeida, C. M. (2023). Physicochemical, Nutritional, and Medicinal Properties of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. and Its Main Agro-Industrial Use: A Review. *Plants*. 12(7): 1512.
- Medina-Torres, L., Calderas, F., Nuñez Ramírez, D. M., Herrera-Valencia, E. E., Bernad Bernad, M. J. and Manero, O. (2017). Spray drying egg using either maltodextrin or nopal mucilage as stabilizer agents. *Journal of Food Science and Technology*, 54(13): 4427-4435.
- Morales-Morales, A. E., Andueza-Noh, R. H., Márquez-Quiroz, C., Benavides-Mendoza, A., Tun-Suarez, J. M., González-Moreno, A. y Alvarado-López, C. J. (2019). Caracterización morfológica de semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata L. Walp*) de la Península de Yucatán. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6(18): 463-475.
- Moran, E. T. 2007. Nutrition of the Developing Embryo and Hatchling, *Poultry Science*. 86(5): 1043-1049.
- Muñoz, L., Díaz, Y., González, C., Medina, E. y Cardona, E. (2014). Efecto de la administración oral de nopal deshidratado sobre el perfil de lípidos en individuos con dislipidemia y sobrepeso/obesidad. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 1(1): 149-160.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2013). Revisión del Desarrollo Avícola. Pp. 1-4.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2023). Producción y productos avícolas. Disponible en: <https://www.fao.org/poultry-production-products/production/es/>
- Ortiz-Rodríguez, R., Ordaz-Ochoa, G., García-Saucedo, P. A. y Pérez-Sánchez, R. E. (2021). El nopal (*Opuntia ficus-indica*) como complemento de la dieta de cerdas lactantes sobre los niveles de glucosa sérica y consumo de alimento durante la fase de lactancia. *Opuntia*. Pp. 58-64.

- Osorio, J. H., y Flórez, J. D. (2011). Diferencias bioquímicas y fisiológicas en el metabolismo de lipoproteínas de aves comerciales. *Biosalud*. 10(1): 88-98.
- Petersen, M. C. and Shulman, G. I. (2018). Mechanisms of Insulin Action and Insulin Resistance. *Physiological Reviews*. 98(4): 2133-2223.
- Reynolds, S. J., Mänd, R. and Tilgar, V. (2004). Calcium supplementation of breeding birds: Directions for future research. *Ibis*. 146(4), 601–614.
- Rosas, N.A. and Lerdon, F.J. (2018). Factibilidad de un proyecto avícola para producción de huevos bajo sistema free-range en el sur de Chile. *Idesia (Arica)*, 36(3): 131-140. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018000300015>
- Rodríguez-García, M. E., de Lira, C., Hernández-Becerra, E., Cornejo-Villegas, M. A., Palacios-Fonseca, A. J., Rojas-Molina, I., Reynoso, R., Quintero, L. C, Del-Real, A., Zepeda, T. A, Muñoz-Torres, C. (2007). Physicochemical characterization of nopal pads (*Opuntia ficus indica*) and dry vacuum nopal powders as a function of the maturation. *Plant Foods Hum Nutr*, 62(3): 107-12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11130-007-0049-5>
- Safaa, H., Serrano, M., Valencia, D., Frikha, M., Moreno, E. y Mateos, G. (2008). Productive performance and egg quality of Brown egg-laying hens in the late phase of production as influenced by level and source of calcium in the diet. *Poultry Science*. 87: 2043-2051.
- Sousa, I. S., Bezerra, R. M., Silva Filho, E. C., Bezerra, L. R., Edvan, R. L., Lima, S. B. P., Lopes, E. C., Carvalho, F. L. A., Moura, F. A. S., Souza, G. I. and Dourado, L. R. B. (2024). Use of Cactus Pear Meal in the Feeding of Laying Hens in Semi-Intensive System. *Animals*, 14(4): 625. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani14040625>
- Statistical Analysis System Institute (SAS). (2000). Guide for personal computers. Version 8.
- Tona, K., Bamelis, De Ketelaere, B., Bruggeman, V., Moraes, V.M., Moraes, B., Buyse, J., Onagbesan, O. and Decuypere, E. (2003). Effects of egg storage time on spread of hatch, chick quality, and chick juvenile growth. *Poultry science*, 82(5): 736-741. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/82.5.736>
- Valdés-Narváez, V. M., Cuca-García, M., Pro-Martínez, A., González-Alcorta, M. y Suárez-Oporta, M. E. (2011). Producción de huevo, calidad del cascarón y rentabilidad en gallinas de primer ciclo con niveles de calcio y fósforo disponible. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 2(1), 69-83.
- Vargas, S. S. V., Rodríguez, G. F., Martínez, V. R., Campos, M. R., Hurtado S.M.A, Muthuswamy P.J. (2022). Chemical composition of pear cactus mucilage at different maturity stages. *Agrociencia*, 56(2): 126-150.
- Vázquez, J.L., Prado, O.F., García, L.J. and Juárez, M.A. (2006). Edad de la reproductora sobre la incubabilidad y tiempo de nacimiento del pollo de engorda. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 10(1): 21-28.

Capítulo VII

DISCUSIÓN GENERAL

En la actualidad los sistemas de producción avícolas familiares (SPAF) son considerados como una alternativa para aseverar la seguridad alimentaria (Alders and Pym, 2009). Puesto que, dichos sistemas proporcionan proteínas de origen animal (carne de pollo y huevo para plato) de calidad y a un bajo costo para las familias de comunidades rurales con un rezago económico (Wong *et al.*, 2017). Sin embargo, los SPAF presentan una baja productividad comparado con los esquemas de producción de los sistemas semi-intensivos e intensivos, lo cual se atribuye a la escasa o nula inversión de capital en alimentación, infraestructura y tecnologías propias para la especie (Toapanta *et al.*, 2019). Aspecto por el cual, los SPAF son susceptibles a factores tanto externos como internos que inciden sobre el desempeño productivo de las aves (Alders *et al.*, 2018).

En este sentido, en el Capítulo I de la presente investigación se establecieron -a través de una revisión documental- los factores (externos e internos) que inciden sobre la incubabilidad y viabilidad del pollito en los SPAF, al considerar estos dos indicadores como puntos críticos para la productividad de dichos sistemas (Borbolla-Pérez *et al.*, 2024). Siendo así, que se estableció como uno de los principales factores externos que inciden sobre la productividad de las aves, al constante cambio ambiental, ya que el éxito de la incubación recae en la capacidad de las aves para mantener la temperatura (37.8°C), humedad (55-60%) y ventilación -para el intercambio gaseoso- requerida para dar inicio y mantener el desarrollo embrionario (Decuypere and Bruggeman, 2007).

Sin embargo, los SPAF son considerados sistemas en paralelo, en donde el hombre no interfiere en los procesos fisiológicos de las gallinas, por ello la dificultad de mantener las condiciones adecuadas durante la incubación, ya que dicho proceso se lleva a cabo específicamente por las aves sin involucrar la implementación de tecnologías -incubadoras automatizadas-. Ante dicha problemática, se han buscado estrategias que permitan mejorar la productividad de los SPAF sin provocar que este migre a otro tipo de sistema tal como se describen en el Capítulo I.

Por otra parte, otro factor externo que influye en la productividad de los SPAF es la susceptibilidad a la presencia de depredadores y enfermedades -debido a la falta de espacios específicos para las aves y el uso de medicina preventiva-, lo cual provoca una alta mortalidad durante el crecimiento de las aves (Muñoz-Gómez *et al.*, 2025), lo que obliga a los productores a adquirir los remplazos mediante mercados locales y/o apoyos gubernamentales (FAO, 2014). Aspecto que, provoca una baja uniformidad de la parvada, misma que influye en el crecimiento y posteriormente en el inicio de su ciclo productivo -comportamiento observado en el Capítulo II: Tabla 2 y Tabla 4- (Siswantoro *et al.*, 2023).

Aunado a lo antes descrito, los animales adquiridos como remplazos son sometidos a una dieta deficiente -basada en el suministro de granos, desechos de cocina, herbáceas e insectos recolectados por la propia gallina-, lo que de acuerdo con Nóbrega *et al.* (2022) limita el crecimiento adecuado del ave, ya que no se cubren los requerimientos nutricionales de las gallinas y esto influye en la edad al inicio del ciclo productivo, puesto que las gallinas no cuentan con las reservas corporales suficientes para llevar a cabo su mantenimiento y la producción de huevo de manera simultánea.

Debido al efecto de la uniformidad de la parvada (a la recepción) y a una posible inadecuada alimentación en las primeras semanas de edad, en el Capítulo II de la presente investigación, se estableció que aquellas gallinas con un mayor peso corporal a la recepción presentaron una edad al inicio de postura más temprana con respecto al resto de las aves evaluadas (Capítulo II: Tabla 2, Figura 1 y Tabla 4). Ello posiblemente por un mejor desarrollo del aparato reproductor de las gallinas y una mayor cantidad de reservas corporales, aspectos que inciden en la formación del huevo (Lu *et al.*, 2025)

Bajo este contexto el factor nutricional de las aves reproductoras es uno de los factores más estudiados en la actualidad (Hossain y Islam, 2025). Diversos estudios (Elnesr *et al.*, 2024) han demostrado que la nutrición de las gallinas repercute sobre la calidad del huevo -factor interno- y esta a su vez incide sobre la incubabilidad del huevo fértil, ya que a partir de los nutrientes exógenos (proporcionados por el alimento) y endógenos (reservas corporales y productos de síntesis de la gallina) se lleva a cabo la formación de las estructuras del huevo -yema, albumen y cascarón- (Ge *et al.*, 2025). Sin embargo, la adición de diversos insumos

en la dieta de las gallinas puede generar un gasto extra para los productores de los SPAF, aspecto que va en contra del objetivo de dichos sistemas -adquisición de proteína de origen animal de calidad y bajo costo para las familias involucradas-. Por ello, la justificación de utilizar el nopal (*Opuntia ficus indica*) en la presente investigación.

El nopal (*O. ficus indica*) como un insumo no convencional en la dieta de las gallinas de los SPAF, fue considerado ya que dicha cactácea presenta una gran distribución geográfica y con una alta resistencia a climas agrestes (Contreras *et al.*, 2025), lo cual permite una alta disponibilidad de dicho insumo. A su vez, en la composición del nopal se encuentran compuestos que permiten la modulación y modificación del metabolismo de las aves (fibra dietética), mismos que permite la activación de mecanismos de homeostasis, los cuales inciden sobre la síntesis y movilización de metabolitos, con el objetivo de compensar la concentración sérica de estos (Sousa *et al.*, 2024; Moraga-Babiano *et al.*, 2025).

De acuerdo con las características del nopal, mencionadas en el Capítulo III de la presente investigación se estableció que la adición del 24 g/gallina/día a la dieta de gallinas de postura disminuyó el consumo de alimento en los grupos experimentales (forrajero y verdura). Ello posiblemente a que el consumo de nopal incrementa el volumen de alimento ingerido, lo que inhibe el apetito de las gallinas (Capítulo III: Figura 1), aspecto que se atribuye a la estimulación de los núcleos anorexígenicos activados mediante la señalización de mecanorreceptores (Jha and Mishra, 2021).

Por otra parte, Yin *et al.* (2008) establecen que el uso de insumos bajos en grasas o con un efecto hipocolesterolémico -tal es el caso del nopal- pueden activar el mecanismo de homeostasis denominado lipogénesis de *novo*, el cual de manera compensatoria sintetiza colesterol de manera endógena a partir de los carbohidratos circulantes en el organismo. Dicho efecto, se atribuye al contenido de la fibra dietética (soluble e insoluble) del nopal, el cual estimula la producción de complejos viscosos en el intestino del ave y a su vez acelera el tracto gastrointestinal, lo cual interfieren en la emulsificación y absorción de lípidos presentes en el quimo (Jha and Mishra, 2021; Tejeda and Kim, 2021; Hu *et al.*, 2024). La importancia de la compensación del contenido de colesterol sérico en las gallinas radica en su posterior movilización hacia la yema de huevo, ya que dicho metabolito es considerado

como la principal fuente de energía durante el desarrollo embrionario y las primeras horas del pollito post-nacimiento (Shibata *et al.*, 2023).

Con respecto a lo antes mencionado, en el Capítulo III, se estableció que el consumo de nopal -específicamente el forrajero- incrementó las concentraciones de colesterol sérico, aspecto que se atribuye al mayor consumo de dicho insumo, lo cual activo la lipogénesis de *novo* incrementando la síntesis de colesterol endógeno y, por consiguiente, permitió mantener concentraciones superiores durante toda la fase experimental (Capítulo III: Tabla 2 y Figura 3). Al respecto (Tejeda and Kim, 2021), establecen que el consumo de fibra soluble puede genera un pepti-gel y, con ello atrapar lípidos presentes en el quimo, lo que dificulta su absorción; a este fenómeno se le atribuye la activación de la lipogénesis de *novo*.

No obstante, en lo referente a la concentración de colesterol en huevo se estableció que los grupos que consumieron nopal (forrajero y verdura) presentaron una tendencia hacia un promedio mayor (Capítulo III: Figura 4). Aspecto atribuible a una mejor movilización de dicho metabolito hacia la yema de huevo, lo cual explica lo reportado en la Tabla 5 del Capítulo III, donde se observó que dichos grupos presentaron mejor porcentaje de eclosión. Esto sugiere, que mayor contenido de colesterol en huevo proporciona mayor cantidad de energía disponible, la cual es utilizada durante el desarrollo embrionario y posteriormente para que el pollito pueda eclosionar -ambos procesos con alto requerimiento energético- (Sun *et al.*, 2022).

Además del alto contenido de fibra dietética en el nopal, dicha cactácea es considerada como alimento rico en calcio (Quintero-García *et al.*, 2020). En la presente investigación el aparte de calcio del nopal forrajero fue de 5.1%, mientras que el del nopal verdura fue de 4.9% (Capítulo IV: Tabla 1). Dichos porcentajes de contenido de calcio pudieron incidir sobre la formación del cascarón del huevo -ya que las gallinas de postura mantienen alta demanda fisiológica de este mineral-, lo cual, explica el comportamiento observado en la Tabla 2 del Capítulo IV, en donde los grupos que consumieron nopal presentaron mayores concentraciones de calcio en cascarón de huevo -estructura conformada por $\approx 98\%$ de carbonatos de calcio- (Qiu *et al.*, 2024).

Se ha reportado que mayor concentración de calcio en el cascarón de huevo es de las principales características que determinan su calidad (Biesek, 2023), lo cual incrementa su resistencia y disminuye la incidencia de estrellarse y/o fisurarse. Al respecto, Rayan y Fathi (2026) establecen que un huevo con cascarón fracturado es susceptible a contaminarse durante la incubación, aspecto que provoca anomalías y/o lentitud durante el desarrollo embrionario. Así mismo, un cascarón de calidad influye en el correcto intercambio gaseoso -entre el embrión y el ambiente- (Biesek, 2023) y, a su vez funge como reserva de calcio para el desarrollo esquelético del embrión (Halgrain *et al.*, 2022), lo que permite un óptimo desarrollo embrionario y posteriormente mejor viabilidad de los pollitos al nacimiento; bajo este contexto, se explica la tendencia observada en los grupos que consumieron nopal hacia presentar mejor calidad del pollito al nacimiento (Capítulo 4: Tabla 3 y Tabla 4).

CONCLUSIONES GENERALES

De acuerdo con el Capítulo I, la optimización de los SPAF -sin que pierda sus características inherentes- debe realizarse a través de la capacitación del productor en dos puntos críticos: a) en lo relacionado con el nido y, b) en lo relacionado con la selección del huevo para incubar. Sin embargo, de acuerdo a dicha revisión es importante buscar alternativas nutricionales no solo para el mantenimiento de las aves, sino también para que mejorar la calidad del huevo y viabilidad del pollito. No obstante, en el Capítulo II se observó que otro de los factores que inciden sobre la productividad de las aves es la heterogeneidad del peso corporal en los lotes de pollas -adquiridos en mercados locales-, aspecto que deja en desventaja a aquellos animales con un retraso en el crecimiento, la cual puede observarse en un inicio de su ciclo postura tardío. Ante las problemáticas -bajo porcentaje de eclosión, alta mortalidad y poca uniformidad de la parvada- presentes en los SPAF, de acuerdo con el Capítulo III y Capítulo IV, la adición de nopal (≤ 24 g/gallina/día) representa una alternativa viable para eficientar dichos sistemas, puesto que, incrementa la concentración de colesterol sérico en las gallinas, sin comprometer su productividad -número y kg de huevos puestos- ni la eclosión del huevo; además mejora la mineralización del cascarón y preserva la integridad del albumen, lo que se refleja en una tendencia hacia una mejor calidad de los pollitos al nacimiento.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Abad, J. C., Sabia, J., Novoa, S., Frikha, M., Guerra, C. y Muñoz, J. (2019). Clasificación de los huevos incubables de las reproductoras. *aviNews*. 38: 73-80.
- Alders, R. G., Dumas, S. E., Rukambile, E., Magoke, G., Maulaga, W., Jong, J. and Costa, R. (2018). Family poultry: M ultiple roles, systems, challenges, and options for sustainable contributions to household nutrition security through a planetary health lens. *Maternal & Child Nutrition*, 14.
- Alders, R.G. and Pym R.A.E. (2009). Village poultry: still important to millions, eight thousand years after domestication. *World's Poultry Science Journal*, 65(2): 181-190. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933909000117>
- Astello, G. M. G., Cervantes, I., Nair, V., del Socorro Santos-Díaz, M., Reyes-Agüero, A., Guéraud, F., y de la Rosa, A. P. B. (2015). Chemical composition and phenolic compounds profile of cladodes from *Opuntia* spp. cultivars with different domestication gradient. *Journal of Food Composition and Analysis*, 43: 119-130.
- Barocio-Urue, J.N., Juárez-Caratachea, A., Gutiérrez-Vázquez, E., Pérez-Sánchez, R.E. and Ortiz-Rodríguez, R. (2017). Effect of diet on live weight and egg weight of backyard hens during the rainy season. *Austral Journal of Veterinary Sciences*, 49(2): 91-98. <https://doi.org/10.4067/S0719-81322017000200091>
- Bautista-Justo, M., Pineda-Torres, R. I., Camarena-Aguilar, E., Alanís-Guzmán, G., Mota, D. V. M., y Barboza-Corona, J. E. (2010). El nopal fresco como fuente de fibra y calcio en panqués. *Acta Universitaria*, 20: 11-17. DOI: <https://doi.org/10.15174/au.2010.62>
- Beissinger, S.R., Cook, M.I. and Arendt, W.J. (2005). The shelf life of bird eggs: testing egg viability using a tropical climate gradient. *Ecology*, 86(8): 2164-2175. <https://doi.org/10.1890/04-1624>
- Bertalanffy, L.V. (1976). Fundamentos, desarrollo, y aplicaciones; Teoría General de los Sistemas. Ed. Fondo de Cultura Económica. México D.F. Pp. 13-64.
- Biesek, J. (2023). The physicochemical features of eggshell, thick albumen, amniotic fluid, and yolk during chicken embryogenesis. *Poultry science*, 102(12): 103119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103119>
- Borbolla-Pérez, V., Nieto Rosalano, S. O., Gutiérrez Molina, R., Gonzales Vicencio, G. J. y Mendo Muñoz, R. de la P. (2024). Evaluación de la incubabilidad del huevo fértil en aves de corral en la zona de Citlaltépetl, Veracruz. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 12(2): 69–79. DOI: <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v12i2.576>
- Calderón, G. M. (2017). Efecto de la adición del nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la dieta de gallinas Plymouth Rock Barrada sobre el contenido de colesterol en huevo. (Tesis de Maestría). Instituto de Investigación Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.
- Calderón, G. M., Pérez, S. R. E., Juárez C. A., Gutiérrez V. E. y Ortiz, R. R. (2021). Efecto de la adición de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la dieta de gallinas Rhode Island Red sobre la calidad del huevo con énfasis en el colesterol. *Opuntia*. Pp. 65-74
- Cascales, M. (2015). Lipogénesis “de novo” Y Termogénesis. *Monogr. Real Acad. Nac. Farm*, 6: 186-213.
- Castellanos, R.B., Pérez, M.S. and Cañizares, A.V. (2012). Comportamiento de la incubabilidad y fertilidad, de tres líneas de gallinas semirrusticas. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 13(4): 1-9.

- Contreras, S.A., Gonz, D.W., Casas-Rodríguez, A.D., Morales-Martínez, T., Rodríguez-Herrera, R., Barrera-Martínez, C. and Sepúlveda, L. (2025). Edible Cacti and Their Fruits: A Potential Source of Bioactive Compounds for Human Health. *Journal of BioProcess and Chemical Technology (JBCT)*, 17 (35): 1-13.
- Dávila, P. y Gallegos, R. (2016). Determinación de sodio, potasio, hierro, zinc y calcio en tres leguminosas: garbanzo, soya y maní, por espectrofotometría de absorción atómica de llama. *infoANALÍTICA*, 4(1): 9-19.
- Decuyper, E. and Bruggeman, V. (2007). The endocrine interface of environmental and egg factors affecting chick quality. *Poultry Science*, 86(5): 1037-1042.
- Dussailant, C., Echeverría, G., Rozowski, J., Velasco, N., Arteaga, A. and Rigotti, Att. (2017). Egg intake and cardiovascular disease: a scientific literature review. *Nutrición Hospitalaria*, 34(3): 710-718.
- Elnesr, S.S., Mahmoud, B.Y., da Silva Pires, P.G., Moraes, P., Elwan, H.A., El-Shall, N.A. and Alagawany, M. (2024). Trace minerals in laying hen diets and their effects on egg quality. *Biological Trace Element Research*, 202(12): 5664-5679.
- Fernández Pavia, Y. L., García Cué, J. L., López Jiménez, A., y Mora Aguilera, G. (2015). Inducción de deficiencias nutrimentales en nopal verdura *Opuntia ficus indica* (L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(6): 1417-1422.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2014). Decision tools for family poultry development. FAO Animal Production and Health Guidelines No. 16. Rome, Italy.
- Galván, M. S. (2025). Efecto de la biofertilización y del proceso de extrusión del nopal verdura y forrajero (*Opuntia ficus-indica*) sobre sus características bromatológicas, fitoquímicas y morfológicas (Tesis de Maestría). Facultad de Químico Farmacobiología. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.
- García, A. F. (2016). Consumo de huevos y riesgo cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*. 33(4), 41-43.
- Ge, H., Huang, Z., Feng, J. and Zhang, M. (2025). In Ovo Feeding of Arginine, Leucine, and Methionine in Broiler Breeders' Eggs During Summer: Effects on Hatchability and Chick Oxidation, Inflammation, and Apoptosis. *Animals*, 15(13): 1930.
- Gil, P., Barroeta, A. C., & Garcés, C. (2016). El huevo como alimento funcional y sus componentes. *Sitio Argentino de Producción Animal*. Disponible en: <https://www.produccion-animal.com.ar/>
- Gutiérrez-Triay, M.A., Segura-Correa, J.C., López-Burgos, L., Santos-Flores, J., Santos-Ricalde, R.H., Sarmiento-Franco, L., Carvajal-Hernández, M. and Molina-Canul, G., (2007). Características de la avicultura de traspatio en el municipio de Tetiz, Yucatán, México. *Tropical and subtropical Agroecosystems*, 7(3), 217-224.
- Guzmán-Loayza, D. and Chávez, J. (2007). Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(1): 41-45.
- Halgrain, M., Bernardet, N., Crepeau, M., Mème, N., Narcy, A., Hincke, M., & Réhault-Godbert, S. (2022). Eggshell decalcification and skeletal mineralization during chicken embryonic development: defining candidate genes in the chorioallantoic membrane. *Poultry science*, 101(2): 101622. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101622>

- Hernández-Sánchez, A., Román-Bravo, R.M., Juárez-Caratachea, A., Gutiérrez-Vázquez, E., Val-Arreola, D. y Ortiz-Rodríguez, R. (2023). Comparación del crecimiento y rendimiento cárnico de pollos F1 plumaje normal y de cuello desnudo, criados bajo condiciones de traspatio en un ambiente de trópico seco. *Revista Científica, FCV-LUZ*, 1(33): 1-6.
- Hossain, M.E. and Islam, S. (2025) Egg Quality in Laying Hens: Optimizing Genetic, Nutritional, Environmental and Management Factors for Sustainable Layer Farming. *Journal of Veterinary Science and Technology*, 14(02): 1-15.
- Hu, H., Li, A., Shi, C., Chen, L., Zhao, Z., Yin, X., and Pan, H. (2024). Mulberry branch fiber improved lipid metabolism and egg yolk fatty acid composition of laying hens via the enterohepatic axis. *Microbiome*, 12(1): 73.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). Aspectos Geográficos: Michoacán de Ocampo. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463913009.pdf
- İskender, H., Yenice, G., Dokumacioglu, E., Kaynar, O., Hayirli, A., and Kaya, A. (2016). The effects of dietary flavonoid supplementation on the antioxidant status of laying hens. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 18: 663-668.
- Jha, R. and Mishra, P. (2021). Dietary fiber in poultry nutrition and their effects on nutrient utilization, performance, gut health, and on the environment: a review. *Journal of animal science and biotechnology*, 12(1): 51. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00576-0>
- Juárez-Caratachea, A., Barocio-Urue, J.N., García-Valladares, A., Gutiérrez-Vázquez, E. y Ortiz-Rodríguez, R. (2016). Efecto del fenotipo (color de plumaje) sobre el peso del huevo y peso vivo de la gallina de traspatio. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 48: 99-106.
- Juárez-Caratachea, A., Ortiz-Rodríguez, R., Pérez-Sánchez R.E., Gutiérrez-Vázquez, E. and Val-Arreola, D. (2008). Caracterización y modelación del sistema de producción avícola familiar. *Livestock Research for Rural Development*, 20(2): 13.
- Juárez-Caratachea, A., Ortiz-Rodríguez, R., Pérez-Sánchez, R.E., Gutiérrez-Vázquez, E. y Val-Arreola, D. (2015). Caracterización y modelación del sistema de producción avícola familiar. *Teoría General de Sistemas para Principiantes*, 69.
- Jump, D. B. (2011). Fatty acid regulation of hepatic lipid metabolism. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 14(2): 115-120.
- Lee, H. H., Kim, D. H., Lee, K. W., Kim, K. E., Shin, D. E., and An, B. K. (2019). Dietary effects of natural polyphenol antioxidant on laying performance and egg quality of laying hens fed diets with oxidized oil. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 21.
- Leone, V.A., Worzalla, S.P. and 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(4): 621-632. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00264>
- Littell, R.C., Henry, P.R. and Ammerman, C.B. (1998). Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *Journal of Animal Science*, 76: 1216-1231. DOI: <https://doi.org/10.2527/1998.7641216x>
- Littell, R.C., Stroup, W.W. and Freund, R.J. (2010). SAS for linear models. Fourth Edition. Cary NC. USA. SAS Institute Inc.

- López-Flores, M. M. y Omaña-Silvestre, J. M. (2023). Modelo de desarrollo para el aprovechamiento de nopal verdura en Milpa Alta, Ciudad de México. *Agricultura, Sociedad Y Desarrollo*, 20(4): 408–424. DOI: <https://doi.org/10.22231/asyd.v20i4.1417>
- López-Sobaler, A. M., Aparicio V. A. y Ortega, R. M. (2017). Papel del huevo en la dieta de deportistas y personas físicamente activas. *Nutrición Hospitalaria*. 34 (4): 31-35.
- López-Sobaler, A. M., Salas-González, M. D., Cuadrado-Soto, E., Aparicio, A. y González-Rodríguez, L. G. (2023). Impacto del consumo de huevo en la situación nutricional de jóvenes adultos. *Nutrición Hospitalaria*, 40(2), 24-28.
- Lu, J., Wang, Q., Ma, M., Li, Y., Guo, W., Zhang, X. and Qu, L. (2025). Influence of Body Weight at the End of the Brooding Period on the Productive Performance in Hyline Brown Laying Hens from 6 to 72 Weeks of Age. *Animals*, 15(9): 1292.
- Martínez, Y., Valdivié, M., Estarrón, M., Solano, G. y 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.
- Martins, M., Ribeiro, M. H., & Almeida, C. M. (2023). Physicochemical, Nutritional, and Medicinal Properties of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. and Its Main Agro-Industrial Use: A Review. *Plants*. 12(7), 1512.
- Mata-Estrada, A., González-Cerón, F., Pro-Martínez, A., Torres-Hernández, G., Bautista-Ortega, J., Vargas-Galicia, A. J., Becerril-Pérez, C.M. and Sosa-Montes, E. (2023). Caracterización del sistema de producción avícola de traspatio en el Estado de Campeche, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 20(2), 125-138. DOI: <https://doi.org/10.22201/asd.20070720e.2023.20.2.1074>
- Maturana, R.H. y Varela G.F. (1994). De Máquinas y Seres vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo. Sexta Ed. Editorial LUMEN. Buenos Aires 2003. Pp. 67-131
- Moraga-Babiano, L., Agregán, R., Echegaray, N., Domínguez-Valencia, R., Pateiro, M. and Lorenzo, J. M. (2025). A comprehensive review of the nutritional, functional, and technological potential of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) in food processing. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 17(3).
- Morales-Morales, A. E., Andueza-Noh, R. H., Márquez-Quiroz, C., Benavides-Mendoza, A., Tun-Suarez, J. M., González-Moreno, A. y Alvarado-López, C. J. (2019). Caracterización morfológica de semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) de la Península de Yucatán. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6(18): 463-475.
- Moran, E.T. (2007). Nutrition of the Developing Embryo and Hatchling, *Poultry Science*. 86(5): 1043-1049.
- Muñoz, L., Díaz, Y., González, C., Medina, E. y Cardona, E. (2014). Efecto de la administración oral de nopal deshidratado sobre el perfil de lípidos en individuos con dislipidemia y sobrepeso/obesidad. *Revista Iberoamericana de Ciencias*. 1(1): 149-160.
- Muñoz-Gómez, V., Shaw, A. P., Abdykerimov, K., Abo-Shehada, M., Bulbuli, F., Charypkhan, D. and Torgerson, P. R. (2025). Economic impact of chicken diseases and other causes of morbidity or mortality in backyard farms in low-income and middle-income countries: a systematic review and meta-analysis. *BMC Veterinary Research*, 21(1): 151.

- Nóbrega, I. P. T. D., Reis, M. D. P., Lizana, R. R., Moura, T. F. D., Teofilo, G. F. D. S., Bittencourt, L. C., & Sakomura, N. K. (2022). Response of Laying Hens to Repletion and Depletion in Dietary Balanced Protein. *Animals*, 12(19): 2567.
- Olgun, O., Yazgan, O. and 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2012.09.005>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2013). Revisión del Desarrollo Avícola. Pp. 1-4.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2016). Iniciativa Regional 2 agricultura familiar y sistemas alimentarios inclusivos para el desarrollo rural sostenible. Disponible en: <https://bit.ly/3Z6KXr4>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2023). Producción y productos avícolas. Disponible en: <https://www.fao.org/poultry-production-products/production/es/>
- Oriondo, G., Rosa, L., Bernui, L. I., Valdivieso, I., Lázaro, R. y 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-Rodríguez, R., Ordaz-Ochoa, G., García-Saucedo, P. A. y Pérez-Sánchez, R. E. (2021). El nopal (*Opuntia ficus-indica*) como complemento de la dieta de cerdas lactantes sobre los niveles de glucosa sérica y consumo de alimento durante la fase de lactancia. *Opuntia*. Pp. 58-64.
- Osorio, J. H. y Flórez, J. D. (2011). Diferencias bioquímicas y fisiológicas en el metabolismo de lipoproteínas de aves comerciales. *Biosalud*. 10(1): 88-98.
- Osorio, J.H. y Flores, J.D. (2018). Comparación de lípidos sanguíneos entre pollos de engorde y gallinas ponedoras. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 65(1), pp. 27-35.
- Petersen, M. C. and Shulman, G. I. (2018). Mechanisms of Insulin Action and Insulin Resistance. *Physiological Reviews*. 98(4): 2133-2223.
- Qiu, K., Chang, X., Wang, J., Zhang, H. y Wu, S. (2024). Efectos de la suplementación dietética con lactato de calcio en el rendimiento de la postura, el índice sanguíneo, la calidad de la tibia, la inmunidad yeyunal y la calidad del huevo en gallinas ponedoras de edad avanzada. *Agriculture*, 14(2): 256. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture14020256>
- Quintero-García, M., Gutiérrez-Cortez, E., Rojas-Molina, A., Mendoza-Ávila, M., Del Real, A., Rubio, E., Jiménez-Mendoza, D. and Rojas-Molina, I. (2020). Calcium Bioavailability of *Opuntia ficus-indica* Cladodes in an Ovariectomized Rat Model of Postmenopausal Bone Loss. *Nutrients*, 12(5): 1431. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu12051431>
- Rayan, G. and Fathi, M. (2026). Ultrastructural changes in eggshell during incubation: mechanisms and implications. *Poultry Science*, 105(2).
- Rodríguez-García, M. E., de Lira, C., Hernández-Becerra, E., Cornejo-Villegas, M. A., Palacios-Fonseca, A. J., Rojas-Molina, I., Reynoso, R., Quintero, L. C, Del-Real, A., Zepeda, T. A, Muñoz-Torres, C. (2007). Physicochemical characterization of nopal pads (*Opuntia ficus indica*) and dry vacuum nopal powders as a function of the

- maturation. *Plant Foods Hum Nutr*, 62(3): 107-12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11130-007-0049-5>
- Rosas, N.A. and Lerdon, F.J. (2018). Factibilidad de un proyecto avícola para producción de huevos bajo sistema free-range en el sur de Chile. *Idesia (Arica)*, 36(3): 131-140. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018000300015>
- Salahi, A., Attia, Y., Zabermawi, N., Bovera, F., Shafi, M., Laudadio, V. and Tufarelli, V. (2025). Wheat Bran Beyond a Fiber Source for Sustainable Poultry Nutrition: A Comprehensive Review. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 76(2): 9321–9348. DOI: <https://doi.org/10.12681/jhvms.39381>
- Shibata, M., Makihara, N. and Iwasawa, A. (2023). The yolk sac's essential role in embryonic development. *Reviews in Agricultural Science*, 11: 243-258.
- Sistema de Información de Precios y Abastecimiento del Sector Agropecuario (SIPSA). (2013). Gallinas ponedoras y producción de huevo una fuente de proteína animal de bajos costos, al alcance de todos. *Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria*, 1(16): 1-5.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2023). ¡Y el nopal ingresó en la dieta simbólica y real de los mexicanos! Cifras y datos sobre esta ancestral planta. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura%7Cdgsiap/articulos/y-el-nopal-ingreso-en-la-dieta-simbolica-y-real-de-los-mexicanos>
- Siswanto, D., Hertamawati, R. T. and Rahmasari, R. (2023). Dietary fermented Azolla sp. accelerates sexual maturity of quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Earth and Environmental Science*, 1168(1).
- Sousa, I. S., Bezerra, R. M., Silva Filho, E. C., Bezerra, L. R., Edvan, R. L., Lima, S. B. and Dourado, L. R. (2024). Use of Cactus Pear Meal in the Feeding of Laying Hens in Semi-Intensive System. *Animals*, 14(4): 625.
- Sun, H., Chen, Z., Ma, C., Lian, L., Zhao, Z., Niu, S., Xu, L. and Sun, J. (2022). Effects of maternal dietary energy restriction on laying performance, embryonic development, and lipid metabolism in broilers. *Animal bioscience*, 35(5): 698–710. DOI: <https://doi.org/10.5713/ab.21.0301>
- Tejeda, J. O., and Kim, K. W. (2021). Role of Dietary Fiber in Poultry Nutrition. *Animals*, 11(2): 461. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11020461>
- Toapanta, M., Avilés, D., Montero, M. y Pomboza, P. (2019). Caracterización del sistema de producción de aves de traspatio del cantón Cevallos, Ecuador. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal AICA*, 13: 1-5.
- Tomás Ch, G., Huamán, J., Aguirre, R., Bravo, M., León, J., Guerrero, M., Orihuela R. C., Avilés O. R. y Yanqui, E. (2012). Estudio químico y fitoquímico de la *Opuntia ficus-indica* “tuna”, y elaboración de un alimento funcional. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 15(1): 70-74.
- Tona, K., Bamelis, De Ketelaere, B., Bruggeman, V., Moraes, V.M., Moraes, B., Buyse, J., Onagbesan, O. and Decuypere, E. (2003). Effects of egg storage time on spread of hatch, chick quality, and chick juvenile growth. *Poultry science*, 82(5): 736-741. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/82.5.736>
- Vargas, S. S. V., Rodríguez, G. F., Martínez, V. R., Campos, M. R., Hurtado S.M.A., Muthuswamy P.J. (2022). Chemical composition of pear cactus mucilage at different maturity stages. *Agrociencia*, 56(2): 126-150.

- Vázquez, J.L., Prado, O.F., García, L.J. y Juárez, M.A. (2006). Edad de la reproductora sobre la incubabilidad y tiempo de nacimiento del pollo de engorda. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 10(1): 21-28.
- Wong, J. T., de Bruyn, J., Bagnol, B., Grieve, H., Li, M., Pym, R. and Alders, R. G. (2017). Small-scale poultry and food security in resource-poor settings: A review. *Global Food Security*, 15: 43-52.
- Yin, J. D., Shang, X. G., Li, D. F., Wang, F. L., Guan, Y. F. and Wang, Z. Y. (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(2): 284-290.

ANEXOS



Página 1 de 142 - Portada

Identificador de la entrega trn:oid::3117:565587566

Emmanuel Cisneros Ruiz

EFFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*O. ficus-indica*) A LA DIETA DE GALLINAS (*Gallus gallus domesticus*) SOBRE COLES...

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:565587566

Fecha de entrega

9 mar 2026, 11:57 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

9 mar 2026, 12:09 p.m. GMT-6

Nombre del archivo

EFFECTO DE LA ADICIÓN DEL NOPAL (*O. ficus-indica*) A LA DIETA DE GALLINAS (*Gallus gallus dome....pdf*

Tamaño del archivo

2.0 MB

126 páginas

52.512 palabras

282.373 caracteres



Página 1 de 142 - Portada

Identificador de la entrega trn:oid::3117:565587566

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas	
Título del trabajo	Efecto de la adición del nopal (<i>O. ficus-indica</i>) a la dieta de gallinas (<i>Gallus gallus domesticus</i>) sobre colesterol (sérico y en huevo), productividad, incubabilidad y viabilidad del pollito bajo el esquema de avicultura familiar	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	Emmanuel Cisneros Ruiz	1823361h@umich.mx
Director	Rosa Elena Pérez Sánchez	rosa.perez@umich.mx
Codirector	Ruy Ortiz Rodríguez	ruy.ortiz@umich.mx
Coordinador del programa	Rosa Elvira Núñez Anita	mae.ciencias.biotogicas@umich.mx

Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	No	

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	No	
Traducción a otra lengua	No	
Revisión y corrección de estilo	No	
Análisis de datos	No	
Búsqueda y organización de información	Sí	Definición de conceptos
Formateo de las referencias bibliográficas	No	
Generación de contenido multimedia	Sí	Mejorar calidad de los esquemas
Otro	No	

Datos del solicitante	
Nombre y firma	
Lugar y fecha	Morelia, Michoacán. 05 de marzo de 2026