



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS
DE LA PRODUCCIÓN Y SALUD ANIMAL
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA
MAESTRÍA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



EVALUACIÓN DE TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE HUEVO SOBRE
LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS, CALIDAD DEL HUEVO Y
SUSTENTABILIDAD.

DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN
QUE PARA OPTAR EL GRADO DE
MAESTRA EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

PRESENTA

DANIELA BETZABE UGALDE ORTIZ

TUTORA PRINCIPAL:

MARÍA DEL PILAR CASTAÑEDA SERRANO (FMVZ-UNAM)

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

ERNESTO ÁVILA GONZÁLEZ (FMVZ-UNAM)

ELEIN HERNÁNDEZ TRUJILLO (FESC-UNAM)

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.

SEPTIEMBRE, 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mis padres María del Carmen Ortiz y Bulmaro Ugalde, son lo mejor que tengo y los amo demasiado.

A mis abuelitos mamá Lupita y papá Aure, por ser mi paz y felicidad durante el tiempo que pudimos compartir. Los amo por siempre.

A mi familia y amigos, a quienes, aunque no los mencione individualmente, espero que sepan cuanto los amo y la felicidad que tengo de compartir este logro con ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser la institución que me dio la oportunidad de estudiar y crecer profesionalmente en el área de la medicina veterinaria y zootecnia.

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por ser la escuela que me ha brindado educación de excelente calidad durante mis estudios de licenciatura y posgrado.

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico por su apoyo a través del Proyecto PAPIIT denominado “Implicaciones de la adopción de enriquecimiento ambiental en la producción de huevo sobre la inocuidad, sustentabilidad y seguridad alimentaria” (número de expediente IT201719); sin el cual, no habría sido posible la realización del presente estudio.

Al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPAv), en cuyas instalaciones se llevó a cabo el desarrollo de toda la investigación, así como por ser una parte fundamental en mi formación profesional en el área avícola.

Al Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM, por abrirnos sus puertas, por su gran colaboración y apoyo en esta investigación.

A la empresa EVONIK, en específico a los doctores Roberto Santiago y Gino Romero por su apoyo para la realización de los análisis NIR.

A la Dra. María del Pilar Castañeda Serrano por permitirme formar parte de este gran proyecto, por brindarme su confianza, apoyo y amistad durante todo el proceso de maestría y del diagnóstico de situación.

Al Dr. Ernesto Ávila González por ser un excelente profesional y persona, además de ser una parte fundamental de este proyecto.

A la Dra. Elein Hernández Trujillo por permitirme contar con su asesoramiento, su apoyo y sus conocimientos que enriquecieron demasiado el presente trabajo.

A la Dra. Gema Luz Andraca por brindarnos su confianza y gran apoyo, que hicieron posible la colaboración con el Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático (UNAM) y, por tanto, la realización de las evaluaciones en el ambiente de las casetas avícolas.

Al Dr. Ezequiel Sánchez y la Dra. Elizabeth Posadas por ser un gran apoyo tanto para mí, como para la realización del proyecto. Gracias por su amistad y confianza.

Al Dr. Jorge Miguel Iriarte y Dra. Alma Selene Vázquez por formar parte de este proyecto, por su apoyo y accesibilidad para poder llevar a cabo esta investigación en el CEIEPAv.

Al Dr. Arturo Cortés Cuevas por su apoyo en la formulación de las dietas empleadas en este proyecto.

Al Dr. David Ramos Vidales por su enorme ayuda en la realización de los análisis estadísticos, pero además por ser una excelente persona y un gran amigo.

A la Dra. Monserrat Martínez Carmona por su amistad y apoyo.

A los miembros de mi jurado por sus consejos, el tiempo y dedicación para la revisión y mejora del presente trabajo, a los doctores, Francisco Aurelio Galindo Maldonado, Ezequiel Sánchez Ramírez y Gema Luz Andraca Ayala.

A Brenda Vázquez por el tiempo y gran esfuerzo dedicados durante la planeación y realización de todo el proyecto.

A la Dra. Melanie Romero por ser un apoyo muy importante en todos los manejos realizados durante la investigación.

Al realizador audiovisual Francisco Díaz por su enorme apoyo, sin el cual no habría sido posible la realización de las grabaciones para la evaluación del comportamiento de las aves.

A mis maestros por transmitirme su sabiduría y experiencia en cada clase durante la maestría.

A los servicios sociales del CEIEPAv, por su disposición para apoyar en las actividades de la presente investigación.

Al Dr. Cristóbal por su apoyo durante el proceso de obtención de grado.

A los doctores Osiris y Eduardo por su compañía y amistad durante todo el proceso de la maestría.

ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVOS	4
HIPÓTESIS	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
ANTECEDENTES	7
Situación actual de la producción de huevo en México	7
Sistemas de producción para gallinas ponedoras	8
Proteína en la dieta de las aves de producción y su uso como una estrategia nutricional	10
Estrategias nutricionales	12
Contaminantes aéreos nitrogenados	13
Generación contaminantes nitrogenados.....	13
Amoniacó.....	14
Control de la generación de amoniacó	15
Bienestar animal en los animales de producción	15
DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN	19
MATERIAL Y MÉTODOS	19
RESULTADOS	27
DISCUSIÓN	33
ALTERNATIVAS DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	45
CONCLUSIONES	48
BIBLIOGRAFÍA	49
MATERIAL ANEXO	59

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición y análisis calculado de la dieta con 18% de proteína cruda para gallinas Bovans White de 22-37 semanas de edad.

Cuadro 2. Análisis calculado y composición de la dieta con 16% de proteína cruda para gallinas Bovans White de 22-37 semanas de edad.

Cuadro 3. Resultados de las variables productivas de gallinas Bovans White de 22-37 semanas de edad en 3 diferentes sistemas productivos y alimentadas con 2 dietas distintas.

Cuadro 4. Datos de las variables de clasificación de huevo obtenido de gallinas Bovans White de 22-37 semanas de edad en 3 diferentes sistemas productivos y alimentadas con 2 dietas distintas.

Cuadro 5. Valores de los indicadores evaluados para la calidad de huevo de gallinas Bovans White de 37 semanas de edad en 3 diferentes sistemas productivos y alimentadas con 2 dietas distintas.

Cuadro 6. Resultados del peso corporal de las gallinas Bovans White obtenidos al inicio y al final del periodo de experimentación en 3 diferentes sistemas productivos y alimentadas con 2 dietas distintas.

Cuadro 7. Composición y análisis calculado de la dieta con 16% de proteína cruda para gallinas Bovans White de segundo ciclo (106-110 semanas de edad).

Cuadro 8. Análisis calculado y composición de la dieta con 14% de proteína cruda para gallinas Bovans White de segundo ciclo (106-110 semanas de edad).

Cuadro 9. Resultados de las variables productivas de gallinas Bovans White de segundo ciclo de 106-110 semanas de edad en 3 diferentes sistemas productivos y alimentadas con 2 dietas distintas*.

Cuadro 10. Datos de las variables de clasificación de huevo obtenido de gallinas Bovans White de segundo ciclo de 106-110 semanas de edad en 3 diferentes sistemas productivos y alimentadas con 2 dietas distintas.

Cuadro 11. Valores de los indicadores evaluados para la calidad de huevo de gallinas Bovans White de segundo ciclo de 110 semanas de edad en 3 diferentes sistemas productivos y alimentadas con 2 dietas distintas.

Cuadro 12. Resultados del monitoreo de gases nitrogenados en la caseta en 4 puntos (eventos) durante el periodo de experimentación con gallinas Bovans White de segundo ciclo (110 semanas de edad) en 3 diferentes sistemas productivos y alimentadas con 2 dietas distintas.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Sistema de jaulas convencionales.

FIGURA 2. Sistema de jaulas enriquecidas.

FIGURA 3. Sistema sin jaulas o de piso.

FIGURA 4. Ensamblaje del muestreador Ogawa.

FIGURAS 5 y 6 (respectivamente). Ubicación de los dos dispositivos Ogawa (NH₃ y NO_x) y del termohigrómetro en el sistema de jaulas convencionales.

FIGURAS 7, 8 y 9. Aislamiento con paredes de plástico, sistema de jaulas convencionales.

FIGURAS 10 y 11 (respectivamente). Ubicación de los dos dispositivos Ogawa (NH₃ y NO_x) y del termohigrómetro en el sistema de jaulas enriquecidas.

FIGURAS 12 y 13. Aislamiento con paredes de plástico, sistema de jaulas enriquecidas.

FIGURAS 14, 15 y 16. Vista exterior del aislamiento con paredes de plástico en los sistemas de jaulas.

FIGURA 17. Ubicación de los dos dispositivos Ogawa (NH₃ y NO_x) y del termohigrómetro en el sistema sin jaula.

FIGURAS 18 y 19. Aislamiento con paredes de plástico, sistema sin jaulas.

FIGURAS 20 y 21. Dispositivos colocados en el exterior de la caseta (viento abajo y viento arriba, respectivamente).

FIGURAS 22 y 23. Representación del espacio y ubicación del equipo de muestreo, así como de los tratamientos en los sistemas de jaulas y en el sistema sin jaulas (respectivamente).

FIGURA 24. Estructuras instaladas para la colocación de las cámaras en el sistema de jaula convencional.

FIGURAS 25 y 26. Puntos de ubicación de las cámaras en el sistema de jaula enriquecida.

FIGURAS 27 y 28. Cámaras instaladas en el sistema sin jaula.

FIGURA 29-39 (respectivamente). Gráficos de barras de la frecuencia de los siguientes comportamientos: "Descanso", "De pie", "Caminar", "Alimentación", "Beber agua", "Búsqueda alimento" o "Forrajear", "Acicalamiento", "Baño de polvo", "Uso de nido", "Estiramiento del ala" y "Picoteo agresivo".

ABREVIATURAS

CA	Conversión Alimentaria
CAD	Consumo de Alimento por ave al Día
cm ²	Centímetros cuadrados
CY	Color de la Yema
g	Gramos
GC	Grosor del Cascarón
Gr/Kg	Gramos por Kilogramo
Kg	Kilogramo
Kgf/cm ²	Kilogramos de fuerza por centímetro cuadrado
µg	Microgramo
Mcal/Kg	Megacaloría por Kilogramo
MH	Masa del Huevo
NH ₃	Amoniaco
NIR	Espectroscopia de infrarrojo cercano
NO	Óxido de nitrógeno
NO ₂	Dióxido de nitrógeno
PC	Proteína cruda
PH	Peso del huevo
PP	Porcentaje de Postura
ppmv	Partes por millón de volumen
%HSH	Porcentaje de Huevo Sucio de Heces
%HSS	Porcentaje de Huevo Sucio de Sangre
%HR	Porcentaje de Huevo Roto
%HG	Porcentaje de Huevo Grande
RC	Resistencia del Cascarón
SJC	Sistema de Jaula Convencional
SJE	Sistema de Jaula Enriquecida
SSJ	Sistema Sin Jaula o de Piso
UH	Unidades Haugh

RESUMEN

UGALDE ORTIZ DANIELA BETZABE. Evaluación de tres sistemas de producción de huevo sobre los parámetros productivos, calidad del huevo y sustentabilidad. Comité tutor: Dra. María del Pilar Castañeda Serrano, Dr. Ernesto Ávila González y Dra. Elein Hernández Trujillo.

Se evaluaron tres sistemas de alojamiento (jaula convencional "SJC", jaula enriquecida "SJE" y sin jaula "SSJ") para gallinas ponedoras Bovans White alimentadas con dos niveles de proteína cruda "PC" (18% y 16% o 16% y 14%), y su efecto sobre la eficiencia productiva, calidad de huevo y cascarón, emisión de gases nitrogenados y bienestar animal. En el experimento uno, con 900 gallinas de 22 a 37 semanas de edad, se empleó un arreglo factorial 3*2 (un factor fue el sistema de alojamiento y otro el nivel de proteína en la dieta). Con relación al alojamiento, el SSJ obtuvo valores inferiores ($p < 0.05$) para las variables porcentaje de postura "PP", peso del huevo "PH" y masa de huevo "MH" (95.4%, 57g y 54.4g), en comparación con el SJC (97%, 58.1g y 56.4g) y el SJE (96.8%, 57.9g y 55.9g). La conversión alimentaria "CA" fue menor ($p < 0.05$) para el SJC (1.871), seguido del SJE (1.925) y por último el SSJ (1.977). Los porcentajes de huevo sucio de heces "%HSH" y de huevo sucio de sangre "%HSS" fueron mayores ($p < 0.05$) para el SSJ (34.5%) y el SJE (2.8%) respectivamente, en comparación con los otros dos sistemas; en cuanto al porcentaje de huevo roto "%HR", mostró ser similar y superior para el SJE (1.5%) y el SSJ (1.6%) al compararlos con el SJC (0.96%). Con respecto a la dieta, las variables PP, PH y MH fueron diferentes ($p < 0.05$), obteniendo valores superiores para el alimento con 18% de PC (96.9%, 58g y 56.1g) en comparación con el 16% de PC (95.9%, 57.4g y 55g). Además, la CA fue mejor ($p < 0.05$) para la dieta con 18% de PC (1.905) que con la de 16% PC (1.944). El %HR fue menor ($p < 0.05$) para la dieta con 16% e PC (1.2%) que con la de 18% de PC (1.5%); la variable grosor del cascarón "GC" mostró ser menor ($p < 0.05$) con el alimento de 18% de PC. En el experimento dos, se emplearon 900 gallinas de segundo ciclo (106 a 110 semanas de edad), con un diseño factorial 3*2 (sistema de alojamiento y dieta) con covariable. El PP y la MH mostraron ser mayores ($p < 0.05$) con el alimento de 16% de PC (84.3% y 53.3g) que con el de 14% de PC (80.7% y 50.2); además la CA, fue menor ($p < 0.05$) para la dieta con 16% de PC (2.058) en comparación con la de 14% de PC (2.148). Con respecto al sistema de alojamiento, el %HSH fue mayor en el SSJ con 41.2% ($p < 0.05$). El GC y la resistencia del cascarón "RC" mostraron valores superiores ($p < 0.05$) para el SJE (362 μm y 4.63 Kgf/cm²) y el SJC (351 μm y 4.69 Kgf/cm²) en comparación con el SSJ (338 μm y 4.08 Kgf/cm²). En cuanto a los gases contaminantes en la caseta, la concentración de amoníaco fue afectada por el sistema de alojamiento (no así por la dieta), siendo mayor ($p < 0.05$) para el SJC (2.65 ppm), seguido del SJE (2.14 ppm) y por último el SSJ (2.03 ppm). En el experimento tres, fueron observadas, registradas y descritas las frecuencias de patrones de comportamiento en gallinas Bovans White alojadas en los tres sistemas de alojamiento antes descritos (SJC, SJE y SSJ).

INTRODUCCIÓN

El incremento de la población mundial ha generado un aumento en la demanda de productos de origen animal y en consecuencia, la necesidad de mejorar el cuidado al medio ambiente, pero además el cuidado de los animales de producción con entornos que cubran sus necesidades básicas para una vida productiva de calidad, que permita la obtención de productos seguros y de un costo accesible para los consumidores.

Actualmente la avicultura es considerada una de las áreas de la producción animal con mayor desarrollo en todo el mundo (Lee, et al., 2020), y, el huevo, como uno de los productos con mayor contribución nutricional a la dieta de la población humana (Elson, 2011), por lo que, es importante conocer y comprender los nuevos retos y oportunidades en este campo de la zootecnia.

Producción de huevo y sostenibilidad

La producción avícola no sólo atraviesa un cambio en los sistemas de alojamiento para gallinas ponedoras (en busca de una mejora en su nivel de bienestar), también enfrenta la necesidad de cuidar el medio ambiente y mejorar la utilización de los recursos, manteniendo un nivel productivo eficiente, que pueda satisfacer la demanda actual y futura de los productos avícolas (Adebayo, et al., 2018; Siegford, et al., 2008). Se ha estimado que para el año 2050 la población mundial rebasará los 9 mil millones de habitantes, debido al acelerado crecimiento poblacional (Wang, et al., 2017), esto ha generado la necesidad de producir alimentos de origen animal en mayores cantidades para cubrir la creciente demanda (Costantini, et al., 2020).

En consecuencia, los impactos de la producción animal (incluida la producción de huevo para plato) en el medio ambiente, como el uso de los recursos (agua, suelo y energía), y la contaminación del aire (con la emisión de gases contaminantes), del suelo y del agua, se convierte en un problema cada vez más relevante (Molnár & Szöllösi, 2020). Aunado a esto, se considera que los efectos ambientales de la producción pecuaria dependen de la especie animal, el tipo de alimentación, el manejo del estiércol y las instalaciones para el alojamiento (Adebayo, et al., 2018).

Por lo tanto, actualmente existe un mayor interés por el progreso hacia una producción animal más “sostenible”. La palabra sostenibilidad no tiene una única definición, en realidad, es un concepto amplio que involucra los impactos ambientales (emisión de gases, explotación de la tierra, eliminación de desechos, etc.), sociales (seguridad de los trabajadores, productos de origen animal accesibles y seguros para la población) y económicos (eficiencia del proceso productivo) ocasionados por la producción avícola en sus distintos ámbitos (Mench, et al., 2016; Gunnarsson, et al., 2020; Van Asselt, et al., 2015). Las tres dimensiones de la sostenibilidad se relacionan entre sí, pero además se considera que tienen una estrecha relación con el bienestar animal, ya que la búsqueda de condiciones que mejoren la calidad de vida de los animales, permitirá una mejora en su salud, en el uso de recursos (como los medicamentos) y por último, la obtención de productos

seguros para los consumidores (Gunnarsson, et al., 2020; Van Asselt, et al., 2015; Wang, et al., 2017).

Como ejemplo, en Estados Unidos se creó la “Coalición para el Suministro Sostenible de Huevos” (CSES), integrada por investigadores, instituciones educativas, empresas de la industria de los alimentos, dependencias gubernamentales y organizaciones no gubernamentales; la finalidad de esta coalición fue evaluar diferentes sistemas de producción para gallinas ponedoras y su impacto en 5 áreas que se consideran importantes para una producción sostenible, las cuales son: Salud y bienestar de las aves, seguridad y calidad alimentaria (calidad y contaminación microbiana de los huevos), medio ambiente (emisión de gases, eficiencia en el uso de recurso, etc.), salud y seguridad de los trabajadores, y asequibilidad alimentaria (Mench, et al., 2016).

Por lo tanto, es relevante evaluar distintas alternativas de producción de huevo para plato (alojamiento, alimentación, etc.) en relación con los distintos ámbitos involucrados en el desarrollo sostenible del sector pecuario, así como la aplicación de estrategias que puedan mejorar el uso de los recursos en la producción avícola.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar a través de la eficiencia productiva, calidad de huevo y del cascarón, emisión de gases nitrogenados en el ambiente y bienestar animal, tres sistemas de alojamiento (jaula convencional, jaula enriquecida y piso o sistema sin jaula), así como el nivel de proteína cruda (estándar o reducido) en la dieta de gallinas ponedoras Bovans White.

Objetivos específicos

En los tres tipos de sistemas de alojamiento para gallinas ponedoras Bovans White alimentadas con dos tipos de dieta:

- Realizar el registro y evaluación de indicadores productivos y de clasificación del huevo: Porcentaje de postura, peso del huevo, masa del huevo, consumo de alimento, conversión alimenticia y, los porcentajes de huevo roto, sucio de heces, sucio de sangre y grande (gallinas de primer y segundo ciclo).
- Realizar la evaluación de indicadores sobre la calidad del huevo y del cascarón: Unidades Haugh, color de la yema, grosor y resistencia del cascarón (gallinas de primer y segundo ciclo).
- Determinar la concentración de gases contaminantes nitrogenados (amoníaco, óxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno) en el ambiente de las casetas, mediante el empleo de dispositivos colocados cerca del almacenamiento de las heces (gallinas de segundo ciclo).
- Evaluar descriptivamente patrones de comportamiento de mantenimiento y sociales en gallinas ponedoras Bovans White alojadas en tres distintos sistemas de alojamiento (gallinas de segundo ciclo).

HIPÓTESIS

El sistema de alojamiento así como el nivel de proteína de la dieta pueden afectar el rendimiento productivo, los indicadores de calidad del huevo y del cascarón en gallinas Bovans White de primer y segundo ciclo.

El sistema de alojamiento y el nivel de proteína de la dieta son factores que pueden afectar la emisión de gases nitrogenados al ambiente de la caseta en gallinas Bovans White de segundo ciclo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

México se mantiene como uno de los principales países productores de huevo a nivel mundial, esto es posible debido a la alta eficiencia de las producciones intensivas de gallinas ponedoras alojadas en su mayoría en sistemas de jaula convencional. Sin embargo, en las últimas décadas ha aumentado la preocupación por el bienestar de los animales de producción, por lo que, algunos países han prohibido o limitado el uso del sistema convencional, y han implementado sistemas alternativos para el alojamiento de las gallinas. En México, el bienestar animal es un tema que está comenzando a tomar importancia no sólo por la ciencia, también por los consumidores, organizaciones y algunas empresas de alimentos. Adicionalmente, en la actualidad, la producción animal también enfrenta la necesidad de mejorar la utilización de los recursos y cuidar el medio ambiente. En consecuencia, es importante que se realicen estudios bajo las condiciones de este país (ambiente, genética, manejo, etc), sobre la utilización de diferentes alternativas y estrategias de manejo, y su impacto sobre las áreas que abarca la producción animal sostenible. Esto permitirá contar con información relevante para la ciencia veterinaria, para el conocimiento público, y necesaria para la toma de decisiones en el sector avícola mexicano.

ANTECEDENTES

Situación actual de la producción de huevo en México

Durante el 2020, México albergó una población de 167,334,362 gallinas ponedoras, manteniéndose como uno de los principales países productores y como el país con mayor consumo de huevo en el mundo (UNA, 2021). Según datos de la Unión Nacional de Avicultores (2021), este país se ubica como el quinto productor de huevo a nivel mundial, (sólo por detrás de China, Estados Unidos, India y Brasil), con una producción que durante el 2019 fue de 129,800 cajas (cada una con 360 huevos), y un consumo per cápita que fue de 23.26 kg (UNA, 2021).

La alta eficiencia en la producción de huevo en un país como México ha hecho de este producto un alimento económico y por lo tanto asequible para los consumidores; además, se caracteriza por su alta calidad nutricional, ya que un solo huevo aporta 6.4 gramos de proteína la cual, es de alto valor biológico, es decir, que aporta una adecuada concentración y equilibrio de aminoácidos esenciales para las personas (Molnár & Szöllösi, 2020; Instituto de Estudios del Huevo, 2022).

Mantener una buena productividad en este país y al huevo como un alimento accesible y nutritivo para la población mexicana, es el resultado de la alta tecnificación de las unidades productivas de huevo en México; las cuales mantienen a las gallinas ponedoras en instalaciones intensivas de producción que emplean, en su mayoría, el sistema de jaula convencional (Rodríguez, 2009). El uso de este sistema se ha mantenido a través de los años debido a que permite el alojamiento de un gran número de aves en el interior de las casetas, además de facilitar los manejos (aves, huevo, estiércol, etc.) y la higiene en las instalaciones (Meng, et al., 2015; Mench, et al., 2011).

En cambio, en otras partes del mundo, los sistemas de producción intensiva de huevo para plato han sufrido una transición hacia otras alternativas para el alojamiento de las gallinas ponedoras; la sustitución del sistema convencional por otro tipo de sistemas ha sido ocasionada por modificaciones legislativas que buscan mejorar el bienestar de los animales de producción (Janczak & Riber, 2015; Yilmaz, et al., 2016; Matthews & Sumner, 2015).

En México, ha ido aumentando el interés por conocer las condiciones en las que se mantienen a los animales de producción (incluidas las aves) y su impacto en el bienestar (García, 2018). Esta mayor atención involucra tanto a la ciencia, como a los consumidores (ciertos sectores), organizaciones y algunas empresas de alimentos, los cuales (como se ha visto en otros países), tienen y van a tener una fuerte influencia sobre los cambios que puedan suceder en el sector productivo del huevo para plato (Tůmová, et al., 2011; Yilmaz, et al., 2016; Janczak & Riber, 2015; Matthews & Sumner, 2015). Por lo tanto, dada la actual importancia del bienestar y sostenibilidad en la producción animal, y a pesar de que en México no se cuentan con regulaciones muy estrictas sobre el alojamiento de las gallinas ponedoras, es

relevante evaluar y conocer otras alternativas y su efecto en la productividad, salud animal, calidad del huevo (incluyendo la calidad sanitaria), así como su impacto en el ambiente.

Sistemas de producción para gallinas ponedoras

Antes del desarrollo de los sistemas altamente automatizados que se emplean actualmente para la producción de huevo, las gallinas ponedoras se alojaban en corrales al exterior o “a campo abierto”, que contaban con áreas de refugio donde se les podía proveer de nidos (Wilhelm, 2017; Vizzier, et al., 2016). Estos corrales generalmente mantenían a pequeños grupos o parvadas de aves que no pasaban por ningún tipo de selección, y por lo tanto, la eficiencia productiva era baja en comparación con lo que ahora se produce, además la venta de huevo era local (Wilhelm, 2017; Elson, 2011). Se menciona que las gallinas tenían la posibilidad de explorar en el exterior y alimentarse de granos, gusanos e insectos, además podían realizar una gran variedad de pautas de comportamiento; sin embargo, se encontraban expuestas a vectores y depredadores, y había una mayor presencia de enfermedades, mortalidad y huevos sucios (Wilhelm, 2017; Vizzier, et al., 2016).

En la década de 1930, en países como Estados Unidos e Inglaterra, comenzaron a desarrollarse y emplearse jaulas de madera y metal para el alojamiento de las gallinas (Mench, et al., 2011; Wilhelm, 2017); la implementación de jaulas permitió mantener parvadas con un mayor número de aves en un determinado espacio y mejores condiciones de higiene (se evitó el contacto con las excretas), lo que disminuyó la incidencia de enfermedades, la mortalidad, así como la contaminación de los huevos (Appleby, et al., 2002; Wilhelm, 2017; Mench, et al., 2011) además de facilitar los manejos como la alimentación y la colecta de huevo (Mench, et al., 2011; Meng, et al., 2015; Vizzier, et al., 2016).

Se observó que los costos de producción disminuyeron debido a las ventajas que brindaba el empleo de las jaulas, por lo cual se considera que durante y después de la década de 1950 (época posterior a la segunda guerra mundial), este sistema tuvo un gran desarrollo, con producciones que comenzaban a ser más intensivas y más automatizadas (por ejemplo, ya se usaban cintas para la colecta y eliminación del estiércol); todo esto facilitó su empleo a mayor escala y su difusión a lo largo de Estados Unidos y Europa y que, a través de los años, se expandió a otros países menos desarrollados como México (Mench, et al., 2011; Wilhelm, 2017; Vizzier, et al., 2016).

Un acontecimiento que generó un cambio en la forma de ver el trato hacia los animales de producción y que significó un punto de partida para el interés público hacia el bienestar animal, fue la publicación (en el año de 1964) del libro “Animal Machines” (escrito por Ruth Harrison), el cual hizo una fuerte crítica hacia los sistemas de producción intensiva, incluido el alojamiento de gallinas ponedoras en jaulas en batería (Keeling, et al., 2018; Elson, 2011; Mench, et al., 2011). Este hecho dio lugar a la generación de informes y legislaciones sobre estándares relacionados

a la protección y cuidado de estos animales, (principalmente en países con un alto nivel de desarrollo), así como el inicio de una etapa de transición en los sistemas de producción tradicionales (Wilhelm, 2017; Mench, et al., 2011).

Se comenzó a considerar que las jaulas convencionales no brindaban un espacio y equipo necesario para que las aves gozaran de una adecuada libertad de movimiento y de expresar determinadas pautas de comportamiento y, por lo tanto, comenzó el desarrollo y evaluación de nuevos sistemas de alojamiento para gallinas ponedoras (Lay, et al., 2011; Tactacan, et al., 2009; Vizzier, et al., 2016; Yilmaz, et al., 2016).

Suiza fue el primer país en prohibir el sistema de jaula convencional en el año de 1992, posteriormente Suecia en el 2004 y Austria en el 2009 (Mench, et al., 2011; Campbell, et al., 2019; Leenstra, et al., 2014). En el año 1999, el Consejo de la Unión Europea adoptó la Directiva 1999/74/EC, en la cual se establecen normas de manejo para el cuidado y protección de las gallinas ponedoras; entre los requisitos establecidos por esta directiva se encuentra la prohibición de la implementación y el uso del sistema de jaula convencional (en los años 2003 y 2012, respectivamente), en todos los países miembros de la Unión Europea (CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA, 1999; Tactacan, et al., 2009). En consecuencia, desde entonces solo se pueden emplear “jaulas acondicionadas” (o “enriquecidas”) y los sistemas denominados “alternativos” para el alojamiento de las gallinas ponedoras (Guinebretière, et al., 2013; Englmaierová, et al., 2014).

Tomando como base lo descrito por la directiva 1999/74/EC, las jaulas equipadas o enriquecidas son aquellas en las que, además de contar con comedero y bebedero, se debe proveer de equipo como perchas (con un mínimo de 15 cm por ave), un área de nido, un área de cama (en la cual las gallinas puedan rascar y picotear) y además tener un espacio mínimo por ave de 750 cm² (CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA, 1999).

Los sistemas alternativos son aquellos que ya no utilizan ningún tipo de jaula para el alojamiento de las gallinas ponedoras, emplean una densidad máxima es de 9 aves por m² y pueden tener o no acceso al exterior de la caseta, entre estos se encuentran los sistemas de cama (o de un nivel) y los aviarios (casetas con un máximo de 4 niveles sobrepuestos), (Englmaierová, et al., 2014; Wilhelm, 2017; CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA, 1999). Entre los sistemas de producción en los cuales es necesario permitir que las gallinas tengan acceso a áreas en el exterior (que deben tener vegetación, como pasto y árboles, y un espacio mínimo de 4 m² por ave), se encuentran los denominados sistemas de libre pastoreo y los sistemas orgánicos; en estos últimos se establecen algunas restricciones con el tipo de alimentación (ingredientes orgánicos), el uso de ciertos productos terapéuticos, vacunación y la densidad de población (máximo 6 aves por m²), (Wilhelm, 2017; García, 2018; Elson, 2009).

El objetivo de estos sistemas alternativos es mejorar el bienestar animal al proveer a las gallinas de un mayor espacio para moverse, además de contar con elementos adicionales que permitan enriquecer el ambiente en donde se encuentran las aves, y que así, puedan expresar un mayor repertorio conductual (Wilhelm, 2017; David, et al., 2015).

En ciertos países como Nueva Zelanda, Australia, Canadá y Estados Unidos, cada vez se muestra más interés por un cambio en la producción convencional de huevo para plato, y se ha comenzado a debatir la futura (y pronta) prohibición de las jaulas convencionales (Wilhelm, 2017); inclusive, es importante mencionar que ya se ha prohibido o limitado el uso de jaulas en ciertos estados como California, Michigan, Ohio, Washington y Oregón (Matthews & Sumner, 2015; Vizzier, et al., 2016).

La experiencia de la Unión Europea ha demostrado que, la implementación de sistemas alternativos para el alojamiento de las gallinas puede tener un impacto sobre varios aspectos de la producción avícola incluidos, la calidad y seguridad del huevo, la economía, la salud de los trabajadores y el medio ambiente (Mench, et al., 2016). Por lo tanto, el sistema de alojamiento se debe considerar como un factor que tendrá efectos importantes en el bienestar y la productividad de las aves, pero además, en otras áreas de interés para la sociedad (Mench, et al., 2016; Englmaierová, et al., 2014).

Finalmente, en el desarrollo de cada uno de los sistemas de alojamiento mencionados, se han llevado a cabo distintas evaluaciones que permiten mejorar su funcionamiento en instalaciones a gran escala, y por lo tanto mantener un buen nivel productivo (Blatchford, et al., 2016).

Proteína en la dieta de las aves de producción y su uso como una estrategia nutricional

La proteína (del griego “proteios” cuyo significado es “de importancia primordial”), es un nutrimento esencial, así como un componente indispensable y de alto costo en la alimentación de las aves de producción (Subcommittee on Poultry Nutrition, NRC, 1994; Ji-Hyuk, 2015; Neijat, et al., 2011). Estructuralmente son biomoléculas constituidas por cadenas de distintos aminoácidos, los cuales, a su vez son moléculas conformadas por un grupo amino, un grupo carboxilo y una cadena lateral que es diferente en cada aminoácido y que le va a conferir sus propiedades (Müller-Esterl, 2008; Appleton & Vanbergen, 2013). Las proteínas presentan cuatro niveles estructurales dada por sus enlaces y conformación espacial. La estructura primaria se refiere a la cadena lineal de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos (unión del grupo carboxilo de un aminoácido con el grupo amino del siguiente); otro tipo de enlace presente entre los aminoácidos, son los puentes de hidrógeno, los cuales generan interacciones que darán lugar a la estructura proteica secundaria con dos tipos de conformación, las hélices α y las láminas plegadas β (Müller-Esterl, 2008; Appleton & Vanbergen, 2013). La interacción entre las hélices α y las láminas plegadas β generará una conformación tridimensional de las proteínas, denominada

estructura terciaria; finalmente, la estructura cuaternaria es aquella en la que se presentan uniones entre diferentes cadenas polipeptídicas (Müller-Esterl, 2008; Appleton & Vanbergen, 2013).

En el organismo de las aves existe una constante síntesis (anabolismo) y degradación (catabolismo) de proteínas, por lo cual, para poder mantener ese estado dinámico o recambio proteico, es fundamental que las dietas cubran los requerimientos de aminoácidos individuales (Subcommittee on Poultry Nutrition, NRC, 1994; Qaid & Al-Garadi, 2021). Estos aminoácidos serán absorbidos en el tracto digestivo y empleados para la síntesis de diferentes proteínas en el organismo de las aves, en función de sus necesidades de mantenimiento y producción (Subcommittee on Poultry Nutrition, NRC, 1994; Ji-Hyuk, 2015). Adicionalmente, los requerimientos pueden variar según la edad (etapa productiva) y genética (razas o estirpes) de las aves, así como de las características de su dieta y las condiciones de su entorno (ambiente y sistema de alojamiento) (Macelline, et al., 2021; (Subcommittee on Poultry Nutrition, NRC, 1994; Ji-Hyuk, 2015; Rama Rao, et al., 2011). En relación con las gallinas de postura, se conoce que la composición de la dieta tendrá un impacto en la producción y la calidad del huevo, por lo que, un adecuado aporte de nutrimentos (incluida la proteína) evitará un impacto negativo en ambos aspectos (Wang, et al., 2017).

Los aminoácidos son la base para el mantenimiento de distintas actividades que son vitales para las aves; en general, cumplen con una función estructural, en la formación y mantenimiento del tejido muscular (Ospina-Rojas, et al., 2017; Lee, et al., 2020), así como de las plumas (ricas en cistina y la metionina), (Ji-Hyuk, 2015). También están implicados en distintos mecanismos, como el transporte de moléculas, la inmunidad, la digestión y en la reproducción de las aves (Qaid & Al-Garadi, 2021); ya que forman parte de las proteínas sanguíneas (como globulinas, albúmina y hemoglobina), enzimas, y hormonas peptídicas como LH, FSH, calcitonina y hormona del crecimiento (Ávila, et al., 1996).

Las proteínas presentes en el organismo de las aves están compuestas por aproximadamente 20 a 22 diferentes aminoácidos (Poultry Science, 1999; Subcommittee on Poultry Nutrition, NRC, 1994). Todos esos aminoácidos son esenciales en el metabolismo para mantener un adecuado anabolismo o síntesis de las proteínas corporales, sin embargo, desde el punto de vista nutricional se clasifican generalmente en dos categorías. La primera son los aminoácidos “esenciales” (metionina, lisina, , triptófano, treonina, fenilalanina, cisteína, tirosina, leucina, isoleucina, arginina, histidina y valina), y son denominados así debido a que no pueden ser sintetizados (o no de forma suficiente) en el organismo y por lo tanto es necesario proporcionarlos en la dieta; los aminoácidos cisteína y tirosina también se consideran como “semiesenciales” ya que pueden ser sintetizados a partir de los aminoácidos esenciales metionina y fenilalanina (respectivamente), (Subcommittee on Poultry Nutrition, NRC, 1994; Appleton & Vanbergen, 2013; Qaid & Al-Garadi, 2021). La segunda categoría son aquellos aminoácidos que sí pueden ser

sintetizados endógenamente (a partir de otros aminoácidos o moléculas intermediarias) y se denominan “aminoácidos no esenciales” (entre los que se encuentran alanina, serina, asparagina, aspartato, glutamato, glutamina, glicina y prolina), (Qaid & Al-Garadi, 2021; Subcommittee on Poultry Nutrition, NRC, 1994).

Estrategias nutricionales

Los avances científicos y tecnológicos en el área de la nutrición han sido fundamentales para el progreso hacia una producción animal más sostenible (Macelline, et al., 2021; Belloir, et al., 2017), ya que han permitido mejorar la utilización de los recursos, al ofrecer dietas más cercanas a los requerimientos nutricionales reales de las gallinas de postura (Wang, et al., 2017; Naranjo, 2016). Por ejemplo, actualmente se cuenta con técnicas muy prácticas, para poder estimar el contenido de nutrimentos en los ingredientes (como la espectroscopía de infrarrojo cercano “NIR”), lo que permite una formulación más precisa de las dietas para aves (Naranjo, 2016). A partir de estos progresos se han aplicado nuevos manejos en la alimentación de las aves cuyo objetivo es obtener ventajas como una disminución en los costos de producción y una reducción en el exceso y excreción (o eliminación) de ciertas moléculas que contaminan el medio ambiente (Macelline, et al., 2021; Fuente, et al., 2012; Wang, et al., 2017).

En la década de 1940 comenzó el estudio de la reducción del nivel de proteína cruda en la dieta de las aves de producción (Kidd, et al., 2021). Desde entonces el conocimiento obtenido a través de varios años de investigación ha permitido mejorar esta estrategia. Ahora se sabe que las aves tienen un requerimiento nutrimental de aminoácidos, y no, de un determinado nivel de proteína cruda como tal; y que, la suma de ambos permitirá un suministro adecuado de aminoácidos esenciales y no esenciales (así como de nitrógeno para la síntesis de estos últimos), (Subcommittee on Poultry Nutrition, National Research Council, 1994; Ji-Hyuk, 2015; Pesti, 2009). Por lo tanto, un desarrollo clave en la alimentación de las aves es el uso de aminoácidos suplementarios (sobre todo aquellos que son limitantes como metionina, lisina y treonina), los cuales fueron empleados desde la década de 1950; específicamente el aminoácido purificado dl-metionina, fue el primero en utilizarse en el año de 1951 (Kidd, et al., 2021; Macelline, et al., 2021; Lee, et al., 2020; Pesti, 2009). La aplicación de ambos manejos en conjunto ha dado lugar a una estrategia nutricional que no solo permite la formulación de dietas reducidas en proteína, sino que además mantiene un adecuado aporte y equilibrio de aminoácidos esenciales, evitando así, deficiencias y excesos (denominada “proteína ideal”) (Ji-Hyuk, 2015; Naranjo, 2016; Burley, et al., 2013; Novak, et al., 2006). De este modo se busca optimizar el aprovechamiento del nitrógeno dietético en el organismo de las aves, con una disminución en la eliminación de nitrógeno en las excretas, pero sin afectar la productividad (Novak, et al., 2006; Macelline, et al., 2021; Burley, et al., 2013).

El impacto de la aplicación de esta estrategia en la avicultura ha sido informado por varios estudios, los cuales han obtenido resultados contradictorios en cuanto a la productividad, así como en la excreción de nitrógeno al ambiente. (Rama Rao, et

al., 2011; Wu-Haan, et al., 2007; Dao, et al., 2021; Novak, et al., 2006; Fuente, et al., 2012).

Finalmente, el uso más eficiente de ingredientes de alta demanda y costo (que ha ido en aumento), como los cereales fuente de proteína (Houshmand, et al., 2012; Azzam, et al., 2019; Burley, et al., 2013; Subcommittee on Poultry Nutrition, National Research Council, 1994), aunado a la mayor disponibilidad, accesibilidad y uso de aminoácidos suplementarios (Burley, et al., 2013; Kidd, et al., 2021) ha permitido obtener ventajas muy importantes en la producción avícola (Macelline, et al., 2021). Una de ellas es la optimización en el costo de la dieta (Novak, et al., 2006; Macelline, et al., 2021; Awad, et al., 2015), el cual, según datos de la Unión Nacional de Avicultores (UNA, 2021), representó el 61% del total de los costos de producción en el año 2020. Otra ventaja es la reducción del exceso de nitrógeno proteico en la dieta y por lo tanto en su excreción y la generación de contaminantes ambientales de gran relevancia en la avicultura como el amoniaco (Wang, et al., 2017; Belloir, et al., 2017), óxido nitroso (N₂O) y otros óxidos de nitrógeno (NO_x), (Adebayo, et al., 2018).

Contaminantes aéreos nitrogenados

Actualmente, la calidad del aire en las casetas avícolas es un tema de mucho interés tanto para la ciencia veterinaria, como para la ciencia ambiental (Wathes, et al., 1997), ya que representa la capacidad de mantener condiciones ambientales adecuadas en el entorno de las aves (y trabajadores), incluida la concentración de gases contaminantes como el amoniaco (Osorio, et al., 2016; Kilic & Yaslioglu, 2014).

El amoniaco (NH₃) es considerado como el principal gas contaminante generado en las producciones avícolas (Pokharel, et al., 2017; Kilic & Yaslioglu, 2014; Xin, et al., 2011), y es un compuesto que participa en el ciclo del nitrógeno en la atmósfera (Kilic & Yaslioglu, 2014). Por lo tanto, conocer y entender el mecanismo y los factores que intervienen en la generación de este gas (y otros contaminantes atmosféricos), permitirá la aplicación de tecnologías y estrategias que disminuyan su síntesis y, por lo tanto, su efecto al medio ambiente, al bienestar y la salud de las aves y los trabajadores. (Osorio, et al., 2016; Zheng, et al., 2020; Soto-Herranz, et al., 2021).

Generación contaminantes nitrogenados

Los aminoácidos de la dieta que no sean utilizados por el organismo de las aves no podrán ser almacenados, y, en consecuencia, serán eliminados (Roberts, et al., 2007), esto dará lugar a la excreción de compuestos nitrogenados, como urea, sales de amoniaco, pero principalmente (y más del 50 %) ácido úrico (Roberts, et al., 2007; Brouček & Čermák, 2015; David, et al., 2015). En el estiércol, las enzimas bacterianas degradarán el ácido úrico (Adebayo, et al., 2018; Brouček & Čermák, 2015) generando como producto urea, la cual finalmente se transforma en amoniaco por la acción de la ureasa bacteriana (Nahm, 2003). Adicionalmente, se menciona

a los óxidos de nitrógeno (NOx), como otros contaminantes nitrogenados de importancia que se emiten en la producción avícola (Adebayo, et al., 2018); los cuales, junto con el amoniaco, pueden ser precursores de otros compuestos como el nitrato de amonio (Hong, et al., 2021).

Actualmente se conoce que el grado en que se genera y volatiliza el amoniaco en el estiércol de las aves, depende de factores ambientales como la temperatura y la humedad (Li, et al., 2020; Shepherd, et al., 2015; Belloir, et al., 2017; Xin, et al., 2011), así como de factores de manejo en las instalaciones de producción tales como, la ventilación (Osorio, et al., 2016; Wathes, et al., 1997) y el manejo del estiércol; en relación a este último punto, las propiedades físicas y químicas del estiércol, como la humedad y el pH, jugarán un papel fundamental, ya que al aumentar su valor, propician la generación de amoniaco (Shepherd, et al., 2015; Li, et al., 2008; Roberts, et al., 2007; Xin, et al., 2011). Otras características que se consideran importantes son, el material o sustrato de cama (Calvet, et al., 2011), la densidad poblacional (Shepherd, et al., 2015), la edad de las aves (Wathes, et al., 1997), la composición de la dieta (como el contenido de proteína), (Wu-Haan, et al., 2007; Kilic & Yaslioglu, 2014; Xin, et al., 2011) y la eficiencia de conversión alimentaria (Brouček & Čermák, 2015). Varios de estos factores pueden cambiar y/o estar muy relacionados con el tipo y el diseño del sistema de alojamiento (convencional o alternativo).

Amoniaco

El amoniaco es un gas alcalino, de corta vida y altamente volátil, que a determinadas concentraciones ocasiona efectos negativos sobre el medio ambiente y sobre la salud y bienestar de las aves y los trabajadores (Wu-Haan, et al., 2007; Kilic & Yaslioglu, 2014; Osorio, et al., 2016; Zheng, et al., 2020; Li, et al., 2020; Molnár & Szöllösi, 2020). Dicho contaminante, puede dar lugar a la deposición de nitrógeno en los ecosistemas y generar eutrofización de ríos y lagos, y acidificación del suelo, además de que puede ser causante de lluvias ácidas (Xin, et al., 2011; Belloir, et al., 2017; Osorio, et al., 2016; Li, et al., 2008; Molnár & Szöllösi, 2020). Inclusive se menciona su papel como precursor de óxido nitroso, el cual es un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento global 265 veces mayor que el CO₂ (Wiedemann, et al., 2016; Adebayo, et al., 2018).

Debido a su solubilidad en agua, el amoniaco puede ser absorbido por las mucosas de las aves y por los tejidos que entran en contacto con el estiércol, generando problemas como queratoconjuntivitis, daño y pérdida de cilios del epitelio respiratorio, y lesiones en superficies corporales como las almohadillas plantares y la piel de las aves (David, et al., 2015); se ha observado que, a una concentración de 15 ppm (o mayor), puede ocasionar lesiones inflamatorias en el tracto respiratorio y una alteración en la microbiota traqueal en pollos de engorda, dando lugar a una mayor susceptibilidad de las aves a infecciones respiratorias (Zhou, et al., 2021). Todas estas alteraciones van a afectar la salud y bienestar de las aves y por lo tanto su consumo de alimento y productividad (Adebayo, et al., 2018). Las guías de

manejo de la estirpe Bovans White (para gallinas alojadas tanto en jaula como en sistemas alternativos), mencionan que, 20 ppm de amoniaco, es el nivel o la concentración máxima recomendada en las naves de postura (Hendrix Genetics, 2020).

La mayor intensificación en las producciones avícolas ha dado lugar a una mayor generación de subproductos provenientes de este sector, como las heces de las aves (Rosa, et al., 2022), por lo que, los manejos y estrategias que se empleen con las aves y su estiércol serán un determinante en el nivel que se puede reducir la emisión de amoniaco en las casetas avícolas y en el medio ambiente.

Control de la generación de amoniaco

Dada la importancia del amoniaco en la producción avícola, se han probado distintos manejos cuya finalidad es disminuir la formación y emisión de dicho gas desde el estiércol de las aves; dentro de estos manejos se encuentran: La manipulación dietética (Xin, et al., 2011; Belloir, et al., 2017), la eliminación constante y secado del estiércol almacenado en las casetas (Wathes, et al., 1997; (Xin, et al., 2011), y el uso de aditivos en las heces (como los acidulantes) que promueven la formación del ion amonio (NH_4^+) el cual no es volátil (Li, et al., 2008). Finalmente, la implementación de diferentes sistemas de alojamiento (en sus distintos diseños), va a implicar diferentes manejos (ventilación, frecuencia de eliminación del excremento, uso y calidad de la cama, etc.), así como un cambio en la densidad poblacional y movimiento de las aves, lo cual puede generar diferencias en la emisión de gases como el amoniaco (Brouček & Čermák, 2015; Kilic & Yaslioglu, 2014; Zhao, et al., 2015; Zheng, et al., 2020; Shepherd, et al., 2015; Li, et al., 2008). Esas diferencias en las condiciones de manejo (debidas al tipo de alojamiento) y, por tanto, en las propiedades del estiércol (temperatura, la humedad, el pH, el contenido de oxígeno, etc.), van a impactar y determinarán la actividad de los microorganismos que generan amoniaco a partir del nitrógeno presente en el excremento (Belloir, et al., 2017; Roberts, et al., 2007; Calvet, et al., 2011; Li, et al., 2008; Xin, et al., 2011).

Bienestar animal en los animales de producción

Como se mencionó anteriormente, el bienestar animal es un aspecto que está estrechamente vinculado y contribuirá a la sostenibilidad en las producciones animales (Van Asselt, et al., 2015).

Desde la publicación del libro “Animal machines”, en la década de 1960, comenzó un cambio sobre la forma en que se percibía el bienestar de los animales destinados a la producción de alimentos (Keeling, et al., 2018). A partir de esa época y a través de los años, ha incrementado el interés por este tema de parte de la ciencia (incluida la Medicina Veterinaria) los consumidores (y público en general), los medios de comunicación, organizaciones, y el gobierno de varios países (principalmente en Europa), (Friedrich, 2012; Galindo & Orihuela, 2004). En el año de 1965, en Inglaterra, se creó el comité de investigación “Brambell” (llamado así por el científico

y presidente de dicho comité, Roger Brambell), el cual publicó un informe que discute el concepto de “bienestar animal”, así como lo que involucra (bienestar físico y mental del animal), además, habla de la importancia de la evidencia científica para evaluarlo (Friedrich, 2012; Keeling, et al., 2018). Por lo que, se considera que este documento contribuyó de manera muy importante en los cambios legislativos en la Unión Europea, sobre el manejo de los animales de producción (Keeling, et al., 2018), como la prohibición de las jaulas convencionales para gallinas ponedoras. Además, en dicho informe se describirían las conocidas “Cinco libertades” a las que tienen derecho los animales de producción, las cuales son: libre de hambre, sed y desnutrición; libre de miedos y angustias; libre de incomodidades físicas o térmicas; libre de dolor, lesiones o enfermedades; y libre para expresar las pautas propias de comportamiento (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2022). El Código Sanitario para los Animales Terrestres de la OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal), menciona a las cinco libertades (o derechos) de los animales como “pautas que deben regir el bienestar animal”, al cual define como “estado físico y mental de un animal en relación con las condiciones en las vive y muere” (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2022).

En 1986, el biólogo Donald M. Broom definió al bienestar animal como “el estado de un individuo con relación a sus intentos por afrontar su ambiente” (Broom, 1988), este concepto es ampliamente aceptado y usado debido a que se considera que el bienestar no se refiere a algo que el hombre proporcione a los animales, si no una característica o condición del animal en un determinado momento (sea buena o mala), y que implica su salud, así como sus mecanismos de adaptación al entorno (Broom, 2012; Galindo & Orihuela, 2004; Dawkins, 1990). En este aspecto, el bienestar es un estado cambiante y las acciones de las personas vinculadas con el manejo de los animales de producción (como el alojamiento de gallinas en diferentes sistemas de producción), son las que van a impactar de manera positiva o negativa en ese estado (Galindo & Orihuela, 2004).

Se han investigado y empleado diversos indicadores para la evaluación científica del nivel de bienestar de los animales de producción, entre los que se han descrito para las gallinas de postura se encuentran: Condición del plumaje, limpieza de las plumas del cuerpo, daño en piel o almohadillas plantares, deformación del hueso de la quilla, comportamiento apropiado, e inclusive medidas que involucran la medición de indicadores de estrés hormonales como la corticosterona y celulares como la relación heterofilo:linfocito (Forkman & Keeling, 2009; Tauson, et al., 2005; Singh, et al., 2009). Se considera que, aunque no hay un indicador ideal o único para medir el bienestar (Dawkins, 2003; Blokhuis, et al., 2007), es necesario emplear métodos que sean objetivos y que se usen en conjunto para obtener una mayor información sobre el estado de los animales (Dawkins, 2003). En Europa se han creado protocolos (específicos para diferentes especies de producción), como los de Welfare Quality y AWIN (Animal Welfare Indicators), que describen indicadores para evaluar la condición de los animales y de su entorno, tanto en granja como en su

procesamiento (Quality®, 2019; The European Animal Welfare Indicators Project, 2015). Estos protocolos fueron desarrollados por medio de la colaboración de profesionales e investigadores expertos en el tema y tienen la finalidad de ser una herramienta para la certificación del cumplimiento de buenas prácticas (y mejorarlas continuamente) en relación con el bienestar animal, por medio de auditorías. Además, el proyecto “Welfare Quality”, considera 4 principios para el bienestar animal (buen alojamiento, buena alimentación, buena salud y comportamiento apropiado), los cuales a su vez se dividen en 12 criterios (Welfare Quality, 2019). Cabe destacar que en México si se cuentan con documentos como normas y manuales que tienen un impacto o relación con el bienestar de los animales, sin embargo, hasta ahora no se ha desarrollado un protocolo específico como los mencionados anteriormente.

El estudio del comportamiento animal, es una herramienta muy valiosa para la investigación científica sobre el bienestar de las aves de producción, debido a que nos brinda información muy relevante sobre cómo las gallinas enfrentan diferentes entornos y esto se refleja en su capacidad para adaptarse y expresar pautas de comportamiento para las que están altamente motivadas, además de proporcionar una base para comprender la posible causa de alteraciones de la conducta (Keeling, et al., 2018; Webstert & Hurnik, 1990) Adicionalmente, se considera que la observación del comportamiento (y los cambios que puede presentar), es uno de los indicadores más accesibles de emplear para la evaluación del bienestar (Olsson, et al., 2018).

Para poder establecer una relación entre el comportamiento de una especie animal y su bienestar, es importante conocer cómo se comporta dicha especie en condiciones extensas o naturales (descrito como “línea de base”) y poder compararlo con aquellos animales (congéneres) que se encuentran en ambientes “artificiales” o de producción, y así, detectar posibles cambios debidos a la domesticación (Olsson, et al., 2018).

Las gallinas domésticas son descendientes de las aves silvestres de la jungla roja ubicada en Asia (Galindo & Orihuela, 2004; Dawkins, 1989); se menciona que estas aves presentaban comportamientos que les permitieron adaptarse y sobrevivir a nuevos y diferentes entornos, lo que también favoreció su domesticación (Siegel, 1984; Mauldin, 1992). Sin embargo, es importante analizar si los cambios en el ambiente y manejo de las aves se encuentran dentro de sus posibilidades de adaptación, para lo cual, las medidas conductuales serán indicadores relevantes (Mauldin, 1992).

Se han estudiado diversas metodologías para la medición y registro del comportamiento animal, una de ellas es la determinación de la cantidad de veces que los animales presentan cierto patrón de comportamiento en un periodo de tiempo, es decir, se obtiene su frecuencia de presentación (Galindo & Orihuela, 2004). Estas observaciones nos pueden brindar información básica y relevante

sobre cómo los animales se adaptan e interactúan en diferentes ambientes de alojamiento; adicionalmente, representa una manera para tratar de conocer la experiencia subjetiva de los animales, a través de sus preferencias y motivaciones (Olsson, et al., 2018).

En relación con lo anterior, es importante mencionar que la realización de distintas pautas de comportamiento estará determinada por mecanismos motivacionales (Broom, 2012), en cuyos casos los animales intentarán realizar determinadas conductas inclusive en entornos que no brindan los medios o recursos necesarios para llevarlas a cabo (Dawkins, 1990). Se considera que los sistemas de producción intensivos en muchos de los casos (por ser entornos simples) no permiten a los animales llevar a cabo comportamientos para los que están muy motivados, y en donde, inclusive pueden llegar a presentar comportamientos agresivos o “anormales” (como las estereotipias), estos pueden ser indicativos de un bajo nivel de bienestar, y generar estados emocionales desagradables (Broom, 2012; Broom, 1988; Dawkins, 1990; Fraser & Nicol, 2018).

Un concepto que se emplea para expresar la prioridad o fuerza de motivación de los animales para distintas pautas de comportamiento es lo que se conoce como “Elasticidad de la demanda” (con base en lenguaje de economía), el cual clasifica a las conductas en aquellas con demanda inelástica y aquellas con demanda elástica (Fraser & Nicol, 2018). Se considera que los comportamientos con demanda inelástica son aquellos a los que se debe prestar atención para el diseño del ambiente o las instalaciones para el alojamiento de los animales de producción (Dawkins, 1990), debido a que son “actividades básicas” (como comer) y los animales las van a realizar en las diversas condiciones en las que se puedan encontrar (Fraser & Nicol, 2018).

La información obtenida en este tipo de estudios nos ayudará a mejorar los manejos y diseños de cada uno de los diferentes tipos de sistemas de alojamiento, con base en los requerimientos y posibles problemas de comportamiento observados en las aves (Broom, 2012; Mauldin, 1992; Fraser & Nicol, 2018). Finalmente, un entorno adecuado es aquel en el que los animales tengan la posibilidad de satisfacer sus necesidades de comportamiento y que, en consecuencia, favorezca un buen bienestar, salud y por lo tanto una buena eficiencia productiva (Broom, 2012; Weeks & Nicol, 2006).

DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN

MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (C.E.I.E.P.Av.) de la FMVZ-UNAM, el cual, está localizado en la calle Manuel M. López s/n, Colonia Zapotitlán, Delegación Tláhuac, CDMX.; se ubica a una altura de 2254 msnm, el clima es de tipo templado subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura promedio anual es de 16°C y la precipitación pluvial anual media de 747 mm (INEGI, 2014).

Los procedimientos de cuidado y manejo de las aves involucrados en la presente investigación fueron aprobados por el Subcomité Institucional para el Cuidado y Uso de los Animales Experimentales (SICUAE, FMVZ-UNAM).

La presente investigación se dividió en 3 experimentos a lo largo del ciclo productivo de las aves.

Experimento 1:

Aves y dieta

Se emplearon un total de 900 gallinas de la estirpe Bovans White de 22 semanas de edad, las cuales se colocaron de manera aleatoria en 3 diferentes sistemas de alojamiento.

- A. Jaula convencional (Figura 1): Jaulas de alambre galvanizado con 1800 cm² (40x45 cm), en las cuales se alojaron 3 gallinas/ jaula (600 cm²/gallina), con un bebedero de copa para cada 6 aves y un comedero lineal con un espacio de 13.3 cm/gallina.
- B. Jaula enriquecida (Figura 2): Jaulas de alambre galvanizado con 33,625 cm² (269 cm de largo x125 cm de ancho) y 76 cm de altura, en las cuales se alojaron 30 gallinas (1,120.8 cm²/gallina); con 13 bebederos tipo niple con copa, dos comederos lineales a ambos lados de la jaula, dos perchas cuadradas de madera. Del espacio total de la jaula, 8000 cm² (23.8%) corresponden para el área de nido (266 cm²/gallina) y 25,625 cm² (76.2%) al espacio libre (854.2 cm²/gallina). El área de nido se mantuvo cubierta para mantener el área en penumbra.
- C. Sistema sin jaula o de piso (Figura 3): Se empleó un espacio con un área total de 60,000 cm² (2 m de ancho x 3 m de largo), en donde se alojaron 30 gallinas (2000 cm²/ave). Se les colocó un bebedero de campana, y un comedero tipo tolva y 10 nidos de lámina, cada nido tenía un área de 9,262.5 cm² (264.64 cm²/ave).

Adicionalmente, se emplearon dos tipos de dieta:

1. Dieta estándar o control con 18% de Proteína Cruda (PC)

2. Dieta experimental o reducida en proteína con 16% de PC.

Ambas dietas a base de maíz, pasta de soya y suplementadas con aminoácidos sintéticos, fueron formuladas para cumplir con las recomendaciones nutricionales actuales para la estirpe Bovans White (Hendrix Genetics, Version L7121-2). En las tablas 1 y 2 se presentan los ingredientes y composición nutricional calculada de las dietas. Los alimentos terminados se analizaron mediante espectroscopia de reflectancia del infrarrojo cercano (NIR) para conocer su contenido de nutrientes. Por último, el alimento se ofreció ad libitum y en forma de harina.

En total fueron 6 tratamientos con 5 réplicas cada uno, quedando conformados de la siguiente manera:

Sistemas de alojamiento	Porcentaje de PC en la dieta	Tratamiento	Número de réplicas
Sistema de Jaula Convencional (SJC)	18%	A1	5 (10 jaulas/réplica)
	16%	A2	5 (10 jaulas/réplica)
Sistema de Jaula Enriquecida (SJE)	18%	B1	5 (1 jaula/réplica)
	16%	B2	5 (1 jaula/réplica)
Sistema Sin Jaula o de piso (SSJ)	18%	C1	5 (1 área de piso/réplica)
	16%	C2	5 (1 área de piso/réplica)

En general, se empleó un fotoperiodo de 16 horas luz y 8 de oscuridad por día.

El estudio tuvo una duración de 15 semanas.

Parámetros productivos:

Se llevó a cabo el registro diario del número total de huevos, peso de huevo, números de huevos sucios (huevo manchado de heces o sangre), grandes y rotos. Con estos datos se calculó el porcentaje de postura "PP" (número de huevos/número de gallinas*100), peso del huevo "PH", masa de huevo "MH" (% de postura*peso promedio de huevo/100), consumo de alimento diario por gallina "CAD", conversión alimentaria "CA" (consumo ave día/masa de huevo), porcentaje de huevo sucio de heces "%HSE" y de sangre "%HSS", porcentaje de huevo roto "%HR" y porcentaje de huevo grande "%HG".

Las gallinas se pesaron al inicio y al final de la prueba para determinar la ganancia de peso corporal en cada uno de los tratamientos.

Calidad del huevo

Se llevó a cabo la evaluación de la calidad interna del huevo y del cascarón en la última etapa del experimento, para lo cual se seleccionaron aleatoriamente 6 huevos de cada réplica (30 huevos por cada tratamiento). A continuación, se describen las características evaluadas y el equipo empleado en cada caso:

- Peso del huevo: Báscula digital (gramo por gramo), con capacidad de 5kg (Marca OHAUS®). Para determinar las Unidades Haugh.
- Altura de la albúmina: Sistema QCD de la empresa Technical Services and Supplies (TSS®). Para determinar las Unidades Haugh.
- Unidades Haugh (UH): Se calcularon con la fórmula:

$$\begin{aligned} & \textit{Unidades Haugh} \\ & = 100 \times \textit{Log} [\textit{Altura de la albúmina densa} - 1.7 \times (\textit{peso huevo})^{0.37} \\ & \quad + 7.6] \end{aligned}$$

- Color de la yema (CY): Abanico colorimétrico de DSM.
- Grosor del cascarón (GC): Micrómetro digital (Digimatic Micrometer Mitutoyo® Modelo APBID).
- Resistencia del cascarón (RC): Egg Force Reader (“Lector de la fuerza del huevo”), con un rango de medición máximo de 5.000 kg de fuerza (Fabricante ORKA FOOD TECHNOLOGY).

Experimento 2:

Aves y dieta

Se emplearon un total de 900 gallinas Bovans White de segundo ciclo (106 semanas de edad), las cuales se colocaron de manera aleatoria en los 3 diferentes sistemas de alojamiento (SJC “A”, SJE “B”, y SSJ “C”); asimismo, el alimento se ofreció en presentación de harina y ad libitum. También se emplearon dos tipos de dieta, una estándar (16% de PC, “1”) y una reducida en proteína (14% de PC, “2”); ambas fueron formuladas a base de maíz, pasta de soya y suplementadas con aminoácidos sintéticos para cubrir los requerimientos nutricionales de la estirpe; En las tablas 7 y 8 se presentan los ingredientes y composición nutricional calculada de las dietas. Los alimentos terminados se analizaron mediante espectroscopia de reflectancia del infrarrojo cercano (NIR) para conocer su contenido de nutrientes.

En total fueron 6 tratamientos con 5 réplicas cada uno, quedando conformados de la siguiente manera:

Sistemas de alojamiento	Porcentaje de PC en la dieta	Tratamiento	Número de réplicas
Sistema de Jaula Convencional (SJC)	16%	A1	5 (10 jaulas/réplica)
	14%	A2	5 (10 jaulas/réplica)
Sistema de Jaula Enriquecida (SJE)	16%	B1	5 (1 jaula/réplica)
	14%	B2	5 (1 jaula/réplica)
Sistema Sin Jaula o de piso (SSJ)	16%	C1	5 (1 área de piso/réplica)
	14%	C2	5 (1 área de piso/réplica)

El estudio tuvo una duración de 4 semanas.

Parámetros productivos:

Se llevó a cabo la evaluación de las mismas variables productivas consideradas en el en el experimento 1 (porcentaje de postura “PP”, peso del huevo “PH”, masa de huevo “MH”, consumo de alimento diario por gallina “CAD”, conversión alimentaria “CA”, porcentaje de huevo sucio de heces “%HSE” y de sangre “%HSS”, porcentaje de huevo roto “%HR” y porcentaje de huevo grande “%HG”).

Calidad del huevo

Se realizó la evaluación de la calidad interna del huevo y del cascarón en la última etapa del experimento, para lo cual se seleccionaron aleatoriamente 12 huevos de cada réplica (60 huevos por cada tratamiento). Se consideraron las mismas características evaluadas en el experimento 1 (unidades Haugh, color de la yema, grosor y resistencia del cascarón).

Emisión de gases nitrogenados al ambiente de la caseta

Se llevó a cabo la determinación de la emisión de gases contaminantes en el ambiente de las casetas del Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPAV). Estas casetas se caracterizan por ser de ambiente natural y no contar con equipo especial para el retiro o secado del estiércol, el cual se almacena por largos periodos de tiempo en fosas profundas ubicadas en el piso y debajo de los conjuntos de jaulas (convencionales y enriquecidas); en el caso del sistema sin jaula, las excretas se depositaban en el suelo (cubierto con material de cama).

Muestreo de amoniaco (NH_3), óxido de nitrógeno (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2): Se llevó a cabo la determinación de la emisión de gases en el almacenamiento de las heces de las gallinas ponedoras en los 3 diferentes sistemas de alojamiento (SJC, SJE y SSJ) y con los dos tipos de dieta (14% y 16% de PC). Para ello, se emplearon dispositivos pasivos Ogawa® que capturan los gases por medio del principio de difusión. Cada dispositivo contiene dos filtros (colocados entre dos mallas de acero), pre-impregnados de una sustancia reactiva que absorbe selectivamente los gases de interés, en este caso, NH_3 (ácido cítrico), NO (2-fenil-4,4,5,5,-tetrametilimidazolina-1-oxyl-3-oxi "PTIO") y NO_2 (trietanolemina "TEA"). La Figura 4 muestra un esquema del muestreador o dispositivo Ogawa® (Ogawa & Co., 1997).

Después de la realización de los muestreos, se llevaron a cabo los análisis de cromatografía de líquidos de alta resolución en el Laboratorio de Cromatografía del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático (UNAM), para la determinación NH_3 como catión NH_4^+ y de óxidos de nitrógeno. Los resultados obtenidos representan la concentración promedio acumulada de cada gas monitoreado, según su coeficiente de difusión en el aire; es decir, los dispositivos no determinan el comportamiento de los gases en función del horario de los días de muestreo. Además, se colocaron termohigrómetros en cada área de muestreo (Figuras 6, 11 y 17), dado que, la velocidad del coeficiente de difusión dependerá de la temperatura y la humedad ambiental. Finalmente, los resultados se presentan en partes por millón de volumen (ppmv).

Metodología: En cada uno de los 6 tratamientos se colocaron 2 monitores, uno por área de NH_3 y uno por área de NO y NO_2 , los cuales se ubicaron en un punto cercano al almacenamiento del estiércol de las aves, sujetados en la parte inferior de las jaulas (Figuras 5 y 10) o de la malla de alambre del sistema SJ (Figura 17). Adicionalmente, cada tratamiento fue aislado con paredes de plástico para tratar de evitar la combinación de gases entre los diferentes puntos de muestreo (Figuras 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 16, 18 y 19). También, se instalaron dos dispositivos en el exterior de la caseta (concentración de fondo en el ambiente de la zona, Figuras 20 y 21) y un dispositivo "blanco" (transporte y colocación del equipo) para la determinación de la concentración de los gases (NH_3 , NO y NO_2). El monitoreo se llevó a cabo en 4 campañas, con una duración de 7 días continuos cada una. Las figuras 22 y 23, exponen una representación del espacio y ubicación del equipo de muestreo y de los tratamientos en los sistemas de jaulas y en el sistema sin jaula, respectivamente.

Experimento 3:

Evaluación del comportamiento

Posterior a la finalización del experimento 2, se llevó a cabo el estudio del comportamiento de las gallinas en los tres diferentes sistemas de alojamiento para poder conocer la capacidad de expresar distintas pautas de comportamiento en

cada uno de ellos. Para ello se seleccionó aleatoriamente una réplica de cada sistema de alojamiento, es decir, 10 jaulas convencionales, una jaula enriquecida y un área de piso, lo que dio un total de 90 aves observadas, cada una de estas gallinas focales fue identificada con etiquetas de plástico las cuales se colocaron en el dorso de las gallinas para su fácil observación al momento de la evaluación. Para la observación y registro de las pautas de comportamiento, cada réplica seleccionada se grabó dos días durante un periodo continuo de 7 horas (de las 07:00 a las 14:00 hrs), con dos cámaras de video Gopro (Hero 8 y 9), las cuales se colocaron simultáneamente en un mismo sistema de alojamiento el día de la grabación (Figuras 24, 25, 26, 27 y 28). Los periodos de grabación se llevaron a cabo en la misma semana para todos los sistemas de alojamiento y el día de grabación no se les sirvió alimento. Para el registro de las frecuencias de cada una de las pautas de comportamiento se tomó como referencia el etograma descrito por Newberry, et al. (2007), a continuación:

Comportamiento	Descripción
Descanso	Cuando la gallina está sentada en el piso (la quilla descansa sobre el sustrato) con la cabeza levantada o cuando dobla el cuello sobre las plumas y no ha hecho movimientos de baño de polvo o acicalamiento durante 8 segundos.
De pie	Cuando el ave se para y permanece inmóvil con la cabeza levantada, es decir, no realiza los siguientes comportamientos: caminar, alimentarse, beber agua, buscar alimento o acicalarse durante 8 segundos.
Caminar	Cuando el ave da 2 o más pasos seguidos hacia adelante con la cabeza levantada, y no ha estado de pie, alimentándose, bebiendo agua o forrajeando durante los últimos 5 segundos.
Alimentación	Cuando el ave picotea el alimento en el comedero. Empieza en el primer picoteo en el comedero.
Beber agua	Cuando el ave pica el bebedero. Comienza con el primer picoteo en el bebedero (de campana o tetina).
Forrajear (Búsqueda de alimento)	Cuando el ave pica el sustrato (3 veces o más) mientras está de pie o mientras camina con la cabeza inclinada hacia abajo. Además se considera que el ave no haya estado de pie, caminando con la cabeza levantada o alimentándose durante los últimos 5 segundos.
Acicalamiento	El ave arregla o engrasa sus plumas con su pico. Comienza con el tercer contacto sucesivo del pico con las plumas.
Baño de polvo	Mientras está acostada, el ave realiza los movimientos característicos del baño de polvo (acostarse de lado,

	frotar su cuerpo y cabeza en el sustrato, sacudir las alas, rascar y picar el suelo).
Uso del nido	Cuando el ave entra al nido y permanece ahí más de 8 segundos.
Estiramiento del ala	Se considera si es bilateral o unilateral, el cual, comúnmente, va acompañado del estiramiento de la pierna hacia el mismo lado.
Saltar	Cuando un ave salta hacia o desde un nivel superior al suelo.
<u>Eventos sociales</u>	
Picoteo	Un picoteo que se observa como un movimiento rápido dirigido hacia la cabeza de otra ave.

Las 7 horas de grabación fueron divididas en tres periodos del día: Mañana (abarca de las 7:00 hrs a las 9:00 hrs), media mañana (abarca de las 09:30 hrs a las 11:30 hrs) y tarde (abarca de las 12:00 hrs a las 14:00 hrs); los cuales a su vez se dividieron en intervalos cada 30 minutos de los que se observaron 30 segundos (lo da un total de 5 eventos de observación por cada periodo del día). Durante esos 30 segundos, se registró la cantidad de veces que se repetía determinada pauta de comportamiento y se obtuvo el promedio de los dos días de grabación. Finalmente, con esos datos, se obtuvieron las frecuencias de las pautas de comportamiento durante un periodo de análisis total de 2.5 minutos para cada periodo del día (mañana, media mañana y tarde).

Análisis estadístico

Las bases de datos se elaboraron en el programa Microsoft® Excel® 2013.

Todos los datos obtenidos en los experimentos 1 y 2 fueron comprobados para que cumplieran los supuestos de Distribución Normal y el de Homogeneidad de Varianzas.

Experimento 1

Los parámetros productivos se agruparon por cada 5 semanas y fueron analizados mediante un Análisis de Varianza para un Modelo de Mediciones Repetidas en el Tiempo con Diseño Factorial 3*2, donde el primer Factor fue el Sistema de Alojamiento (Jaula Convencional, Jaula Enriquecida y Piso) y el segundo fue el tipo de Dieta (Alta con 18% de PC y Baja con 16% de PC); se contó con 3 mediciones repetidas por cada réplica (1-5 Semanas, 6-10 semanas y 11-15 semanas).

Las variables de calidad de huevo fueron analizadas mediante un Análisis de Varianza para un Diseño Factorial 3*2, donde el primer Factor fue el Sistema de

Alojamiento (Jaula Convencional, Jaula Enriquecida y Piso) y el segundo fue el tipo de Dieta (Alta con 18% de PC y Baja con 16% de PC).

Los datos obtenidos del peso corporal de las gallinas se analizaron por medio de un Análisis de Varianza para un diseño factorial $3 \times 2 \times 2$, donde el primer factor fue el Sistema de Alojamiento (Jaula Convencional, Jaula Enriquecida y Piso), el segundo fue el tipo de Dieta (Alta con 18% de PC y Baja con 16% de PC) y el tercero fue el momento del pesaje de las aves en el periodo de experimentación (Pesaje al inicio de la prueba "Inicial" y Pesaje al término de la prueba "Final").

Experimento 2

Se analizaron los datos de la semana final del experimento mediante un Análisis de Varianza para un Diseño Factorial 3×2 con covariable, donde el primer Factor fue el Sistema de Alojamiento (Jaula Convencional, Jaula Enriquecida y Piso) y el segundo fue el tipo de Dieta (Alta con 16% de PC y Baja con 14% de PC). Se utilizaron los datos de la primera semana como covariable.

Las variables de calidad de huevo y los valores de concentración de gases nitrogenados en la caseta fueron analizados mediante un Análisis de Varianza para un Diseño Factorial 3×2 , donde el primer Factor fue el Sistema de Alojamiento (Jaula Convencional, Jaula Enriquecida y Piso) y el segundo fue el tipo de Dieta (Alta con 16% de PC y Baja con 14% de PC).

Las medias de los grupos con diferencias estadísticas significativas fueron comparadas mediante la prueba de Tukey. Se fijó un nivel de significancia del 5% para todas las pruebas estadísticas utilizadas.

Se utilizó el paquete estadístico JMP® (JMP. 2013. Versión 11.0.0. Cary, NC: SAS Institute) para el análisis de los datos.

Experimento 3

Se realizó análisis descriptivo de las frecuencias de las pautas de comportamientos registrados en los tres diferentes sistemas de producción (Jaula Convencional, Jaula Enriquecida, Piso). Es decir, los datos presentados son de carácter informativo.

RESULTADOS

Análisis NIR de las dietas

Todas las dietas cumplieron con los objetivos de las fórmulas alimenticias, ya que los resultados del NIR mostraron concordancia con el análisis nutrimental calculado.

Experimento 1

El cuadro 3 muestra el resumen de los datos obtenidos para las variables productivas durante los 3 periodos en los que se dividieron las 15 semanas de duración del estudio.

En relación con el sistema de alojamiento, se observaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para las variables porcentaje de postura "PP", peso del huevo "PH" y masa de huevo "MH"; el sistema sin jaula "SSJ" obtuvo valores menores en estos tres parámetros (95.4%, 57g y 54.4g, respectivamente) en comparación con el sistema de jaula convencional "SJC" (97%, 58.1g y 56.4g) y el sistema de jaula enriquecida "SJE" (96.8%, 57.9g y 55.9g), los cuales no fueron estadísticamente diferentes en las tres variables. La conversión alimentaria "CA" mostró diferencias estadísticas significativas entre los tres tratamientos ($p < 0.05$), obteniendo un menor valor para el SJC (1.871), seguido del SJE (1.925) y por último el SSJ (1.977). En cuanto al consumo de alimento diario por gallina "CAD", los tratamientos no fueron estadísticamente diferentes ($p > 0.05$): El SJC con 106.6g, el SJE con 108.5g y el SSJ con 107.9g.

Con respecto a la dieta, las variables PP, PH y MH mostraron ser estadísticamente diferentes ($p < 0.05$) entre los dos porcentajes de proteína en la dieta, obteniendo valores superiores para la dieta 1 (96.9%, 58g y 56.1g, respectivamente) en comparación con la dieta 2 (95.9%, 57.4g y 55g). En cuanto a la CA, también se observó diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$), siendo menor para la dieta 1 (1.905) al compararla con la dieta 2 (1.944). No se observaron diferencias estadísticamente significativas en el CAD ($p > 0.05$), con consumos de 107.6g para la dieta 1 y de 107.7g para la dieta 2.

La única interacción que mostró diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) fue la de los factores sistema de alojamiento y periodo de tiempo; esto se observó en todas las variables a excepción del PP ($p > 0.05$). Para el PH se observó un patrón similar en los 3 sistemas de alojamiento a través del tiempo, en el cual, tuvo un aumento muy marcado desde el primero al segundo periodo de tiempo, y del segundo al tercer periodo sigue aumentando, pero en menor medida; el único sistema que mostró cambios a través del tiempo fue el de piso con un aumento estadísticamente significativo desde el periodo 2 al periodo 3. Aunque, mostraron un patrón diferente, los tres sistemas de alojamiento también tuvieron un aumento en el CAD a través del tiempo; aumentando en mayor grado del primer al segundo periodo en el SJE.

El cuadro 4 muestra los datos obtenidos durante las 15 semanas para las variables de clasificación del huevo.

Los sistemas de alojamiento mostraron diferencias estadísticamente significativas en los resultados de las siguientes variables de clasificación del huevo ($p < 0.05$): El porcentaje de huevo sucio de heces “%HSH” fue significativamente superior para el SSJ con un 34.5%, seguido del SJC (2.4%) y por último el SJE (0.8%); el porcentaje de huevo sucio de sangre “%HSS” fue mayor para las jaulas enriquecidas (2.8%) en comparación con los otros dos sistemas (jaula convencional tuvo 0.4% y piso 0.05%); en cuanto al porcentaje de huevo roto “%HR”, fue estadísticamente superior para los sistemas de JE (1.5%) y SJ (1.6%) en comparación con el SJC (0.96%). El porcentaje de huevo grande “%HG” no mostró diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) al comparar los porcentajes de los tres sistemas de alojamiento los cuales fueron 0.6% para el SJC, 0.7% para el SJE y 0.5% para el SSJ.

En relación con el nivel de proteína en la dieta, sólo hubo diferencias estadísticamente significativas para el %HR ($p < 0.05$), el cual fue menor para la dieta 2 (1.2%) en comparación con la dieta 1 (1.5%). Los %HSH, %HSS y %HG no mostraron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) en relación con los niveles de 18% (13.7%, 0.8%, 0.7%, respectivamente) y 16% (11.4%, 1.3%, 0.5%, respectivamente) de proteína cruda en la dieta.

Hubo interacción significativa entre el sistema de alojamiento y el tiempo, en las cuatro variables evaluadas (%HR, %HSH, %HSS, %HG). En general, se observó un aumento en el valor de los porcentajes a través de los tres periodos de tiempo, con excepción del %HR, el cual mostró un mayor porcentaje (y diferente estadísticamente) en el segundo periodo de tiempo para los sistemas de JE y SJ.

El resumen de los resultados para las variables evaluadas de calidad de huevo se presenta en el cuadro 5.

La variable color de la yema “CY”, fue la única que mostró diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en relación con el sistema de alojamiento, la cual presentó un mayor valor para el SJE (14) en comparación el SJC (13) y el SSJ (13). No se observó diferencia estadística ($p > 0.05$) entre los tres sistemas para las Unidades Haugh “UH”, el grosor del cascarón “GC” y la resistencia del cascarón “RC”: SJC (91.6, 361 μm y 4.76 Kgf/cm² respectivamente), SJE (93.3, 365 μm y 4.79 Kgf/cm²) y SSJ (91.3, 358 μm y 4.68 Kgf/cm²).

Respecto al porcentaje de proteína en la dieta, solo la variable GC mostró ser diferente estadísticamente ($p < 0.05$), siendo menor en la dieta 1 (357 μm) en comparación con la dieta 2 (366 μm). El resto de las variables no presentaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$), con los siguientes valores para las dietas 1 y 2 (respectivamente): CY 13 y 13, UH 91.5 y 92.6, y RC 4.69 Kgf/cm² y 4.80 Kgf/cm².

Los resultados obtenidos del peso corporal de las gallinas al inicio y final del periodo de experimentación se presentan en el cuadro 6.

Los pesos corporales de las aves mostraron diferencias estadísticamente significativas en relación con los factores sistema de alojamiento y momento del pesaje ($p < 0.05$). Las gallinas alojadas en el SJC mostraron un peso corporal estadísticamente superior (1629.5g) en comparación con el SJE (1602.1g) y el SSJ (1590.4g). En relación con el momento en que se pesó a las aves, se obtuvieron pesos corporales estadísticamente inferiores en el pesaje realizado al inicio (1553g) en comparación con el pesaje realizado al final del periodo de experimentación (1661.7g).

Al comparar el nivel de proteína en la dieta no se encontraron diferencias estadísticas significativas en el peso corporal de las aves ($p > 0.05$), obteniendo 1606.5g para la dieta 1 y 1608.2g para la dieta 2.

En el experimento 1, las interacciones entre factores (Sistema de alojamiento, Nivel de proteína en la dieta y Momento de pesaje de las aves, según sea el caso) no fueron estadísticamente significativas con respecto a las variables de calidad de huevo y pesaje de las aves.

Experimento 2:

El cuadro 9 muestra el resumen de los valores obtenidos para los parámetros productivos de las gallinas de 106 semanas de edad.

Al comparar los tres sistemas de alojamiento, ninguna de las variables productivas mostró diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$), obteniendo los siguientes valores para cada una de ellas: PP, PH, MH, CAD y CA en el SJC (82.8%, 62.4g, 51.7g, 105.7g y 2.044, respectivamente), el SJE (82.2%, 62.6g, 51.5g, 109.2g y 2.140, respectivamente) y el SSJ (82.5%, 63.2g, 52.1g, 110.7g y 2.125, respectivamente).

En relación con la dieta, la CA, el PP y la MH presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$), y con respecto a las últimas dos, estas fueron mayores en el alimento con la dieta 1 (84.3% y 53.3g, respectivamente) al compararlo con la dieta 2 (80.7% y 50.2, respectivamente); en cambio, la CA, fue estadísticamente menor para la dieta 1 (2.058) en comparación con la 2 (2.148). El PH (con valores de 63.1g para 16% PC y 62.4g para 14% PC) y el CAD (con valores de 110.1g para 16% PC y 106.9g para 14% PC), no fueron estadísticamente diferentes al comparar los dos tipos de dieta ($p > 0.05$).

El resumen de los datos obtenidos para la clasificación del huevo se muestra en el cuadro 10.

Únicamente el %HSH presentó diferencia estadísticamente significativa con respecto al sistema de alojamiento ($p < 0.05$), siendo mayor en el SSJ (41.2%) en

comparación con los sistemas de JC (6.9%) y JE (4.2%). Los %HSS, %HR Y %HG no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p>0.05$) al comparar el SJC (1.7%, 1.8% y 0.06%, respectivamente) el SJE (0.8%, 3% y 0.4%) y el SSJ (0.6%, 1.6% y 0.3%).

Con respecto al del tipo de dieta, ninguna de las características de clasificación del huevo fue estadísticamente diferente entre ellas ($p>0.05$), con los siguientes valores para el %HSH, %HSS, %HR y %HG (respectivamente): 17.2%, 0.9%, 1.9% y 0.2% para la dieta con 16% de PC, y 17.7%, 1.2%, 2.3% y 0.2% para la dieta con 14% de PC.

Los valores obtenidos para las características evaluadas de calidad de huevo se muestran en el cuadro 11.

En cuanto a las características evaluadas de calidad del huevo en relación con los sistemas de alojamiento, las propiedades relacionadas con el cascarón, es decir, el grosor y la resistencia, fueron estadísticamente diferentes ($p<0.05$) y mostraron valores superiores para el SJE (362 μm y 4.63 Kgf/cm^2 , respectivamente) y el SJC (351 μm y 4.69 Kgf/cm^2) en comparación con el SSJ (338 μm y 4.08 Kgf/cm^2). Para el resto de las variables como el CY y las UH, no se observaron diferencias estadísticas significativas ($p>0.05$) entre el SJC (12 y 92.7, respectivamente), el SJE (12 y 90.3) y el SSJ (12 y 90.8).

En relación con el nivel de proteína en la dieta, ninguna de las variables de calidad de huevo fue estadísticamente diferente ($p>0.05$) al comparar las dietas 1 y 2, se obtuvieron los siguientes valores (respectivamente): Para el CY (12 y 12), UH (91.3 y 91.2), GC (347 μm y 354 μm) y RC (4.42 Kgf/cm^2 y 4.52 Kgf/cm^2).

La tabla 12 muestra los valores obtenidos en el muestreo de gases nitrogenados en el ambiente de la caseta.

Los valores de amoníaco (NH_3) fueron estadísticamente diferentes ($p<0.05$) al comparar los tres sistemas de alojamiento; se observó un valor estadísticamente mayor para el SJC (2.65 ppmv), seguido del SJE (2.14 ppmv) y por último el SSJ el cual presentó la menor concentración de amoníaco (2.03 ppmv). Los resultados del análisis estadístico sobre el monitoreo de dióxido de nitrógeno (NO_2) y óxido de nitrógeno (NO), no mostró diferencias significativas ($p>0.05$) entre el SJC (0.018 ppmv y 0.013 ppmv, respectivamente), el SJE (0.015 ppmv y 0.009 ppmv) y el SSJ (0.013 ppmv y 0.004 ppmv).

En cuanto al nivel de proteína en el alimento, los tres gases nitrogenados muestreados, es decir, amoníaco (NH_3), dióxido de nitrógeno (NO_2) y óxido de nitrógeno (NO), no fueron estadísticamente diferentes ($p>0.05$) entre la dieta 1 (2.27 ppmv, 0.014 ppmv, 0.010 ppmv, respectivamente) y la dieta 2 (2.27 ppmv, 0.016 ppmv, 0.007 ppmv, respectivamente).

Adicionalmente, la temperatura y humedad relativa promedio en el ambiente de los sistemas de jaulas convencionales, jaulas enriquecidas y sin jaulas fueron los siguientes: 21.2°C y 64.2%, 19.9°C y 67.2%, 19.4°C y 65.7%, respectivamente.

En el experimento 2, la interacción entre los factores (Sistema de alojamiento y Nivel de proteína en la dieta) no presentó diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$), en ninguna de las variables de producción, de clasificación del huevo, de calidad de huevo y de concentración de gases en el ambiente.

Experimento 3:

En las figuras 29-39, se ilustran las frecuencias de las diferentes pautas de comportamiento evaluadas en las gallinas ponedoras. A continuación, se describirá brevemente cada gráfico en el orden en que se muestran en el apartado de figuras. En todos los gráficos aparecen abreviaturas para representar el sistema de Jaula Convencional (JC), el sistema de Jaula Enriquecida (JE) y el sistema sin jaula o de Piso (Piso).

- Descanso (Figura 1): Se observa que, el descanso en jaula enriquecida se presentó con mayor frecuencia durante todos los periodos del día, a excepción de la tarde. Las aves en piso mostraron un patrón en el que descansaron más durante la tarde, que durante la mañana.
- De pie (Figura 2): Se muestra que las aves en jaulas convencionales se mantuvieron de pie con mayor frecuencia que las aves en los otros dos sistemas. En el sistema de piso, ese comportamiento se presentó principalmente durante la mañana.
- Caminar (Figura 3): La presentación del comportamiento de caminar, fue mayor en el sistema de piso (en todos los periodos del día) seguido de la jaula enriquecida; en jaula convencional no se observó este comportamiento en los periodos de evaluación.
- Alimentación (Figura 4): En jaulas convencionales se observa una frecuencia casi constante del comportamiento de alimentación, durante todos los periodos de observación, además de que es el sistema que mostró una mayor frecuencia de esta pauta de comportamiento. En jaula enriquecida la alimentación fue aumentando a través del día. El sistema de piso fue el que presentó una menor frecuencia de este comportamiento, además tuvo una menor ocurrencia durante la mañana que durante el resto del día.
- Beber agua (Figura 5): El consumo de agua en los sistemas de jaula convencional y piso presentó mayor frecuencia durante la media mañana. En jaula enriquecida la frecuencia fue aumentando a través del día y en la tarde fue mayor que en los otros dos sistemas.
- Búsqueda de alimento o "Forrajear" (Figura 6): El sistema de piso fue el único que presentó esta pauta de comportamiento y se observó un aumento en su frecuencia conforme al transcurso del día.

- Acicalamiento (Figura 7): Se observa una mayor frecuencia de este comportamiento en el sistema de piso, siendo más frecuente durante el periodo de la mañana. Los sistemas de jaula presentaron frecuencias similares para el acicalamiento.
- Baño de polvo (Figura 8): Esta pauta de comportamiento presentó menor frecuencia en comparación con las anteriormente descritas. Sin embargo, se observó en los tres sistemas, en las jaulas se denominaría como “baño de polvo simulado” (o “intento de baño de polvo”) debido a que no contaban con un sustrato para poder realizarlo. En el sistema de piso (en el cual si contaban con sustrato de cama) se presentó únicamente en el periodo de la tarde.
- Uso de nido (Figura 9): En los sistemas equipados con nido, se observó un diferente patrón de frecuencia del uso de nido. En las jaulas enriquecidas, el uso de nido fue mayor durante la mañana y fue disminuyendo a través del día; en el sistema de piso su uso fue más frecuente durante la media mañana y poco frecuente durante la tarde.
- Estiramiento del ala (Figura 11): Este comportamiento mostró una frecuencia inferior en comparación con las demás pautas de comportamiento. Se puede observar que la jaula convencional fue el sistema con menor presentación de estiramiento del ala; y en piso se observó únicamente en la mañana.
- Picoteo (Figura 14): Se observó una baja frecuencia del picoteo en los tres sistemas de alojamiento, siendo un poco mayor durante la media mañana y en el sistema de piso.

DISCUSIÓN

Experimento 1

Parámetros productivos

La productividad de las aves, así como las distintas características de la calidad del huevo pueden ser afectadas por diversos factores entre los que se encuentran el sistema de alojamiento y la dieta o nutrición de las aves (Campbell, et al., 2017; Englmaierová, et al., 2014; Holt, et al., 2011; Tůmová, et al., 2009).

En el presente estudio, el sistema de alojamiento influyó sobre las variables porcentaje de postura “PP”, peso del huevo “PH” y, en la masa de huevo “MH”, mostrando valores inferiores en el sistema sin jaula “SSJ”, y superiores estadísticamente para los sistemas de jaula convencional “SJC” y jaula enriquecida “SJE”; con respecto a la mayor producción de huevos en los sistemas de jaula (SJC y SJE), estos resultados concuerdan con los estudios de Englmaierová, et al. (2014), Karkulín (2003), Tactacan, et al. (2009) y Wang, et al. (2009); en cambio, Meng et al. (2015) así como Yilmaz, et al. (2016), obtuvieron resultados distintos a los de este estudio. Se argumenta que los sistemas de jaulas han permitido una mejor automatización en manejos como la colecta de huevos y el control de las condiciones ambientales en el entorno de las aves (Mench, et al., 2011); aunado a esto, se menciona que los sistemas sin jaula presentan características que dan lugar a una menor producción de huevo. El aumento de espacio para las aves, posibilita la realización de una mayor actividad, pero además se relaciona con una menor capacidad de termorregulación a bajas temperaturas (menor densidad poblacional), dando lugar a un mayor consumo y requerimiento de energía para la producción (Meng et al., 2015; Tactacan, et al., 2009; Wang, et al., 2009); otra característica es, su mayor complejidad ambiental (o enriquecimiento), lo que puede ocasionar que los huevos puestos en el piso o fuera de los nidos no se localicen o que las gallinas los coman (sobre todo aquellos con cascarón roto o agrietado), dando lugar a un menor registro de los huevos (Englmaierová, et al., 2014; Holt, et al., 2011; Leenstra, et al., 2014).

En relación con los resultados para el PH, estos concuerdan con los estudios de Meng et al. (2015); Tactacan, et al. (2009) y Samiullah, et al. (2014), pero no con los estudios de Tůmová, et al. (2011), Englmaierová, et al. (2014); Karkulín (2003) y Pištěková, et al. (2006). Yilmaz, et al. (2016) mencionan que el peso del huevo y el peso corporal de las aves, presentan una correlación positiva; esta afirmación concuerda con los resultados obtenidos en la presente investigación, ya que las aves de jaula, las cuales presentaron un mayor peso corporal también pusieron huevos más pesados; adicionalmente (en los tres sistemas), el PH fue aumentando a través del tiempo de la prueba, así como el peso de las aves fue mayor al final de la prueba (en comparación con el inicio).

La MH es un indicador que se obtiene con los valores del PP y el PH; así que, contrariamente a los resultados obtenidos en el presente estudio, Yilmaz, et al.

(2016) así como Craig, et al. (1986), reportaron una mayor MH en corrales (piso), en comparación con sistemas de jaula convencional y enriquecida. Adicionalmente, Craig, et al. (1986) mencionan a la MH como “el mejor indicador individual de productividad” en gallinas, ya que, como se vio anteriormente, engloba el efecto de otros parámetros de producción (porcentaje de postura y peso del huevo).

Conforme a los datos generales, el consumo de alimento diario “CAD” no se vio influido por el sistema de alojamiento, lo cual concuerda con los resultados presentados por Meng et al. (2015) y Karkulín (2003), en cambio algunos autores obtuvieron diferencias en el consumo de alimento debidas al tipo de alojamiento (Englmaierová, et al., 2014; Yilmaz, et al., 2016). Leenstra, et al. (2014), Yilmaz, et al. (2016) y Tactacan, et al. (2009) argumentan que las aves alojadas en sistemas alternativos pueden presentar un aumento en el consumo de alimento, posiblemente por un mayor requerimiento de energía debida a los factores que se mencionaron anteriormente (movimiento y termorregulación).

Adicionalmente, se observó que las aves en los tres sistemas de alojamiento tendieron a aumentar su consumo de alimento durante el experimento, lo que concuerda con su aumento de peso corporal en ese periodo de tiempo.

El SJC mostró una mejor eficiencia de CA, seguido del SJE y por último el SSJ; resultados similares fueron obtenidos en los estudios de Englmaierová, et al. (2014); Yilmaz, et al. (2016), pero no así por Meng et al. (2015). A pesar de que no se observaron diferencias estadísticamente significativas en la ingesta de alimento, las aves alojadas en el SJC fueron las que mostraron el menor consumo y el mayor peso del huevo (ligeramente mayor a los del SJE), por lo cual expusieron una mejor eficiencia de CA en comparación con los otros dos sistemas (SJE y SSJ).

Como se muestra en el cuadro 3, el porcentaje de proteína en la dieta si tuvo un impacto sobre los parámetros de producción a excepción del CAD; se obtuvieron mejores resultados para la dieta 1, las variables PP, PH y MH mostraron valores superiores, mientras que la CA mostró un valor inferior en comparación con la dieta 2. La respuesta productiva de las aves ante la disminución del nivel de proteína en la dieta puede variar en los distintos parámetros de producción y en las distintas condiciones experimentales (como el uso de aminoácidos u otros suplementos), algunos estudios han obtenido un buen rendimiento de las aves al aplicar esta estrategia nutrimental (Zhou, et al., 2021; Rama Rao, et al., 2011; Wu-Haan, et al., 2007), mientras que otros han observado un efecto variable sobre los indicadores de productividad (Dao, et al., 2021; Novak, et al., 2006).

Zhou, et al. (2021) destacan la importancia de una adecuada suplementación con aminoácidos esenciales (Lys, Met, Met + Cys, Thr, etc.) en dietas reducidas en proteína.

Se considera que la reducción del nivel de proteína en la dieta de las aves, podría generar una disminución de nitrógeno disponible para la síntesis de aminoácidos no

esenciales, además de una limitación de aminoácidos esenciales debido a su conversión a los no esenciales (Novak, et al., 2006; Awad, et al., 2015; Macelline, et al., 2021); además, se argumenta que la suplementación con aminoácidos esenciales puede generar un exceso e interacciones entre estas moléculas (Novak, et al., 2006). También, se menciona que la deficiencia de aminoácidos no esenciales puede tener efectos en la mucosa intestinal como una disminución en la altura de las vellosidades (Kidd, et al., 2021). Estos cambios afectarían la síntesis de proteínas (albumina y yema) y por lo tanto el peso y la productividad del huevo (Macelline, et al., 2021; Novak, et al., 2006; Dao, et al., 2021).

Clasificación del huevo

Como se muestra en el cuadro 4, los sistemas de alojamiento alternativos presentaron un mayor número de huevos con cascarón sucio o roto. El SSJ fue el que tuvo un porcentaje de huevo sucio de heces “%HSH” muy superior en comparación con los otros dos sistemas (SJC y SJE), Yilmaz, et al. (2016) también obtuvieron un mayor número de huevos sucios de heces en sistemas de corrales en piso que en sistemas de jaula; sin embargo, en el presente estudio el %HSH fue muy alto, lo cual se puede atribuir al contacto de los huevos con las excretas del piso (huevo puesto en piso) o del nido (en donde las aves también defecaban). Por otro lado, el SJC, fue el que presentó el menor porcentaje de huevo roto “%HR”, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por otros estudios, reportando un mayor porcentaje de huevos con cascarón roto en sistemas de alojamiento alternativos (Meng et al., 2015; Yilmaz, et al., 2016). Mejorar el diseño y manejo de los sistemas de alojamiento alternativos (nidos, áreas para baños de polvo, material de cama y nido, etc), es un factor clave para disminuir el porcentaje de presentación de huevos con cascarón sucio y/o roto (Meng et al. 2015; Tactacan, et al. 2009; Holt, et al., 2011; Blokhuis, et al. 2007); además la acumulación de los huevos en los nidos también provoca un aumento de defectos en el cascarón, por lo tanto, sería adecuado realizar más de una colecta al día (Yilmaz, et al., 2016). Por último, cabe destacar que tanto la suciedad como las grietas o roturas del cascarón, representan un factor que aumenta el riesgo contaminación microbiológica del contenido, pudiendo afectar la vida útil pero también la calidad sanitaria e inocuidad del producto (Holt, et al., 2011; Samiullah, et al., 2014; Englmaierová, et al. 2014).

Con respecto al huevo sucio de sangre, el SJE fue el que presentó el mayor porcentaje de huevo sucio de sangre “%HSS”; es importante mencionar que, durante la realización de esta investigación, las gallinas alojadas en este sistema presentaron problemas de picaje (cloacal), lo que se considera como el factor que pudo haber ocasionado dicha situación.

En relación con la dieta, la única variable que presentó diferencia estadística significativa fue el %HR, siendo mayor para la dieta 1. Cabe destacar que, aunque la diferencia entre una dieta y otra es reducida, el grosor del cascarón (pero no, la

resistencia) también mostró ser menor para la dieta 1; este hallazgo se discutirá más a detalle en la siguiente sección.

Calidad del huevo

En el presente estudio, el color de la yema “CY” fue la única característica de calidad del huevo que se vio afectada por el tipo de sistema de alojamiento, siendo mayor por una unidad en el SJE. Samiullah, et al. (2014) mencionan que diferencias en el CY en diferentes alojamientos son debidas al consumo de vegetación en sistemas con acceso al exterior. Por lo tanto, la deposición de pigmento en la yema se relaciona principalmente con la nutrición de las aves (pigmento en el alimento), (Tůmová, et al., 2011; Samiullah, et al. 2014; Wang, et al., 2009); sin embargo, en la presente investigación las dietas (con diferente nivel de proteína) no mostraron diferencia estadística significativa en esta característica. Cabe mencionar que la pigmentación de la yema se evaluó de manera subjetiva (Powers & Angel, 2008), es decir, por medio de la vista del evaluador con un abanico colorimétrico (DSM). Por lo tanto, sería adecuado que en futuros trabajos se emplee un aparato medidor de colorimetría para obtener datos más objetivos, dado que, el CY es una característica valorada por los consumidores (Pištěková, et al., 2006).

La calidad del huevo dependerá, entre otros factores, de la adecuada formulación de la dieta (Wang, et al., 2017); como se puede observar en el cuadro 5, el grosor del cascarón “GC” fue la única característica afectada por este factor, siendo inferior para la dieta 1. Contrario a los resultados obtenidos en esta investigación, el estudio de Novak, et al. (2006) mostró una mejor calidad para los huevos de gallinas con un mayor nivel de proteína en la dieta; estos autores argumentan que los aminoácidos de la dieta son importantes para la síntesis de la matriz proteica del cascarón y que esto afectará su calidad. Cabe mencionar que, aunque el GC tuvo diferencia estadística entre los dos tipos de dieta, la resistencia del cascarón “RC” no.

Ninguno de los factores (alojamiento o dieta) influyó en los valores de las unidades Haugh “UH”, característica que es considerada como el principal o más relevante indicador de la calidad interna del huevo y de la proteína de la albúmina (Meng et al. 2015; Tůmová, et al. 2009); especialmente se menciona a la ovomucina la cual es una proteína fundamental para la viscosidad de la clara del huevo (Zhou, et al., 2021). Otros factores que pueden tener un efecto sobre las UH son el genotipo, la edad de las aves y, el periodo de tiempo entre la colecta y evaluación de la calidad del huevo (Tůmová, et al. 2011; Tůmová, et al. 2009; Samiullah, et al. 2014; Wang, et al., 2009).

Peso corporal de las aves

Como se muestra en la tabla 6, el sistema de alojamiento y el momento del pesaje (al inicio y final de la prueba) fueron los factores que tuvieron un efecto sobre el peso corporal de las gallinas. En general, todas las aves aumentaron de peso durante la prueba (es decir, pesaban más al final que al inicio de la prueba), y el

SJC fue el alojamiento en donde las aves tenían un mayor peso corporal; por el contrario, en el estudio de Yilmaz, et al. (2016), las aves en corrales fueron las que presentaron un mayor peso corporal. Guinebretière, et al. (2013) argumenta que, una mayor actividad debida a la capacidad de realizar determinados comportamientos (como el baño de tierra) en los sistemas alternativos puede generar un menor peso corporal; además es importante, en los distintos tipos de alojamientos, cubrir con los requerimientos de espacio de comedero para cada ave (Weimer, et al., 2019).

Con respecto a la dieta, Burley, et al. (2013) y Rama Rao, et al. (2011) no encontraron una disminución en el peso de las aves al reducir el nivel de proteína en su dieta (y suplementadas con aminoácidos esenciales); esto concuerda con los resultados del presente estudio, lo que nos puede indicar que las dos dietas empleadas (18% y 16% de P.C.), fueron capaces de mantener la síntesis de proteínas para el mantenimiento y crecimiento corporal de las aves (Dao, et al., 2021).

Experimento 2

Parámetros productivos

Se considera que la productividad de las aves, así como las distintas características de la calidad del huevo y del cascarón, pueden ser afectadas por diversos factores entre los que se encuentran el sistema de alojamiento y la dieta o nutrición de las aves (Campbell, et al., 2017; Englmaierová, et al., 2014; Holt, et al., 2011; Tůmová, et al., 2009); además, la interacción del genotipo con las diferentes condiciones de su entorno (como el sistema de alojamiento) puede dar diferentes resultados en las variables antes mencionadas (Ketta & Tůmová, 2016).

En la presente investigación (a diferencia del experimento 1), el sistema de alojamiento fue un factor que no influyó en los parámetros productivos de las aves; sin embargo, es importante mencionar que este experimento tuvo una menor duración que el experimento 1 (4 semanas y 15 semanas, respectivamente). Por otro lado, la dieta sí tuvo un impacto sobre las variables PP, MH y CA (no así en PH y CAD). Como se mencionó anteriormente, un efecto negativo en los parámetros de producción por la disminución del nivel de proteína en la dieta puede estar relacionado con deficiencias tanto de aminoácidos no esenciales como de los esenciales; adicionalmente, las gallinas de este experimento eran de segundo ciclo (aves de 106 semanas de edad), lo que puede disminuir la eficiencia en la función de algunos órganos importantes para el metabolismo, como el hígado (Macelline, et al., 2021). Por lo tanto, es relevante la continua evaluación de las estrategias nutricionales en las distintas condiciones de producción de huevo, como el sistema de alojamiento o la edad de las aves.

Clasificación del huevo

El %HSH fue la característica que mostró diferencia estadística significativa en relación con el tipo de alojamiento; tal como en la prueba 1, el SSJ fue el que presentó un mayor porcentaje de huevos con cascarón sucio de heces. Se considera que esto también se relaciona con los huevos puestos en el piso y con la acumulación de excretas en los nidos; aunado a esto, una de las ventajas más importantes de las jaulas, es que están diseñadas para mantener separadas las heces de los huevos, lo cual, facilita la limpieza del cascarón (Mench, et al., 2011). Adicionalmente se menciona que, mientras más complejo sea un sistema de alojamiento, más complicados serán los manejos (necesidad de mayor tiempo y mano de obra) y la limpieza de este (Lay, et al., 2011; Matthews & Sumner, 2015).

Con respecto a la dieta, ninguna de las variables fue afectada por el nivel de proteína. Cabe destacar que, aunque en el primer experimento la dieta control obtuvo un mayor %HR, en este caso no hubo diferencia en ese parámetro ni en ninguna de las características evaluadas para la calidad del cascarón.

Calidad del huevo

El sistema de alojamiento fue un factor que influyó sobre las características evaluadas para la calidad del cascarón (GC y RC); el SSJ mostró valores inferiores para la resistencia y grosor del cascarón en comparación con los sistemas de jaula (SJC y SJE), pero sin presentar diferencias en el %HR. Los resultados de la presente investigación para el GC y/o la RC concuerdan con los estudios de Meng et al. (2015), Tůmová, et al. (2009); por el contrario, algunos autores obtuvieron resultados diferentes para el GC (Englmaierová, et al. 2014; Tůmová, et al., 2011) y/o para la RC (Englmaierová, et al. 2014; Pištěková, et al. 2006; Samiullah, et al. 2014; Wang, et al., 2009), dentro de los cuales Englmaierová, et al. 2014, obtuvieron resultados diferentes para la resistencia y grosor del cascarón en un mismo tipo de alojamiento.

El cascarón representa una barrera de protección física y microbiológica para el huevo, por lo tanto, es fundamental evaluar y mantener su calidad para evitar pérdidas económicas (Meng et al. 2015; Ketta & Tůmová, 2016). Se considera que la calidad del cascarón está determinada por varios factores y sus interacciones, entre estos se encuentran el genotipo y edad de las aves, el sistema de alojamiento, la nutrición, y las condiciones ambientales (Samiullah, et al. 2014; Ketta & Tůmová, 2016).

Se argumenta que los cambios en la calidad del cascarón debidos al tipo de alojamiento, pueden estar relacionadas con diferencias en las características microestructurales (tamaño y orientación de los cristales) y en la densidad de los poros del cascarón, ocasionado por la interacción del genotipo de las aves con dicho alojamiento, así como diferencias en la ingesta de alimento y el metabolismo del calcio (Tůmová, et al., 2011; Karkulín, 2003; Ketta & Tůmová, 2016). Además,

Karkulín (2003) menciona una correlación negativa entre el peso del huevo y la resistencia del cascarón, es decir, entre mayor sea el tamaño del huevo, mayor serán los requerimientos de calcio para la formación del cascarón; aunado a ese argumento, a pesar de no mostrar diferencias estadísticas significativas en el PH, el SSJ tuvo un mayor PH que los sistemas de jaula.

En este estudio, se emplearon aves de segundo ciclo, es decir, que habían pasado por un proceso de pelecha (con restricción alimenticia); por lo que, otro factor que pudo haber influido en la calidad del cascarón, es que las aves del sistema SJ no pelecharan completamente por consumo del sustrato de cama y esto ocasionara efectos sobre esta característica. Por lo tanto, es importante considerar que los nuevos entornos de alojamiento pueden proveer a las gallinas de sustratos (tanto nutritivos, como no nutritivos), que tengan un impacto sobre su dieta y nutrición (Lay, et al., 2011).

Las variables de calidad del huevo no mostraron diferencias con relación al nivel de proteína en la dieta; esto concuerda con los resultados obtenidos en el estudio de (Burley, et al., 2013). Esto indica que la dieta con disminución en proteína y suplementada con aminoácidos, mantuvo una calidad del huevo similar a una dieta estándar (o con mayor nivel de proteína cruda). Cabe señalar que, en el presente trabajo (en las dos pruebas), sólo se realizó una evaluación de la calidad del huevo en la etapa final de la investigación, por lo cual sería adecuado que en futuros estudios se realice un mayor seguimiento.

En el presente estudio, los valores de las UH no fueron afectados por el sistema de alojamiento o la dieta; en cambio, algunos autores sí han encontrado diferencias en las UH o la calidad de la albúmina, debidas al tipo de alojamiento (Englmaierová, et al. 2014; Meng et al. 2015; Tůmová, et al., 2011; Tůmová, et al. 2009) o al nivel de proteína en la dieta (Novak, et al., 2006; Zhou, et al., 2021).

Amoniaco (NH₃), NO y NO₂

Los datos presentados en el cuadro 12 muestran que, el sistema de alojamiento fue el factor que sí tuvo un impacto sobre la emisión de amoniaco en las casetas avícolas. El SJC fue en el que se capturó la mayor concentración de amoniaco (NH₃), en cambio, el sistema SSJ fue el que mostró la menor concentración de dicho gas. Resultados similares fueron presentados por Hong, et al. (2021), por el contrario, Zhao, et al. (2015) obtuvieron una mayor emisión de amoniaco en el sistema sin jaula (aviario), en comparación con los sistemas de jaula (convencional y enriquecida), lo cual se relacionó con diferencias en la tasa de ventilación, así como a una mayor facilidad para secar y eliminar regularmente el estiércol en los sistemas de jaula.

Los diferentes sistemas de alojamiento brindarán diferentes condiciones a las aves (Zhao, et al., 2015). La densidad de población, la cual fue menor en el sistema SJ,

pudo haber disminuido la acumulación y humedad del estiércol, generando una mejoría en la calidad del aire al interior de la caseta (David, et al., 2015; Neijat, et al., 2011); Hong, et al. (2021) argumentan que la cama de los sistemas sin jaula puede ayudar a absorber la humedad (importante para la actividad microbiológica en el estiércol). Además, se menciona que el nivel de actividad de las aves (mayor en sistemas sin jaula), es otra condición que influye sobre la emisión de gases como el amoníaco (Calvet, et al., 2011; Hong, et al., 2021).

También es importante considerar que las gallinas se encontraban en casetas de ambiente natural, las cuales pueden presentar una variabilidad en las condiciones ambientales interiores (hay un menor control) como el entorno eólico (Osorio, et al., 2016); y aunque se colocaron paredes de plástico (las cuales permitían impedir el movimiento de aire en esas áreas), el aislamiento pudo no ser uniforme e igual para todas las instalaciones de alojamiento. El uso de termohigrómetros permitió obtener los datos de temperatura y humedad promedio en el ambiente de los diferentes sistemas de producción; la temperatura ambiental promedio obtenida (para los tres sistemas de producción) la cual se encuentra dentro del rango de confort térmico para las gallinas (Li, et al., 2020), mostró un valor de 21.2°C en el área de aislamiento de las jaulas convencionales, mientras que, para los sistemas de jaulas enriquecidas y sin jaula fue de 19.4°C y 19.4°C respectivamente. Por lo tanto, otros factores que pueden influir en los datos obtenidos y dificultar su comparación con estudios similares, son los procedimientos (metodología empleada para la medición) y condiciones experimentales (el clima, estación del año, la edad de las aves y otras antes mencionadas), así como la forma en que se presentan los resultados (Calvet, et al., 2011; Shepherd, et al., 2015; Zhao, et al., 2015; Zheng, et al., 2020; Shepherd, et al., 2015). En relación con este último punto, Calvet, et al. (2011) sugiere que, para comparar los resultados obtenidos en distintos estudios, es necesario el acuerdo de una misma metodología de muestreo. Además, para poder obtener información más detallada sobre variaciones en el tiempo de la concentración de amoníaco, se podría emplear otro tipo de metodología, además de muestreos de mayor plazo de tiempo (Zheng, et al., 2020).

Respecto a NO_x y NO₂, la concentración de estos gases en la caseta avícola fue muy baja durante todo el estudio y no fue afectada por el tipo de alojamiento o dieta; resultados similares (para ambos gases) fueron obtenidos en el estudio de Wu-Haan, et al. (2007). Adicionalmente, cabe destacar que, los valores de la concentración de dichos gases (NO_x y NO₂) dentro de las casetas avícolas, fueron similares e incluso inferiores a los valores obtenidos de los muestreos hechos en el exterior; por lo tanto, se considera que la emisión de NO_x, así como de NO₂ no es relevante dentro de las instalaciones avícolas, a diferencia del amoníaco (NH₃).

La disminución del nivel de proteína en la dieta es una estrategia nutricional cuya finalidad es reducir la excreción de nitrógeno y/o la emisión de amoníaco en el ambiente de las casetas de producción avícola (Novak, et al., 2006; Belloir, et al., 2017; Wu-Haan, et al., 2007); pero, en las condiciones del presente estudio, no se

observó un efecto de la dieta sobre la emisión de gases nitrogenados (NH₃, NO_x, NO₂); con respecto al amoniaco, resultados similares fueron obtenidos en los estudios de Roberts, et al. (2007) así como Burley, et al. (2013).

En las instalaciones avícolas, el amoniaco se emite en el almacenamiento de las excretas (Soto-Herranz, et al., 2021; Kilic & Yaslioglu, 2014); la actividad de los microorganismos generadores de dicho gas, se ve favorecida por el contenido de humedad en el estiércol de las aves (Belloir, et al., 2017) y, a determinadas concentraciones puede tener efectos negativos sobre la salud, bienestar y productividad de las aves (David, et al., 2015; Brouček & Čermák, 2015; Li, et al., 2020). En el presente experimento, las heces se almacenaban a largo plazo en fosas profundas y no pasaban por ningún tipo de sistema de secado o eliminación, no obstante, los valores de amoniaco obtenidos durante esta investigación (realizada durante la época de verano), fueron inferiores a 15 ppm, concentración a la cual Zhou, et al., (2021) informaron la presencia de lesiones en el tracto respiratorio y una alteración en la microbiota traqueal. A pesar de ello, se debe considerar la magnitud o escala menor de la prueba en comparación con producciones comerciales, así como el impacto de los distintos sistemas de alojamiento en la generación de amoniaco.

Cabe destacar que, dada la metodología empleada para el muestreo de los gases en el presente estudio, los resultados obtenidos se pueden considerar como preliminares; además de que, fue un experimento a escala relativamente pequeña (Li, et al., 2008).

Experimento 3

Comportamiento animal

Distintos autores han mencionado la falta de espacio y recursos para las gallinas alojadas en las jaulas (David, et al., 2015; Mench, et al., 2011; Vizzier, et al., 2016; Blokhuis, et al. 2007) por lo cual, los sistemas de jaula enriquecida y sin jaulas han buscado mejorar o brindar estas características con la finalidad de permitir una mayor libertad de movimiento, así como la expresión de un mayor repertorio de conductas “naturales” (para las que están motivadas las aves) y, además, evitar o disminuir la presentación de comportamientos agresivos o “redirigidos” (David, et al., 2015; Lay, et al., 2011; Blokhuis, et al. 2007). Lay, et al. (2011) argumenta que, los entornos más complejos y/o menos restrictivos brindan una mayor oportunidad a las gallinas de tomar decisiones, lo que puede mejorar su nivel de bienestar pero también puede dar lugar a la presentación de comportamientos como el picaje. A continuación, se va a discutir cada uno de los comportamientos evaluados.

- Descanso: Se menciona que, en relación con el descanso, las aves están altamente motivadas a perchar (Galindo & Orihuela, 2004); cabe destacar que los sistemas de JC y SJ no contaban con perchas, por lo cual el descanso se realizaba en el suelo de dichos sistemas. Un acontecimiento importante

es que, las gallinas del sistema de JE fueron criadas y pasaron gran parte de su vida productiva en jaulas convencionales, por lo cual al ser trasladadas a jaulas enriquecidas no usaron la percha colocada en dicho alojamiento y por ende también descansaban en el suelo de la jaula. Se considera que, el alojamiento de las aves desde la crianza en el mismo sistema de producción (o similar) en el que permanecerán durante toda su vida, permitirá una mejor transición y adaptación (utilización de instalaciones y recursos), así como una reducción de comportamientos agresivos (Janczak & Riber, 2015).

Por último, en el sistema de JE se observó una alta frecuencia de descanso durante todos los periodos de evaluación, mientras que en el sistema SJ, las aves descansaron más durante el último periodo lo que se puede relacionar con la realización de otro tipo de actividades (como el uso del nido) durante en los primeros dos periodos.

- De pie: Las aves alojadas en JC parecen mostrar un menor repertorio de comportamientos debido a las características de este sistema (espacio reducido y sin ningún tipo de enriquecimiento ambiental), por lo cual, el simple hecho de estar de pie en las jaulas convencionales presenta una frecuencia alta y similar durante todos los periodos de observación.
- Caminar: El hecho de no observar este comportamiento en el sistema de JC, aunado a su mayor frecuencia en el sistema SJ (durante todos los periodos de observación), seguido del sistema de JE, puede mostrar la diferente capacidad de movimiento que tienen las aves en los tres sistemas considerando el espacio por ave que brinda cada uno de ellos.
- Alimentación y beber agua: Sobre las observaciones del presente estudio, las gallinas en jaulas convencionales mostraron una alta y constante frecuencia del comportamiento de alimentación durante todos los periodos de evaluación, esto se puede relacionar al entorno simple de este sistema, en el cual las aves tenían el alimento disponible en todo momento, pero no tenían la oportunidad de realizar otras conductas como explorar y/o buscar alimento. Por otro lado, se observó una menor frecuencia de este comportamiento en el sistema sin jaula, el cual, brindaba un mayor espacio y sustrato que permitía una mayor exploración del entorno de las aves; Curiosamente, el consumo de agua en los tres sistemas mostró un patrón similar (no igual) al del consumo de alimento, aunque con una menor frecuencia durante los tiempos de observación; además se observó una menor frecuencia en el sistema SJ para este comportamiento, lo que podría indicar una mayor accesibilidad a los bebederos de las aves alojadas en las jaulas.

Ciertas pautas de comportamiento exponen una demanda inelástica dada su importancia para la supervivencia de los animales, por lo cual las aves las seguirán realizando en distintos entornos de alojamiento, entre estas se encuentra la alimentación, beber agua y dormir; sin embargo, se considera

que la oportunidad de realizar conductas con demanda elástica puede indicar que las aves gozan de un buen nivel de bienestar (Fraser & Nicol, 2018).

- Búsqueda de alimento (“Forrajear”): El sistema SJ fue el único en el que se brindó un sustrato sobre el piso, por lo cual, evidentemente fue el sistema en el que se observó que las aves realizaron el comportamiento de búsqueda de alimento, aumentando su frecuencia al pasar los tiempos de evaluación. Se ha observado que las gallinas que viven en ambientes naturales dedican la mayor parte de su tiempo activo (durante el día) a picar y rascar en el suelo o sustrato (60,6% y 34,1% del tiempo de observación, respectivamente), es decir, a buscar alimento (Dawkins, 1989); por lo tanto, se ha considerado que es una “necesidad conductual” (Dawkins, 2003). A pesar de que las aves alojadas en jaulas no pudieron realizar este comportamiento por la falta de recursos, es importante conocer que lo harán durante el día cuando se les dé la oportunidad; por tanto, sería adecuado que en futuros estudios se evalúe el tiempo dedicado a esta conducta en las gallinas alojadas en sistemas de piso, para conocer su relevancia en las diferentes estirpes empleadas actualmente en la producción de huevo.

- Acicalamiento y Baño de polvo: Ambas pautas de comportamiento ayudan a mantener en buen estado la cobertura de plumas del cuerpo de las aves, la cual, es importante para proteger a la piel de daños y de las condiciones ambientales (Galindo & Orihuela, 2004). Respecto al acicalamiento, las aves en todos los alojamientos mostraron una alta frecuencia de esta actividad, siendo mayor en piso por la mañana, lo que indica que es una pauta que se llevará a cabo en los distintos entornos; la ligera disminución de este comportamiento en jaulas puede deberse a que las aves preferían realizar otras conductas como comer y descansar, o en el caso de JE, permanecer en los nidos.

Por otro lado, el baño de polvo es un comportamiento que las aves realizaron o intentaron realizar (aunque con relativa poca frecuencia), en los tres tipos de alojamiento (“baño de polvo simulado” en jaulas), aún sin la presencia de sustrato; esta situación nos puede indicar que el baño de polvo es un comportamiento para el que están altamente motivadas las gallinas o que es una necesidad (Dawkins, 1990; Weeks & Nicol, 2006).

Los baños de polvo simulados en jaulas, en algunos casos se realizaban cerca de los comederos, Louton, et al. (2016) menciona que probablemente las aves intentan usar el alimento como un sustrato alternativo. En cuanto a las aves en piso, la frecuencia de presentación de los baños de polvo fue por la tarde (12:00-14:00 hrs) y varias gallinas al mismo tiempo, características comunes de esta conducta según lo mencionado por Lee, et al. (2016).

- Uso de nido: El patrón de uso de nido fue diferente en los sistemas que contaban con nidos, el sistema de JE mostró un mayor uso en la mañana (y fue disminuyendo a través del día), mientras que en el sistema SJ fue mayor durante la media mañana; estos resultados son similares a los obtenidos por

Tůmová, et al. (2011), quienes observaron un patrón de postura en el cual la oviposición de las aves en piso ocurrió más tarde que, de las aves en jaulas, ellos argumentan que la hora de oviposición se verá influida por el sistema de alojamiento.

Se considera que, proporcionar espacios discretos y cerrados para la postura del huevo, es decir, “nidos” en los sistemas de producción, representará un enriquecimiento muy valorado e incluso el más importante (más que el alimento) para las gallinas, sobre todo momentos antes de la ovoposición (Weeks & Nicol, 2006; Dawkins, 1990; Blokhuis, et al. 2007). Por lo cual, la falta de nidos podría generar un efecto negativo en el bienestar de las aves (Wang, et al., 2009); sin embargo, Lay, et al. (2011) sugieren que, la selección genética, así como no tener contacto con los huevos que ponen, ha generado que las gallinas no se sientan motivadas a anidar y/o incubar el huevo.

Otro factor importante que se ha estudiado es el diseño de los nidos, ya que se considera que, un bajo uso de los nidos puede indicar que el diseño no es adecuado (Weeks & Nicol, 2006; Blokhuis, et al. 2007); en el presente estudio, la mayoría de los huevos de JE y SJ si fueron colocados en los nidos, lo que indica que pudieron satisfacer las necesidades de las gallinas (Blokhuis, et al. 2007).

- Estiramiento del ala: Aunque este comportamiento tuvo poca frecuencia en los tres tipos de alojamiento, el sistema de JC fue en el que se observaron menos repeticiones. Weeks & Nicol (2006) mencionan que, debido al pequeño espacio que brindan las jaulas convencionales, es raro observar conductas como estirar el ala; además, la realización de este tipo de comportamientos en jaulas, puede aumentar el roce de las plumas de las alas con las paredes de alambre (Tactacan, et al., 2009), lo que podría afectar la condición del plumaje.
- Picoteo (Figura 14): Las aves emplean el picoteo para explorar y reconocer su entorno, pero además, para el establecimiento de una organización social o jerarquías (Galindo & Orihuela, 2004). Por lo tanto, la dominancia en las aves de producción se puede manifestar con picoteo agresivo desde las gallinas dominantes hacia otras de menor rango (en las regiones de cabeza o cuello), principalmente por el acceso a recursos (como el alimento, perchas, etc.), los cuales en algunos casos pueden ser limitados (Mauldin, 1992; Galindo & Orihuela, 2004). De acuerdo con esto, a pesar de que la frecuencia de picoteo agresivo en el presente estudio fue muy baja, las aves presentaban este comportamiento principalmente en el comedero. Finalmente, este comportamiento es un factor que afectará el nivel de bienestar de las gallinas (de Haas, et al., 2013), por lo cual, es relevante considerar sus posibles causas.

ALTERNATIVAS DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Los sistemas de JE y SJ permitieron un mayor movimiento y expresión de comportamientos que pueden ser importantes para mejorar el bienestar de las gallinas; sin embargo, en general, también redujeron el rendimiento productivo de las aves (específicamente, el SSJ), aunado a que, la cantidad de aves por m² también se reduce. Por lo tanto, la producción alternativa puede ir acompañada de una menor eficiencia y, por ende, de un aumento en los costos de producción (y de venta al público); en este caso será importante encontrar el mercado adecuado para la venta de huevos producidos en sistemas alternativos, ya que, ciertos sectores de los consumidores en este país muestran interés por el bienestar de los animales de producción (García, 2018) y gran parte de ellos podrían estar dispuestos a pagar más por productos de este tipo. La eficiencia de la producción de huevo no sólo dependerá del diseño y tipo de sistema de alojamiento, también dependerá de un adecuado manejo de las aves e instalaciones; por ejemplo, en los sistemas de JE y SJ, una alternativa al problema del aumento en el %HR y %HSE, sería una colecta de huevo más frecuente, (lo que puede implicar un aumento en el costo de la mano de obra). Además (como se mencionó anteriormente), el alojamiento de las aves en ambientes similares durante las fases de crianza y postura, permitirá una mejor adaptación y aprovechamiento de las instalaciones y recursos (como los nidos), durante su etapa productiva (Janczak & Riber, 2015; Campbell, et al., 2019). Finalmente, se debe seguir analizando y recolectando información sobre los diferentes tipos de alojamiento, con el objetivo de mejorar su eficiencia en los distintos aspectos de la producción avícola.

La emisión de amoníaco fue afectada por el tipo de alojamiento, por lo que se deberá considerar aquellos factores que sean distintos en cada sistema de producción; en este caso, las jaulas convencionales presentan una mayor densidad de población, lo que puede generar una mayor acumulación de excretas (y como consecuencia, mantener más humedad por la acumulación) y ser un factor que altera la emisión de este contaminante (Soto-Herranz, et al., 2021). Dadas las condiciones del sistema de JC, se mencionan algunas alternativas, aunque en general, se pueden aplicar para cualquier tipo de alojamiento. El control de la ventilación es un manejo fundamental y que comúnmente se emplea para mejorar la calidad del aire en las casetas avícolas, pero además, se menciona la importancia del empleo de estrategias que busquen no solo controlar la concentración de amoníaco en la caseta, si no también, evitar su formación en el estiércol de las aves (Wathes, et al., 1997; Ritz, et al., 2004). Por ello se recomiendan manejos como la eliminación frecuente del estiércol (durante la duración de este estudio, no ocurrió ese manejo), o cuando sea posible, contar con sistemas o mecanismos especializados para secar y eliminar las heces (Rosa, et al., 2022; Xin, et al., 2011), además se menciona el empleo de ciertos productos que se aplican al estiércol, como acidificantes e inhibidores de los microorganismos, aunque, su acción pueden depender mucho de

las condiciones del ambiente en la caseta (Ritz, et al., 2004), así Finalmente, todos estos manejos van a impactar en las propiedades del estiércol (como la humedad y el pH) y, por lo tanto, en las reacciones que en él suceden, como la generación de amoníaco (Xin, et al., 2011; Ritz, et al., 2004). Otra tecnología novedosa que puede representar una alternativa para mejorar la calidad del aire, son los sistemas de sanitización ambiental activa con plasma no térmico (JONIX, 2021). Por último, para considerar la adopción de nuevas estrategias, se deberán valorar las limitaciones técnicas y económicas de cada unidad productiva (Ritz, et al., 2004; Wathes, et al., 1997).

El empleo de estrategias nutricionales puede generar ciertos cambios que sean favorables o no; en este caso, la productividad de las aves si presentó diferencia en relación con el nivel de proteína en la dieta, por lo cual, será conveniente evaluar si la disminución del costo del alimento compensa la disminución de la productividad de las aves. En el presente estudio, no se observó una reducción de la emisión de amoníaco al reducir el nivel de proteína, sin embargo, como se mencionó anteriormente, sería de mucho valor la evaluación de emisiones gaseosas en producciones de huevo a mayor escala.

Debido a que, la concentración de los gases NO y NO₂ fue baja durante todo el periodo de evaluación para todos los tratamientos, se sugiere no evaluar estos gases en futuros estudios (pequeña escala) o, de ser posible, evaluar su emisión y efecto a escala comercial.

Cabe destacar que, la metodología para determinar la concentración de los gases en la caseta (amoníaco, dióxido de nitrógeno y monóxido de nitrógeno) empleada en el presente estudio representa una nueva alternativa, se recomienda seguir valorando la eficacia y aplicación de este procedimiento; adicionalmente es importante medir la velocidad del viento con un anemómetro, así como mantener un flujo de aire similar para los diferentes tratamientos.

Por otro lado, en general, se sugiere realizar más de una evaluación sobre la calidad del huevo y del cascarón durante el periodo de duración de futuros estudios, con el propósito de obtener resultados más contundentes del impacto tanto de la dieta, como de los sistemas de alojamiento sobre los indicadores evaluados.

En este experimento, la frecuencia de picoteo agresivo fue baja, pero con base en lo observado, su presencia se puede relacionar con una competencia por recursos, en este caso el alimento; por lo cual, será fundamental proveer de espacios (comedero, bebederos, nidos, perchas, etc.) y recursos adecuados (como la cantidad de alimento), de acuerdo con la densidad de población empleada en cada sistema de alojamiento. Además, las aves en jaulas realizaban baños de polvo "simulados", esto puede indicar que dicho comportamiento es importante (Dawkins, 1990; Weeks & Nicol, 2006) y que, en los diseños de sistemas de alojamiento alternativos, se debería incluir algún tipo de recursos para ese propósito. El cambio del sistema de alojamiento si generó un cambio en la diversidad de pautas de

comportamiento expresadas por las aves, lo cual se considera un principio importante para mejorar el nivel de bienestar en las aves; se recomienda que, en futuros estudios, la evaluación del comportamiento sea reforzada con otros métodos de evaluación del bienestar, incluidos ciertos indicadores fisiológicos e inclusive inmunológicos (Dawkins, 2003).

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones experimentales de esta prueba se puede concluir que:

En el experimento 1 con gallinas Bovans White de 22 a 37 semanas de edad, las aves alojadas en jaulas tuvieron un mejor rendimiento productivo, esto se puede relacionar con una menor actividad, así como una mayor capacidad de termorregulación. Por otra parte, la dieta con el mayor nivel de proteína fue capaz mantener un nivel de producción superior a la dieta con reducción en dicho nutriente, debido probablemente a una disminución o limitación en la disponibilidad de aminoácidos esenciales y no esenciales. Los dos sistemas de alojamiento alternativos mostraron un mayor porcentaje de huevo roto, esto se debe considerar en el diseño de las instalaciones y el manejo en dichos sistemas. El porcentaje de huevo sucio de sangre fue mayor en jaulas enriquecidas, relacionado con la observación de picaje cloacal.

En el experimento 2 con gallinas Bovans White de 106 a 110 semanas de edad se obtuvieron mejores índices productivos en aves alimentadas con dietas con 16% versus 14% de proteína; sin embargo, la dieta con 16% de proteína obtuvo un mayor porcentaje de huevo roto y un menor grosor del cascarón. La emisión de amoníaco se vio afectada por las condiciones del sistema de alojamiento ya que fue ligeramente mayor en el sistema de jaula convencional, sin embargo, no se alcanzó una concentración que se considere dañina o peligrosa para la salud de las gallinas Bovans White. La generación de los gases NO y NO₂ fue baja y similar entre todos los tratamientos.

En los dos experimentos antes mencionados, el sistema sin jaula mostró un porcentaje de huevo sucio muy superior al resto de los tratamientos (sistemas de jaula), además la calidad del cascarón (GC y RC) fue inferior en dicho alojamiento (experimento dos); estos dos factores afectan la producción final y la calidad sanitaria del huevo.

En el experimento 3, se observó que algunas de las pautas de comportamiento se expresaron cuando las aves tuvieron la oportunidad, y esto dependía de las características y condiciones de cada sistema de alojamiento; aunque se presentó un panorama muy general, se obtuvo información que puede ser de utilidad para la mejora continua de los diseños y el equipamiento de los sistemas de producción de huevo, así como, en el bienestar de las aves.

La enorme eficiencia en la producción avícola actual se ha logrado gracias a los avances en el conocimiento y la mejora continua de las prácticas de manejo en distintas áreas de la producción animal; sin embargo, las exigencias sociales, ambientales y económicas actuales (por una producción animal más sostenible), generan nuevos retos, pero además nuevas oportunidades que deben ser analizados con el objetivo de mejorar y comprender la avicultura mexicana desde diferentes perspectivas.

BIBLIOGRAFÍA

Adebayo, G., Abiodun, S., Shuaibu, A. & Suleiman, Z., 2018. *Nitrogen Emissions and Mitigation Strategies in Chicken Production, Animal Husbandry and Nutrition*. London: Ilustrada.

Appleby, M. C. y otros, 2002. Development of furnished cages for laying hens. *British poultry science*, 43(4), p. 489–500.

Appleton, A. & Vanbergen, O., 2013. *Lo esencial en Metabolismo y nutrición*. Cuarta ed. Barcelona, España: ELSERVIER.

Ávila, E., Cortés, A. & Esquivel, J., 1996. Nutrición del pollo de engorda. En: I. Castro, ed. *Exámen general de calidad profesional en Medicina Veterinaria y Zootecnia*. México, D.F.: FMVZ-UNAM, pp. 75-83.

Awad, E. A., Zulkifli, I., Soleimani, A. F. & Loh, T. C., 2015. Individual non-essential amino acids fortification of a low-protein diet for broilers under the hot and humid tropical climate. *Poultry science*, 94(11), p. 2772–2777.

Azzam, M. M. y otros, 2019. Threonine Requirements in Dietary Low Crude Protein for Laying Hens under High-Temperature Environmental Climate. *Animals: an open access journal from MDPI*, 9(9), p. 586.

Belloir, P. y otros, 2017. Reducing the CP content in broiler feeds: impact on animal performance, meat quality and nitrogen utilization. *Animal: an international journal of animal bioscience*, 11(11), p. 1881–1889.

Blatchford, R. A., Fulton, R. M. & Mench, J. A., 2016. The utilization of the Welfare Quality® assessment for determining laying hen condition across three housing systems. *Poultry science*, 95(1), p. 154–163.

Blokhuis, H. J. y otros, 2007. The LayWel project: welfare implications of changes in production systems for laying hens. *World's Poultry Science Journal*, 63(1), pp. 101-114.

Broom, D. M., 1988. The Scientific Assessment of Animal Welfare. *Applied Animal Behaviour Science*, Volumen 20, pp. 5-19.

Broom, D. M., 2012. *Encyclopedia of Animal Behavior*. s.l.:Academic Press.

Brouček, J. & Čermák, B., 2015. Emission of harmful gases from poultry farms and possibilities of their reduction. *Ekológia (Bratislava)*, 34(1), pp. 89-100.

Burley, H. K., Patterson, P. H. & Elliot, M. A., 2013. Effect of a reduced crude protein, amino acid-balanced diet on hen performance, production costs, and ammonia emissions in a commercial laying hen flock. *Journal of Applied Poultry Research*, 22(2), pp. 217-228.

Calvet, S., Cambra-López, M., Estellés, F. & Torres, A. G., 2011. Characterization of gas emissions from a Mediterranean broiler farm. *Poultry science*, 90(3), p. 534–542.

Campbell, D., De Haas, E. N. & Lee, C., 2019. A review of environmental enrichment for laying hens during rearing in relation to their behavioral and physiological development. *Poultry science*, 98(1), p. 9–28.

Campbell, D. L., Lee, C., Hinch, G. N. & Roberts, J. R., 2017. Egg production and egg quality in free-range laying hens housed at different outdoor stocking densities.. *Poultry Science*, 96(9), pp. 3128-3137.

CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA, 1999. *DIRECTIVA 1999/74/CE*, s.l.: Diario Oficial de las Comunidades Europeas.

Costantini, M. y otros, 2020. Investigating on the environmental sustainability of animal products: The case of organic eggs. *Journal of Cleaner Production*, Volumen 274.

Craig, J. V., Craig, J. A. & Vargas Vargas, J., 1986. Corticosteroids and other indicators of hens' well-being in four laying-house environments. *Poultry science*, 65(5), pp. 856-863.

Dao, H. T., Sharma, N. K., Bradbury, E. J. & Swick, R. A., 2021. Response of laying hens to l-arginine, l-citrulline and guanidinoacetic acid supplementation in reduced protein diet. *Animal nutrition (Zhongguo xu mu shou yi xue hui)*, 7(2), p. 460–471.

David, B. y otros, 2015. Air Quality in Alternative Housing Systems may have an Impact on Laying Hen Welfare. Part II-Ammonia. *Animals*, 5(3), p. 886–896.

Dawkins, M. S., 1989. Time Budgets in Red Junglefowl as a Baseline for the Assessment of Welfare in Domestic Fowl. *Applied Animal Behaviour Science*, Volumen 24, pp. 77-80.

Dawkins, M. S., 1990. From an animals point of view Motivation, fitness, and animal welfare. *Behavioral and Brain Sciences*, 13(1), p. 1–9.

Dawkins, M. S., 2003. Behaviour as a tool in the assessment of animal welfare. *Zoology (Jena, Germany)*, 106(4), p. 383–387.

de Haas, E. N. y otros, 2013. Fear, stress, and feather pecking in commercial white and brown laying hen parent-stock flocks and their relationships with production parameters. *Poultry science*, 92(9), p. 2259–2269.

Elson, H. A., 2009. *Sistemas de alojamiento para gallinas ponedoras en Europa: desarrollo actual y resultados técnicos*. Zaragoza, s.n.

Elson, H. A., 2011. Housing and Husbandry of Laying Hens: past, present and future.. *Lohmann Information*, 46(2), pp. 16-24.

Englmaierová, M., Tůmová, E., Charvátová, V. & Skřivan, M., 2014. Effects of laying hens housing system on laying performance, egg quality characteristics, and egg microbial contamination.. *Czech Journal of Animal Science*, 59(8), pp. 345-352.

Forkman, B. & Keeling, L., 2009. *Welfare Quality reports No. 9: Assessment of animal Welfare Measures for Layers and Broilers..* Sweden, Uppsala: Cardiff.

Fraser, D. & Nicol, J., 2018. Chapter 11. Preference and motivation research. En: *Animal Welfare. 3rd ed..* U.K., London: CABI, p. 213.

Friedrich, N. O., 2012. BIENESTAR ANIMAL. *Sitio Argentino de Producción Animal.*

Fuente, B. y otros, 2012. Respuesta productiva de gallinas a dietas con diferentes niveles de proteína. *Archivos de medicina veterinaria*, 44(1), pp. 67-74.

Galindo, F. & Orihuela, A., 2004. *Etología aplicada.* México DF: FMVZ, UNAM.

García, H. S., 2018. La producción de huevo libre de jaula y la tendencia del mercado en México. *Los avicultores y su entorno*, 20(123), pp. 144-146.

Guinebretière, M., Huneau-Salaün, A., Huonnic, D. & Michel, V., 2013. Plumage condition, body weight, mortality, and zootechnical performances: the effects of linings and litter provision in furnished cages for laying hens. *Poultry science*, 92(1), p. 51–59.

Gunnarsson, S. y otros, 2020. Systematic Mapping of Research on Farm-Level Sustainability in Egg and Chicken Meat Production. *Sustainability*, 12(7), p. 3033.

Gunnarsson, S. y otros, s.f. Systematic Mapping of Research on Farm-Level Sustainability in Egg and Chicken Meat Production.

Hendrix Genetics, 2020. *Commercial Management Guide alternative housing systems.* [En línea]
Available at: https://layinghens.hendrix-genetics.com/documents/827/Management_Guide_Alternative_Housing_Systems_L0204-4.pdf

Hendrix Genetics, 2020. *Commercial Management Guide cage housing.* [En línea]
Available at: [https://layinghens.hendrix-genetics.com/documents/980/Management_guide_commercial_cage_English_vs_L0260-6 .pdf](https://layinghens.hendrix-genetics.com/documents/980/Management_guide_commercial_cage_English_vs_L0260-6.pdf)

Hendrix Genetics, Version L7121-2. *Nutrition Management Guide.* The Netherlands: s.n.

Holt, P. S. y otros, 2011. The impact of different housing systems on egg safety and quality. *Poultry science*, 90(1), p. 251–262.

Hong, E. C. y otros, 2021. Studies on the concentrations of particulate matter and ammonia gas from three laying hen rearing systems during the summer season. *Journal of environmental science and health*, 56(8), p. 753–760.

Houshmand, M. y otros, 2012. Effects of prebiotic, protein level, and stocking density on performance, immunity, and stress indicators of broilers. *Poultry science*, 91(2), p. 393–401.

INEGI , 2014. *Anuario estadístico y geográfico del Distrito Federal*. Ciudad de México: INEGI.

Instituto de Estudios del Huevo, 2022. *Composición Nutricional Del Huevo*. [En línea]

Available at: <https://www.institutohuevo.com/composicion-nutricional-del-huevo/#1501003984074-a5111b1a-4b63>

[Último acceso: 2022].

Janczak, A. M. & Riber, A. B., 2015. Review of rearing-related factors affecting the welfare of laying hens. *Poultry science*, 94(7), p. 1454–1469.

Ji-Hyuk, K., 2015. Protein Quality and Amino Acid Utilization in Chickens. *Korean Journal of Poultry Science*, Volumen 42, pp. 87-100.

Karkulín, D., 2003. Comparison of production and egg quality parameters of laying hens housed in conventional and enriched cages. *Poultry Science*.

Keeling, L. J., Rushen, J. & Duncan, I. J. H., 2018. *Animal welfare*. 3rd ed. London: CABI.

Ketta, M. & Tůmová, E., 2016. Eggshell structure, measurements, and quality-affecting factors in laying hens: A review. *Czech Journal of Animal Science*, 61(7), pp. 299-309.

Kidd, M. T., Maynard, C. W. & Mullenix, G. J., 2021. Progress of amino acid nutrition for diet protein reduction in poultry. *Journal of animal science and biotechnology*, 12(1), p. 45.

Kilic, I. & Yaslioglu, E., 2014. Ammonia and carbon dioxide concentrations in a layer house. *Asian-Australasian journal of animal sciences*, 27(8), p. 1211–1218.

Lay, D. C. y otros, 2011. Hen welfare in different housing systems. *Poultry Science*, 90(1), p. 278–294.

Lee, C. Y., Song, A. A., Loh, T. C. & Abdul Rahim, R., 2020. Effects of lysine and methionine in a low crude protein diet on the growth performance and gene expression of immunity genes in broilers. *Poultry science*, 99(6), p. 2916–2925.

Lee, H. y otros, 2016. Effects of multiple daily litter applications on the dust bathing behaviour of laying hens kept in an enriched cage system. *Applied Animal Behaviour Science*, Volumen 178, pp. 51-59.

Leenstra, F. y otros, 2014. Laying hen performance in different production systems; why do they differ and how to close the gap? Results of discussions with groups of farmers in The Netherlands, Switzerland and France, benchmarking and model calculations. *European Poultry Science*, Volumen 78.

Li, D. y otros, 2020. Effects of chronic heat stress and ammonia concentration on blood parameters of laying hens. *Poultry science*, 99(8), p. 3784–3792.

Li, D. y otros, 2020. Effects of Cold Stress and Ammonia Concentration on Productive Performance and Egg Quality Traits of Laying Hens. *Animals*, 10(12), p. 2252.

Li, H., Xin, H., Liang, Y. & Burns, R. T., 2008. Reduction of Ammonia Emissions from Stored Laying Hen Manure Through Topical Application of Zeolite, Al+ Clear, Ferix-3, or Poultry Litter Treatment. *Journal of Applied Poultry Research*, 17(4), pp. 421-431.

Louton, H. y otros, 2016. Dust-bathing behavior of laying hens in enriched colony housing systems and an aviary system. *Poultry science*, 95(7), p. 1482–1491.

Macelline, S. P. y otros, 2021. Amino acid requirements for laying hens: a comprehensive review. *Poultry science*, 100(5).

Matthews, W. A. & Sumner, D. A., 2015. Effects of housing system on the costs of commercial egg production. *Poultry science*, 94(3), p. 552–557.

Mauldin, J. M., 1992. Applications of behavior to poultry management. *Poultry science*, 71(4), p. 634–642.

Mench, J. A., Sumner, D. A. & Rosen-Molina, J. T., 2011. Sustainability of egg production in the United States-the policy and market context. *Poultry Science*, 90(1), pp. 229-240.

Mench, J. A., Swanson, J. C. & Arnot, C., 2016. The Coalition for Sustainable Egg Supply: A unique public-private partnership for conducting research on the sustainability of animal housing systems using a multistakeholder approach. *Journal of animal science*, 94(3), p. 1296–1308.

Meng, F. y otros, 2015. Effects of large or small furnished cages on performance, welfare and egg quality of laying hens. *Animal Production Science*, Volumen 55, pp. 793-798.

Molnár, S. & Szöllősi, L., 2020. Sustainability and Quality Aspects of Different Table Egg Production Systems: A Literature Review. *Sustainability*, 12(19).

Müller-Esterl, W., 2008. *Bioquímica: Fundamentos para Medicina y Ciencias de la Vida*. Barcelona, España: Editorial Reverté.

Nahm, K. H., 2003. Evaluation of the nitrogen content in poultry manure. *World's Poultry Science Journal*, 59(1), p. 77–88.

Naranjo, V., 2016. La importancia de los aminoácidos suplementarios y la tecnología NIRS en la nutrición de aves. *aviNews*, Issue 6, pp. 84-92.

Neijat, M., House, J. D., Guenter, W. & Kebreab, E., 2011. Production performance and nitrogen flow of Shaver White layers housed in enriched or conventional cage systems. *Poultry science*, 90(3), p. 543–554.

Newberry, R., Keeling, L., Estevez, I. & Bilc'ík, B., 2007. Behaviour when young as a predictor of severe feather pecking in adult laying hens: The redirected foraging hypothesis revisited. *Applied Animal Behaviour Science*, Volumen 107, pp. 262-274.

Novak, C., Yakout, H. M. & Scheideler, S. E., 2006. The effect of dietary protein level and total sulfur amino acid:lysine ratio on egg production parameters and egg yield in Hy-Line W-98 hens. *Poultry science*, 85(12), p. 2195–2206.

Ogawa & Co., 1997. *NO, NO₂, NO_x and SO₂ Sampling Protocol Using The Ogawa Sampler*. Yokohama, Japan: s.n.

Olsson, A., Wurbel, H. & Mench, J., 2018. Behaviour. En: *Animal Welfare*. U.K., London: CABI, p. 160.

Organización Mundial de Sanidad Animal, 2022. *Acceso en línea al Código Terrestre*. [En línea] Available at: https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-codigo-terrestre/?id=169&L=1&htmlfile=chaptre_aw_introduction.htm

Osorio, S. J. y otros, 2016. A CFD based approach for determination of ammonia concentration profile and flux from poultry houses with natural ventilation. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 69(1).

Ospina-Rojas, I. C. y otros, 2017. Leucine and valine supplementation of low-protein diets for broiler chickens from 21 to 42 days of age. *Poultry science*, 96(4), p. 914–922.

Pesti, G. M., 2009. Impact of dietary amino acid and crude protein levels in broiler feeds on biological performance. *Journal of Applied Poultry Research*, 18(3), pp. 477-486.

Pištěková, V. y otros, 2006. The quality comparison of eggs laid by laying hens kept in battery cages and in a deep litter system. *Czech Journal of Animal Science*, 51(7), p. 318–325.

Pokharel, B. B. y otros, 2017. Laying hens behave differently in artificially and naturally sourced ammoniated environments. *Poultry science*, 96(12), p. 4151–4157.

Poultry Science, 1999. *Poultry Feedstuffs: Supply, Composition and Value*. New York, USA: CABI.

Powers, W. & Angel, R., 2008. A review of the capacity for nutritional strategies to address environmental challenges in poultry production. *Poultry science*, 87(10), p. 1929–1938.

Qaid, M. M. & Al-Garadi, M. A., 2021. Protein and Amino Acid Metabolism in Poultry during and after Heat Stress: A Review. *Animals: an open access journal from MDPI*, 11(4), p. 1167.

Quality®, W., 2019. *Protocolos Welfare Quality® de evaluación del Bienestar Animal*. [En línea] Available at: <http://www.welfarequality.net/es-es/certificacion-welfair/los-protocolos/>

Rama Rao, S. V. y otros, 2011. Effect of dietary concentrations of energy, crude protein, lysine, and methionine on the performance of White Leghorn layers in the tropics. *Journal of Applied Poultry Research*, 20(4), pp. 528-541.

Ritz, C. W., Fairchild, B. D. & Lacy, M. P., 2004. Implications of Ammonia Production and Emissions from Commercial Poultry Facilities: A Review. *Journal of Applied Poultry Research*, 13(4), pp. 684-692.

Roberts, S. A. y otros, 2007. Effects of dietary fiber and reduced crude protein on ammonia emission from laying-hen manure. *Poultry science*, 86(8), p. 1625–1632.

Rodriguez, S. D., 2009. *ENGORMIX, El bienestar animal en gallinas ponedoras*. [En línea] [Último acceso: 20 Agosto 2018].

Rosa, E., Arriaga, H. & Merino, P., 2022. Strategies to mitigate ammonia and nitrous oxide losses across the manure management chain for intensive laying hen farms. *The Science of the total environment*, Volumen 803.

Samiullah, Roberts, J. R. & Chousalkar, K. K., 2014. Effect of production system and flock age on egg quality and total bacterial load in commercial laying hens. *Journal Applied Poultry Research*, 23(1), pp. 59-70.

Shepherd, T. A. y otros, 2015. Environmental assessment of three egg production systems--Part II. Ammonia, greenhouse gas, and particulate matter emissions. *Poultry science*, 94(3), p. 534–543.

Siegel, P., 1984. The role of behavior in poultry production: a review of research. *Applied Animal Ethology*, Volumen 11, pp. 299-316.

Siegford, J. M., Powers, W. & Grimes-Casey, H. G., 2008. Environmental aspects of ethical animal production. *Poultry science*, 87(2), p. 380–386.

Singh, R., Cook, N., Cheng, K. M. & Silversides, F. G., 2009. Invasive and noninvasive measurement of stress in laying hens kept in conventional cages and in floor pens. *Poultry science*, 88(7), p. 1346–1351.

Soto-Herranz, M., Sánchez-Báscones, M., Antolín-Rodríguez, J. M. & Martín-Ramos, P., 2021. Pilot Plant for the Capture of Ammonia from the Atmosphere of Pig and Poultry Farms Using Gas-Permeable Membrane Technology. *Membranes*, 11(11), p. 859.

Subcommittee on Poultry Nutrition, NRC, 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*. Ninth Revised Edition ed. Washington, D.C.: National Academy Press.

Tactacan, G. B. y otros, 2009. Performance and welfare of laying hens in conventional and enriched cages. *Poultry science*, 88(4), p. 698–707.

Tauson, R. y otros, 2005. Applied scoring of integument and health in laying hens. *Animal science papers and reports*, Volumen 23, pp. 153-159.

The European Animal Welfare Indicators Project, 2015. *Development, integration and dissemination of animal-based welfare indicators, including pain, in commercially important husbandry species, with special emphasis on small ruminants, equidae & turkeys*. [En línea] Available at: <https://cordis.europa.eu/project/id/266213/reporting>

Tůmová, E., Englmaierová, M., Ledvinka, Z. & Charvátová, V., 2011. Interaction between housing system and genotype in relation to internal and external egg quality parameters. *Czech Journal of Animal Science*, 56(11), pp. 490-498.

Tůmová, E., Skřivan, M., Englmaierová, M. & Zita, L., 2009. The effect of genotype, housing system and egg collection time on egg quality in egg type hens. *Czech Journal of Animal Science*, 54(1), pp. 17-23.

UNA, 2021. *Compendio de indicadores económicos del sector avícola*, México: Unión Nacional de Avicultores.

Van Asselt, E. D. y otros, 2015. Assessing the sustainability of egg production systems in The Netherlands. *Poultry science*, 94(8), p. 1742–1750.

Vizzier, Y. y otros, 2016. Symposium: Animal welfare challenges for today and tomorrow. *Poultry science*, 95(9), p. 2198–2207.

Wang, J. y otros, 2017. Nutritional modulation of health, egg quality and environmental pollution of the layers. *Animal nutrition*, 3(2), p. 91–96.

Wang, X. L. y otros, 2009. Laying performance and egg quality of blue-shelled layers as affected by different housing systems. *Poultry science*, 88(7), p. 1485–1492.

Wathes, C. M. y otros, 1997. Concentrations and emission rates of aerial ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses. *British poultry science*, 38(1), p. 14–28.

Webstert, A. B. & Hurnik, J. F., 1990. An ethogram of white leghorn.type hens in battery cages. *Canadian Journal of Animal Science*, Volumen 70, pp. 751-760.

Weeks, C. A. & Nicol, C. J., 2006. Behavioural needs, priorities and preferences of laying hens. *World's Poultry Science Journal*, 62(2), p. 296–307.

Weimer, S. L. y otros, 2019. Laying hen production and welfare in enriched colony cages at different stocking densities. *Poultry science*, 98(9), p. 3578–3586.

Welfare Quality, 2019. *Certificación Welfair*. [En línea] Available at: <http://www.welfarequality.net/es-es/certificacion-welfair/>

Wiedemann, S. G. y otros, 2016. Nitrous oxide, ammonia and methane from Australian meat chicken houses measured under commercial operating conditions and with mitigation strategies applied. *Animal Production Science*, Volumen 56, pp. 1404-1417.

Wilhelm, H., 2017. *Housing systems in laying hen husbandry*. [En línea] Available at: <https://zootecnicainternational.com/featured/housing-systems-laying-hen-husbandry/> [Último acceso: 2021].

Wu-Haan, W. y otros, 2007. Effect of an acidifying diet combined with zeolite and slight protein reduction on air emissions from laying hens of different ages. *Poultry science*, 86(1), p. 182–190.

Xin, H. y otros, 2011. Environmental impacts and sustainability of egg production systems. *Poultry science*, 90(1), p. 263–277.

Yilmaz, B. y otros, 2016. Egg production and welfare of laying hens kept in different housing systems (conventional, enriched cage, and free range). *Poultry science*, 95(7), p. 1564–1572.

Zhao, Y., Shepherd, T. A., Li, H. & Xin, H., 2015. Environmental assessment of three egg production systems--Part I: Monitoring system and indoor air quality. *Poultry science*, 94(3), p. 518–533.

Zheng, W. y otros, 2020. Air temperature, carbon dioxide, and ammonia assessment inside a commercial cage layer barn with manure-drying tunnels. *Poultry science*, 99(8), p. 3885–3896.

Zhou, J. M. y otros, 2021. Effect of dietary serine supplementation on performance, egg quality, serum indices, and ileal mucosal immunity in laying hens fed a low crude protein diet. *Poultry science*, 100(12), p. 101465.

Zhou, Y., Zhang, M., Liu, Q. & Feng, J., 2021. The alterations of tracheal microbiota and inflammation caused by different levels of ammonia exposure in broiler chickens. *Poultry science*, 100(2), p. 685–696.

MATERIAL ANEXOCuadros

Experimento 1

Cuadro 1. Composición y análisis calculado de la dieta con 18% de proteína cruda para gallinas Bovans White de 22-37 semanas de edad.

Ingrediente	Peso (Kg)
Maíz amarillo	576.417
Soya 48%	280.947
Calcio 38%	103.001
Aceite de soya	18.810
Fosfato 18/20	9.843
Sal	3.559
Metionina 88%	2.668
Vitaminas CEIEPAv postura	2.500
Free-Tox	1.000
Larvadex	0.500
Bacitracina	0.300
Antioxidante	0.150
Lucantin amarillo	0.150
Enzimas Xap Dupont	0.075
Fitasa Dupont	0.060
Cantaxantina	0.020
Total	1,000,000
Nutriente	Cantidad
Energía metabolizable	2.900 Mcal/Kg
Proteína total	18.200%
Fósforo no fítico	0.470%
Calcio	4.200%
Lisina	0.998%
Metionina	0.489%
Met + Cis	0.800%
Treonina	0.710%
Ácido Linoleico	2.185%
Colina	1.026 Gr/Kg
Sodio	0.181%
Cloruro	0.250%

Cuadro 2. Análisis calculado y composición de la dieta con 16% de proteína cruda para gallinas Bovans White de 22-37 semanas de edad.

Ingrediente	Peso (Kg)
Maíz amarillo	638.430
Soya 48%	225.586
Calcio 38%	103.133
Fosfato 18/20	10.225
Aceite de soya	7.790
Sal	3.565
Metionina 88%	3.345
Vitaminas CEIEPAv postura	2.500
BIOLYS 60	2.395
Free-Tox	1.000
L-Treonina ADM	0.777
Larvadex	0.500
Bacitracina	0.300
Antioxidante	0.150
Lucantin amarillo	0.150
Enzimas Xap Dupont	0.075
Fitasa Dupont	0.060
Cantaxantina	0.020
Total	1,000,000
Nutriente	Cantidad
Energía metabolizable	2.900 Mcal/Kg
Proteína total	16.200%
Fósforo no fítico	0.470%
Calcio	4.200%
Lisina	0.980%
Metionina	0.518%
Met + Cis	0.800%
Treonina	0.700%
Ácido Linoleico	1.686%
Colina	0.901Gr/Kg
Sodio	0.180%
Cloruro	0.251%

Cuadro 3. Resultados de las variables productivas de gallinas Bovans White de 22-37 semanas de edad en 3 diferentes sistemas productivos y alimentadas con 2 dietas distintas.

Tiempo (Semanas)	Sistema	Dieta	Postura (%)	Peso de huevo (g)	Masa de huevo (g)	Consumo/ave/día (g)	Conversión alimentaria (Kg:Kg)
0-5	Jaula Convencional		97	55.7f	54.1de	103.7d	1.855ef
0-5	Jaula Enriquecida		96.3	55.1f	53.1ef	104.2cd	1.905def
0-5	Piso		95.8	54.9f	52.6f	105.3cd	1.969b
6-10	Jaula Convencional		97.6	59.1cd	57.7ab	106.8c	1.852f
6-10	Jaula Enriquecida		98	59bd	57.8a	110.4a	1.912bcde
6-10	Piso		96.6	57.7e	55.7c	106bcd	1.904cdef
11-15	Jaula Convencional		96.4	59.5ab	57.4ab	109.3ab	1.905cd
11-15	Jaula Enriquecida		96	59.5ac	56.9bc	111.1a	1.956bc
11-15	Piso		93.7	58.4d	54.7d	112.5a	2.058a
	Jaula Convencional		97a	58.1a	56.4a	106.6	1.871c
	Jaula Enriquecida		96.8a	57.9a	55.9a	108.5	1.925b
	Piso		95.4b	57b	54.4b	107.9	1.977a
		18% PC	96.9a	58a	56.1a	107.6	1.905b
		16% PC	95.9b	57.4b	55b	107.7	1.944a
		RMSE**	1.29	0.28	0.81	1.27	0.031
	Probabilidad						
	Sistema		0.0105	0.0042	0.0009	0.1008	<.0001
	Dieta		0.0374	0.0256	0.0110	0.8645	0.0032
	Tiempo		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
	Sistema*Dieta		0.4594	0.6154	0.6297	0.4035	0.8998
	Sistema*Tiempo		0.1406	<.0001	0.0076	<.0001	<.0001
	Dieta*Tiempo		0.8249	0.8732	0.7808	0.1860	0.2195
	Sistema*Dieta*Tiempo		0.3933	0.1811	0.3114	0.5571	0.2181

** RMSE, Raíz Cuadrada del Cuadrado Medio del Error. El Error Estándar de la Media se calcula dividiendo el RMSE/ \sqrt{n} .

Diferentes literales en las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Cuadro 4. Datos de las variables de clasificación de huevo obtenido de gallinas Bovans White de 22-37 semanas de edad en 3 diferentes sistemas productivos y alimentadas con 2 dietas distintas.

Tiempo (Semanas)	Sistema	Dieta	% Huevo sucio heces	% Huevo sucio sangre	% Huevo roto	% Huevo grande
0-5	Jaula Convencional		1.40c	0.25b	0.84c	0.58a
0-5	Jaula Enriquecida		0.81c	0.90b	1.23c	0.39a
0-5	Piso		24.96b	0.04b	1.17c	0.53a
6-10	Jaula Convencional		2.71c	0.41b	1.19c	0.67a
6-10	Jaula Enriquecida		0.67c	2.26b	1.93ab	0.76a
6-10	Piso		39.55a	0.07b	2.34a	0.29a
11-15	Jaula Convencional		3.18c	0.38b	0.86c	0.63a
11-15	Jaula Enriquecida		0.88c	5.24a	1.32bc	0.81a
11-15	Piso		38.86a	0.04b	1.16c	0.64a
	Jaula Convencional		2.4b	0.4b	0.96b	0.6a
	Jaula Enriquecida		0.8b	2.8a	1.5a	0.7a
	Piso		34.5a	0.05b	1.6a	0.5a
		18% PC	13.7	0.8	1.5a	0.7
		16% PC	11.4	1.3	1.2b	0.5
		RMSE**	2.33	1.59	0.43	0.31
	Probabilidad					
	Sistema		<.0001	<.0001	0.0003	0.5808
	Dieta		0.0549	0.2128	0.0193	0.2092
	Tiempo		<.0001	0.0026	<.0001	0.0620
	Sistema*Dieta		0.1802	0.2609	0.3031	0.4980
	Sistema*Tiempo		<.0001	0.0004	0.0188	0.0275
	Dieta*Tiempo		0.7783	0.3116	0.7190	0.0939
	Sistema*Dieta*Tiempo		0.9097	0.3896	0.3064	0.7118

** RMSE, Raíz Cuadrada del Cuadrado Medio del Error. El Error Estándar de la Media se calcula dividiendo el RMSE/ \sqrt{n} .
Diferentes literales en las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Cuadro 5. Valores de los indicadores evaluados para la calidad de huevo de gallinas Bovans White de 37 semanas de edad en 3 diferentes sistemas productivos y alimentadas con 2 dietas distintas.

Sistema de alojamiento	Dieta	Color de yema	Unidades Haugh	Grosor cascarón (μm)	Resistencia cascarón (Kgf/cm ²)
Jaula convencional	18% PC	13 (13.3)	90.1	359	4.76
	16% PC	13 (13.2)	93.1	362	4.75
Jaula Enriquecida	18% PC	14 (13.7)	92.1	363	4.72
	16% PC	14 (13.5)	94.5	368	4.86
Piso	18% PC	13 (12.9)	92.4	349	4.58
	16% PC	13 (12.9)	90.2	367	4.78
Jaula Convencional		13 (13.3)b	91.6	361	4.76
Jaula Enriquecida		14 (13.6)a	93.3	365	4.79
Piso		13 (12.9)b	91.3	358	4.68
	18% PC	13 (13.3)	91.5	357b	4.69
	16% PC	13 (13.2)	92.6	366a	4.80
	RMSE**	0.29	2.53	11.69	0.18
Probabilidad					
Sistema		0.0003	0.1765	0.3624	0.3778
Dieta		0.5600	0.2674	0.0460	0.0936
Sistema* Dieta		0.5459	0.0642	0.2770	0.4462

** RMSE, Raíz Cuadrada del Cuadrado Medio del Error. El Error Estándar de la Media se calcula dividiendo el RMSE/ \sqrt{n} .
Diferentes literales en las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Cuadro 6. Resultados del peso corporal de las gallinas Bovans White obtenidos al inicio y al final del periodo de experimentación en 3 diferentes sistemas productivos y alimentadas con 2 dietas distintas.

Sistema de alojamiento	Dieta	Pesaje	Peso corporal (g)
Jaula Convencional			1629.5 ^a
Jaula Enriquecida			1602.1 ^b
Piso			1590.4 ^b
	18% PC		1606.5
	16% PC		1608.2
		Inicial	1553 ^b
		Final	1661.7 ^a
RMSE**			33.06
Probabilidad			
Sistema			0.0016
Dieta			0.8454
Pesaje			<.0001
Sistema* Dieta			0.5148
Sistema*Pesaje			0.1111
Dieta*Pesaje			0.4391
Sistema*Dieta*Pesaje			0.8456

** RMSE, Raíz Cuadrada del Cuadrado Medio del Error. El Error Estándar de la Media se calcula dividiendo el RMSE/ \sqrt{n} .
Diferentes literales en las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Experimento 2

Cuadro 7. Composición y análisis calculado de la dieta con 16% de proteína cruda para gallinas Bovans White de segundo ciclo (106-110 semanas de edad).

Ingrediente	Peso (Kg)
Maíz amarillo	634.148
Soya 48%	227.826
Calcio 38%	114.817
Fosfato 18/20	6.323
Aceite de soya	6.284
Sal	3.554
Vitaminas CEIEPAv postura	2.500
Metionina 99%	1.438
Pigmento 15 g/kg	1.000
Free-Tox	1.000
Larvadex	0.500
Bacitracina	0.300
Antioxidante	0.150
Enzimas Xap Dupont	0.075
Fitasa Dupont	0.080
Cantaxantina	0.025
Total	1,000,000
Nutriente	Cantidad
Energía metabolizable	2.830 Mcal/Kg
Proteína total	16.120%
Fósforo no ftico	0.400%
Calcio	4.566%
Lisina	0.860%
Metionina	0.400%
Met + Cis	0.700%
Treonina	0.639%
Ácido Linoleico	1.600%
Colina	0.906 Gr/Kg
Sodio	0.180%
Cloruro	0.250%

Cuadro 8. Análisis calculado y composición de la dieta con 14% de proteína cruda para gallinas Bovans White de segundo ciclo (106-110 semanas de edad).

Ingrediente	Peso (Kg)
Maíz amarillo	687.369
Soya 48%	175.005
Calcio 38%	114.759
Fosfato 18/20	6.717
Sal	3.594
Aceite de soya	3.000
Vitaminas CEIEPAv postura	2.500
Metionina 99%	1.839
Lisina HCL	1.665
Pigmento 15 g/kg	1.000
Free-Tox	1.000
Larvadex	0.500
L-Treonina ADM	0.442
Bacitracina	0.300
Antioxidante	0.150
Lucantin amarillo	0.075
Fitasa Dupont	0.080
Cantaxantina	0.025
Total	1,000,000
Nutriente	Cantidad
Energía metabolizable	2.842 Mcal/Kg
Proteína total	14.000%
Fósforo no fítico	0.400%
Calcio	4.560%
Lisina	0.860%
Metionina	0.426%
Met + Cis	0.700%
Treonina	0.610%
Ácido Linoleico	1.515%
Colina	0.784 Gr/Kg
Sodio	0.180%
Cloruro	0.285%

Cuadro 9. Resultados de las variables productivas de gallinas Bovans White de segundo ciclo de 106-110 semanas de edad en 3 diferentes sistemas productivos y alimentadas con 2 dietas distintas*.

Sistema de alojamiento	Dieta	Postura (%)	Peso de huevo (g)	Masa de huevo (g)	Consumo/ave/día (g)	Conversión alimentaria (Kg:Kg)
Jaula convencional	16% PC	86	62.7	54.1	105.3	1.930
	14% PC	79.7	62.1	49.4	106	2.158
Jaula Enriquecida	16% PC	81.9	63.1	51.7	110.4	2.139
	14% PC	82.5	62.1	51.3	104.8	2.141
Piso	16% PC	85.1	63.5	54.2	114.7	2.104
	14% PC	80	62.9	50	106.7	2.146
Jaula Convencional		82.8	62.4	51.7	105.7	2.044
Jaula Enriquecida		82.2	62.6	51.5	109.2	2.140
Piso		82.5	63.2	52.1	110.7	2.125
	16% PC	84.3a	63.1	53.3a	110.1	2.058b
	14% PC	80.7b	62.4	50.2b	106.9	2.148a
	RMSE**	2.96	1.13	2.25	4.99	0.108
Probabilidad						
Sistema		0.9124	0.3513	0.8652	0.2257	0.1344
Dieta		0.0055	0.1006	0.0017	0.1321	0.0321
Sistema* Dieta		0.0621	0.9439	0.1496	0.1959	0.0788

* Se muestran las medias de mínimos cuadrados ajustadas con el modelo que incluye los valores de la primera semana como covariable.

** RMSE, Raíz Cuadrada del Cuadrado Medio del Error. El Error Estándar de la Media se calcula dividiendo el RMSE/ \sqrt{n} .

Diferentes literales en las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Cuadro 10. Datos de las variables de clasificación de huevo obtenido de gallinas Bovans White de segundo ciclo de 106-110 semanas de edad en 3 diferentes sistemas productivos y alimentadas con 2 dietas distintas.

Sistema de alojamiento	Dieta	Huevo sucio heces (%)	Huevo sucio sangre (%)	Huevo roto (%)	Huevo grande (%)
Jaula convencional	16% PC	6.5	1.5	1.2	0.01
	14% PC	7.5	1.9	2.4	0.1
Jaula Enriquecida	16% PC	4.5	0.7	3.1	0.2
	14% PC	3.8	0.9	2.9	0.5
Piso	16% PC	40.5	0.5	1.3	0.4
	14% PC	41.9	0.7	1.8	0.1
Jaula Convencional		6.9b	1.7	1.8	0.06
Jaula Enriquecida		4.2b	0.8	3	0.4
Piso		41.2a	0.6	1.6	0.3
	16% PC	17.2	0.9	1.9	0.2
	14% PC	17.7	1.2	2.3	0.2
	RMSE**	3.97	1.61	1.32	0.40
Probabilidad					
Sistema		<.0001	0.3279	0.0517	0.2472
Dieta		0.7085	0.6945	0.3679	0.9225
Sistema* Dieta		0.8415	0.9816	0.4953	0.2760

* Se muestran las medias de mínimos cuadrados ajustadas con el modelo que incluye los valores de la primera semana como covariable.

** RMSE, Raíz Cuadrada del Cuadrado Medio del Error. El Error Estándar de la Media se calcula dividiendo el RMSE/ \sqrt{n} .

Diferentes literales en las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Cuadro 11. Valores de los indicadores evaluados para la calidad de huevo de gallinas Bovans White de segundo ciclo de 110 semanas de edad en 3 diferentes sistemas productivos y alimentadas con 2 dietas distintas.

Sistema de alojamiento	Dieta	Color de yema	Unidades Haugh	Grosor cascarón (μm)	Resistencia cascarón (Kgf/cm ²)
Jaula convencional	16% PC	12 (12.1)	92.7	342	4.65
	14% PC	12 (12.1)	92.6	360	4.74
Jaula Enriquecida	16% PC	12 (12.2)	89.4	360	4.57
	14% PC	12 (12.2)	91.1	365	4.69
Piso	16% PC	12 (12.2)	91.7	338	4.04
	14% PC	12 (12.1)	89.8	338	4.12
Jaula Convencional		12 (12.1)	92.7	351b	4.69a
Jaula Enriquecida		12 (12.2)	90.3	362a	4.63a
Piso		12 (12.1)	90.8	338c	4.08b
	16% PC	12 (12.1)	91.3	347	4.42
	14% PC	12 (12.1)	91.2	354	4.52
	RMSE**	0.22	2.57	9.56	0.22
Probabilidad					
Sistema		0.6204	0.1119	<.0001	<.0001
Dieta		0.8383	0.9446	0.0518	0.2279
Sistema* Dieta		0.7051	0.3124	0.1037	0.9764

** RMSE, Raíz Cuadrada del Cuadrado Medio del Error. El Error Estándar de la Media se calcula dividiendo el RMSE/ \sqrt{n} .
Diferentes literales en las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Cuadro 12. Resultados del monitoreo de gases nitrogenados en la caseta en 4 puntos (eventos) durante el periodo de experimentación con gallinas Bovans White de segundo ciclo (110 semanas de edad) en 3 diferentes sistemas productivos y alimentadas con 2 dietas distintas.

Sistema de alojamiento	Dieta	NH3 (ppmv)	NO2 (ppmv)	NO (ppmv)
Jaula convencional	16% PC	2.60	0.018	0.015
	14% PC	2.70	0.018	0.010
Jaula enriquecida	16% PC	2.08	0.015	0.008
	14% PC	2.20	0.015	0.010
Piso	16% PC	2.15	0.010	0.008
	14% PC	1.91	0.015	0.001
Jaula convencional		2.65 ^a	0.018	0.013
Jaula enriquecida		2.14 ^{ab}	0.015	0.009
Piso		2.03 ^b	0.013	0.004
	16% PC	2.27	0.014	0.010
	14% PC	2.27	0.016	0.007
	RMSE**	0.4083	0.0069	0.0076
P				
Sistema* Dieta		0.6117	0.7074	0.4132
Sistema		0.0166	0.3675	0.0985
Dieta		0.9725	0.5598	0.2992

** RMSE, Raíz Cuadrada del Cuadrado Medio del Error. El Error Estándar de la Media se calcula dividiendo el RMSE/ \sqrt{n} .
Diferentes literales en las columnas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Figuras



FIGURA 1. Sistema de jaulas convencionales.



FIGURA 2. Sistema de jaulas enriquecidas.



FIGURA 3. Sistema sin jaulas o de piso.

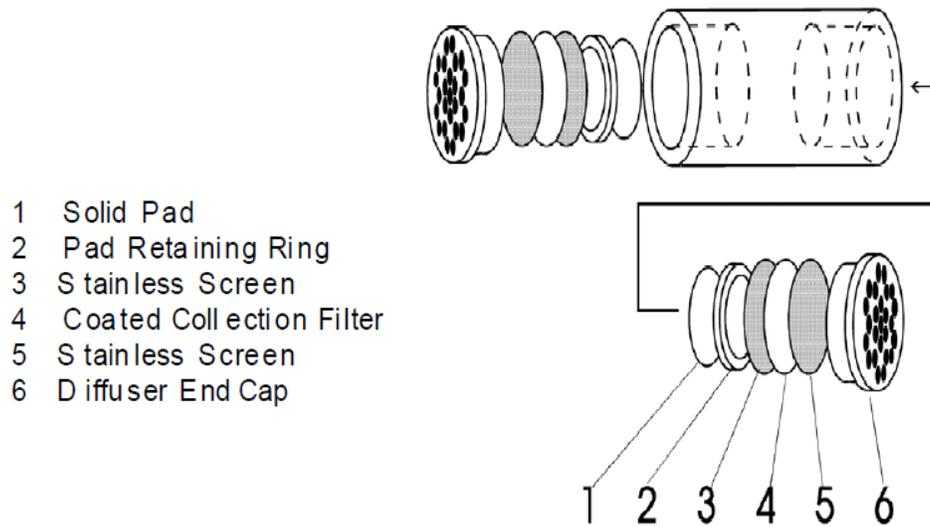


FIGURA 4. Ensamblaje del muestreador Ogawa.



FIGURA 5. Ubicación de los dos dispositivos Ogawa (NH₃ y NO_x) en el sistema de jaulas convencionales.



FIGURA 6. Ubicación del termohigrómetro en el sistema de jaulas convencionales.



FIGURA 7. Aislamiento con paredes de plástico, sistema de jaulas convencionales.



FIGURA 8. Aislamiento con paredes de plástico, sistema de jaulas convencionales.



FIGURA 9. Aislamiento con paredes de plástico, sistema de jaulas convencionales.



FIGURA 10. Ubicación de los dos dispositivos Ogawa (NH_3 y NO_x) en el sistema de jaulas enriquecidas.



FIGURA 11. Ubicación del termohigrómetro en el sistema de jaulas enriquecidas (parte inferior izquierda).



FIGURA 12. Aislamiento con paredes de plástico, sistema de jaulas enriquecidas.



FIGURA 13. Aislamiento con paredes de plástico, sistema de jaulas enriquecidas.



FIGURA 14. Vista posterior al exterior del aislamiento con paredes de plástico en los sistemas de jaulas.



FIGURA 15. Vista lateral al exterior del aislamiento con paredes de plástico en los sistemas de jaulas.



FIGURA 16. Vista exterior del aislamiento con plástico en la caseta de los sistemas de jaulas.



FIGURA 17. Ubicación de los dos dispositivos Ogawa (NH₃ y NO_x) y del termohigrómetro en el sistema sin jaula.



FIGURA 18. Aislamiento con paredes de plástico, sistema sin jaulas.



FIGURA 19. Aislamiento con paredes de plástico, sistema sin jaulas.



FIGURA 20. Dispositivos colocados en el exterior de la caseta (Viento abajo).



FIGURA 21. Dispositivos colocados en el exterior de la caseta (Viento arriba).

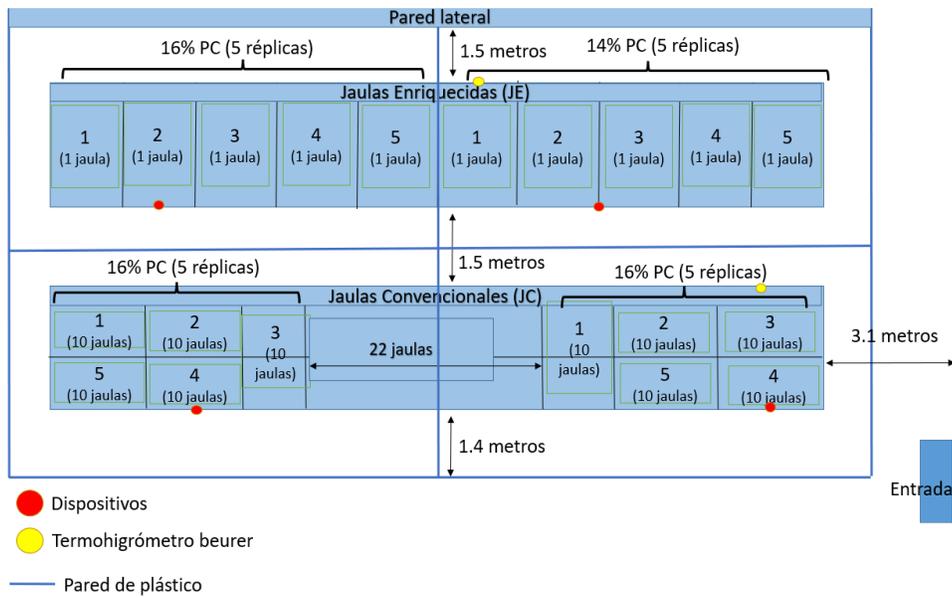


FIGURA 22. Representación del espacio y ubicación del equipo de muestreo y de los tratamientos en los sistemas de jaulas.

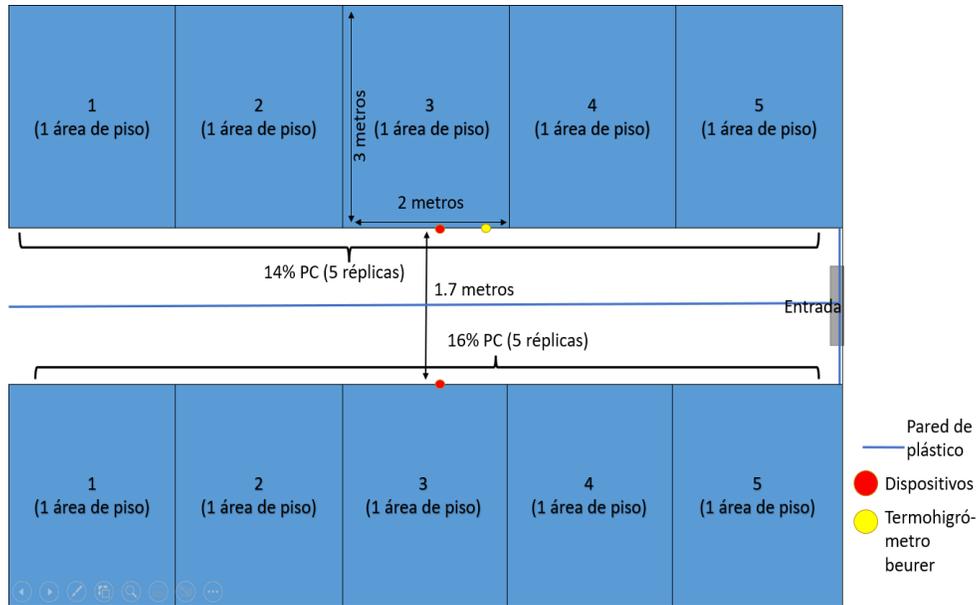


FIGURA 23. Representación del espacio y ubicación del equipo de muestreo y de los tratamientos en el sistema sin jaula.



FIGURA 24. Estructuras instaladas para la colocación de las cámaras en el sistema de jaula convencional.



FIGURA 25. Ubicación de las cámaras en el sistema de jaula enriquecida.



FIGURA 26. Ubicación de las cámaras en el sistema de jaula enriquecida.



FIGURA 27. Cámaras instaladas en el sistema sin jaula.



FIGURA 28. Cámaras instaladas en el sistema sin jaula.

FIGURAS 29-39: Gráficos de barras de la frecuencia de los comportamientos evaluados en los tres tipos de alojamiento.

