



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS VERACRUZ**

**POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES**

**BIENESTAR, PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE HUEVO EN UN SISTEMA  
CAMPERO BAJO CONCIONES DEL TRÓPICO MEXICANO**

**CIRO SÁNCHEZ HERNÁNDEZ**

**TESIS**

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

**MAESTRO EN CIENCIAS**


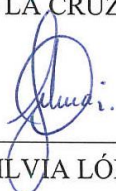


**TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ**

**2019**

La presente tesis, titulada: **BIENESTAR, PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE HUEVO EN UN SISTEMA CAMPERO BAJO CONDICIONES DEL TRÓPICO MEXICANO**, realizada por el alumno: **CIRO SÁNCHEZ HERNÁNDEZ**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

|           |  |
|-----------|--|
| CONSEJERA | <br>_____   |
|           | DRA. MÓNICA DE LA CRUZ VARGAS MENDOZA  |
| ASESORA   | <br>_____   |
|           | DRA. SILVIA LÓPEZ ORTIZ  |
| ASESOR    | <br>_____ |
|           | DR. PABLO DIAZ RIVERA  |
| ASESOR    | <br>_____ |
|           | DR. ÁNGEL JUÁREZ ZÁRATE  |

Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México, 10 de julio de 2019.

# **BIENESTAR, PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE HUEVO EN UN SISTEMA CAMPERO BAJO CONDICIONES DEL TRÓPICO MEXICANO**

Ciro Sánchez Hernández, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2019

Se comparó el bienestar animal, los indicadores de producción y la calidad de huevo, de gallinas ponedoras Dominant cz D853, en los sistemas de jaula enriquecida y campero, establecidos en una huerta de mango bajo condiciones de clima cálido subhúmedo. Se utilizó un diseño de bloques al azar, con dos tratamientos y seis repeticiones, y nueve gallinas de 20 semanas de edad por repetición. El bienestar se evaluó con la frecuencia de comportamientos y actividades diarias, frecuencia de comportamientos agresivos y condición de salud externa, de las semanas 20 a 35 de edad. Se obtuvo un índice de agresión utilizando la frecuencia y gravedad de comportamientos agresivos, y un índice de salud externa con base en indicadores de daño físico. Se registró, de la semana 20 a la 35, la producción de huevo y el consumo de alimento, tomando muestras de huevos para analizar su calidad física y nutricional; en la semana 35 se evaluó la producción de carne. Se realizaron pruebas de independencia (PROC FREQ, SAS) entre la frecuencia de actividades diarias y tratamientos, y análisis de varianza con medidas repetidas (PROC GLM, SAS) para las demás variables. La frecuencia de actividades realizada por las aves no fue independiente del tratamiento ( $\text{Chi}^2= 109.4, p< 0.05$ ), las aves del sistema campero pecorearon con mayor frecuencia que las de jaula enriquecida (40% vs. 7.5%), mientras que éstas descansaron más que las primeras (35% vs. 9%). El índice de agresión no fue diferente entre tratamientos. El índice de salud externa fue mayor para las gallinas en sistema campero ( $p< 0.05$ ) y se incrementó con el tiempo ( $p< 0.05$ ). Los indicadores productivos no difirieron entre los sistemas de producción. Aunque hubo diferencias en grosor del cascarón, Unidades Haugh y color de yema ( $p< 0.05$ ), los valores se mantuvieron dentro del estándar de calidad. Se concluye que el sistema campero permitió un mayor bienestar de las aves, sin detrimento de la producción y manteniendo los parámetros productivos y de calidad dentro de los estándares que el mercado requiere.

**Palabras clave:** Sistemas alternativos de producción de huevo, sistema de libre pecoreo, gallinas ponedoras, sanidad animal.

# **WELL-BEING, PRODUCTION AND QUALITY OF EGGS IN A FREE RANGE SYSTEM UNDER CONDITIONS OF THE MEXICAN TROPICS**

Ciro Sánchez Hernández, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2019

It was compared the well-being, production indicators, and egg quality, of Dominant cz D853 laying hens, grown in enriched cages, or free range systems, under the conditions of a mango orchard at a sub-humid warm climate. A random blocks design with two treatments and six replicates was used, with nine hens of 20 weeks of age for each replicate. Poultry well-being was evaluated through the frequency of daily activities, frequency of aggressive behaviours, and external condition of health, monitoring these variables from ages 20 to 35 weeks. An aggression index was constructed using the frequency and degree of aggressions; an external health index was constructed with indicators of physical injury. From ages 20 to 35 weeks, it was registered egg production and feed consumption; samples of eggs were taken to analyze their physical and nutritional quality; meat production was evaluated at week 35. Data were analyzed using independence tests (PROC FREQ, SAS) of daily activities frequencies on treatment, and ANOVA with repeated measures (PROC GLM, SAS) for the other variables. Frequency of daily activities was not independent from treatment ( $\text{Chi}^2= 109.4$ ,  $p < 0.05$ ); free-range hens foraged more frequently than enriched cages hens (40% vs. 7.5%), while enriched cages hens rested more than free range hens (35% vs. 9%). Aggression index was not different between treatments. External health index was higher for free-range hens ( $p < 0.05$ ), and increased in time ( $p < 0.05$ ). Production indicators were not different between treatments. Although the egg width, Haugh units, and yolk color differed between treatments ( $p < 0.05$ ), these values were within those indicating good standards of quality. It is concluded that the free-range system allowed a higher well-being of hens than the enriched systems, while maintained indicators of production and quality within market requirements.

Key words: Alternative egg production systems, free range, laying hens, animal health.

## AGRADECIMIENTOS

Agradesco a los mexicanos (as) que pagan impuestos, quienes, a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) han financiado este trabajo de investigación.

Al Colegio de Postgraduados Campus Veracruz, por la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo en la obtención de la beca de manutención.

Al Consejo Particular: Dra. Mónica de la Cruz Vargas Mendoza, Dra. Silvia López Ortiz, Dr. Pablo Díaz Rivera y Dr. Ángel Juárez Zárate, gracias por su gran calidez humana, paciencia, confianza y conocimientos compartidos para culminar este trabajo.

A la Dra. Silvia López Ortiz por aportar el espacio donde se trabajó el experimento, los materiales, heramientas y equipo necesario para realizar las mediciones.

A la Dra. Alejandra Ramírez Martínez por proporcionar las facilidades para las determinaciones químicas de las muestras de huevo. Y a la química Nora Hernández por su apoyo y tiempo para el uso del equipo de laboratorio de alimentos del Colegio de Postgraduados Campus Veracruz.

A las personas Norma, Jose Luis y Miguel, que me apoyaron en la implemetacion de los gallineros, corrales y atención de los animales.

Agradezco a los comapañeros y amigos con los que he convivido y trabajado en colaboración, por sus críticas y observaciones que han aportado a mi formación como profesionista y persona.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi familia, Persia, Nezhy y Eric, quienes son mi motivación, inspiración y apoyo para continuar superándome en la vida.

Se lo dedico a mis padres Ciro y Priscila, quienes con todo su amor me han enseñado a trabajar, superarme y ser una persona que aporte a la sociedad. A mis hermanos que siempre han confiado en mí y en todo momento me brindan su apoyo.

## CONTENIDO

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.    | INTRODUCCIÓN.....   | 1  |
| 2.    | REVISIÓN DE LITERATURA .....  | 3  |
| 2.1   | Teoría general de sistemas en el estudio de los agroecosistemas.....        | 3  |
| 1.2   | Sistemas de producción de huevo.....  | 5  |
| 2.2.1 | Sistema de producción en jaulas convencionales .....                        | 5  |
| 2.2.3 | Sistema de producción campero .....   | 6  |
| 2.2.4 | Sistema de producción orgánico .....  | 7  |
| 2.3   | Tendencias actuales del mercado de huevo.....                               | 8  |
| 2.4   | Parámetros productivos en sistemas alternativos de producción de huevo..... | 9  |
| 2.5   | Bienestar animal .....  | 9  |
| 2.5.1 | Bienestar de las aves en diferentes sistemas de producción de huevo.....    | 11 |
| 2.6   | Calidad de huevo .....  | 12 |
| 2.6.1 | Calidad de huevo en diferentes sistemas de producción.....                  | 13 |
| 3.    | HIPÓTESIS.....  | 15 |
| 3.1   | Hipótesis general .....   | 15 |
| 3.2   | Hipótesis particulares.....   | 15 |
| 4.    | OBJETIVOS.....  | 15 |
| 4.1   | Objetivo general .....  | 15 |
| 4.2   | Objetivos particulares .....  | 15 |
| 5.    | MATERIALES Y MÉTODOS.....   | 16 |
| 5.1   | Ubicación y condiciones ambientales del área experimental.....              | 16 |
| 5.2   | Material genético y manejo pre-experimental de las aves .....               | 16 |
| 5.3   | Diseño experimental .....   | 18 |
| 5.3.1 | Aplicación de los tratamientos.....   | 20 |

|  |    |
|--|----|
| 5.4 Variables evaluadas .....                                  | 21 |
| 5.4.1 Bienestar .....  | 21 |
| 5.4.2 Indicadores de producción.....                           | 24 |
| 5.4.3 Variables de calidad de huevo .....                      | 25 |
| 5.5 Análisis estadístico .....                                 | 28 |
| 6. RESULTADOS .....  | 29 |
| 6.1 Bienestar de las aves .....                                | 29 |
| 6.1.1 Actividades diarias .....                                | 29 |
| 6.1.2 Comportamientos agresivos .....                          | 32 |
| 6.1.3 Condición de salud externa y manifestación de temor..... | 33 |
| 6.2 Indicadores de producción .....                            | 34 |
| 6.2.1 Rendimiento de carne.....                                | 36 |
| 6.3. Calidad de huevo .....                                    | 37 |
| 6.3.1 Perfil de ácidos grasos.....                             | 38 |
| 7. DISCUSIÓN.....  | 40 |
| 8. CONCLUSIONES .....  | 45 |
| 9. RECOMENDACIONES .....                                       | 45 |
| 10. LITERATURA CITADA.....                                     | 46 |



## LISTA DE CUADROS

|            |   | Página |
|------------|---|--------|
| Cuadro 1.  | Características de los sistemas de producción de huevo en jaula enriquecida y campero de acuerdo a la normativa europea.....  | 7      |
| Cuadro 2.  | Indicadores de calidad en el huevo según las normas mexicanas para huevo comercial.....   | 13     |
| Cuadro 3.  | Características productivas de las gallinas Dominant cz D853 producto de la cruce entre Rhode Island Red paterno de plumaje rápido y Rhode Island Red materno de plumaje lento.....   | 17     |
| Cuadro 4.  | Ingredientes (%) de las raciones para gallinas Dominant cz D853 durante las diferentes etapas de producción evaluadas.....  | 18     |
| Cuadro 5.  | Requerimientos nutricionales para gallinas Dominant cz D853 durante el primer ciclo de producción.....  | 19     |
| Cuadro 6.  | Variables medidas y escala de medición para calificar la condición de salud externa y obtención del índice de salud.....  | 23     |
| Cuadro 7.  | Condiciones climáticas prevalentes en el sitio experimental de agosto a diciembre de 2018.....  | 29     |
| Cuadro 8.  | Índice de agresión en aves criadas en sistema campero y en jaula enriquecida durante las semanas 21, 28 y 34.....   | 33     |
| Cuadro 9.  | Indicadores e Índice de Salud Externa de gallinas Dominant cz D853 alojadas en sistemas de producción de huevo en jaula enriquecida (JE) y campero (CMP).....   | 34     |
| Cuadro 10. | Indicadores productivos de huevo por edad, en gallinas Dominant cz D853 alojadas en sistemas jaula enriquecida (JE) y campero (CMP). GP, ganancia de peso $g\ ave^{-1}\ día^{-1}$ ; NH, Número de huevos por unidad experimental por semana; POST, porcentaje de postura; PMH, peso promedio de huevo; MH, Masa de huevo por unidad experimental por semana; CA, conversión alimenticia, $(kg\ alimento * kg\ huevo^{-1})$ ; CNA, Consumo de alimento $(ave\ día^{-1})$ ..... | 35     |
| Cuadro 11. | Rendimiento de carne en gallinas Dominant cz D853 criadas en sistemas de jaula enriquecida y campero.....   | 36     |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Cuadro 12. | Indicadores de calidad física en huevos de gallinas Dominant cz D853 en las semanas 22, 26, 30 y 34, en los sistemas de producción sistemas de jaula enriquecida (JE) y campero (CMP).....  | 36 |
| Cuadro 13. | Indicadores de calidad interna en huevos de gallinas Dominant cz D853 en las semanas 22, 26, 30 y 34, en los sistemas de producción sistemas de jaula enriquecida (JE) y campero (CMP)..... | 38 |
| Cuadro 14. | Ácidos grasos en la yema de huevos de gallinas Dominant cz D853 en sistemas de producción jaula enriquecida y campero.....  | 39 |

## LISTA DE FIGURAS

|  | Página |
|--|--------|
| Figura 1. Agroecosistema de producción de huevo y su relación con sus componentes y otros sistemas de producción en el suprasistema .....  | 4      |
| Figura 2. Jaulas para resguardo de las aves y complementos para sistemas de producción campero y jaula enriquecida. A la izquierda el sistema campero y a la derecha el sistema de jaula enriquecida.....  | 20     |
| Figura 3. Frecuencia de actividades y comportamientos de gallinas Dominant cz D853, en sistemas de jaula enriquecida y campero, durante los periodos a) 1, semanas 21-27; b) 2, semanas 28-31; y c) 3, semanas 32- 35. Las actividades registradas fueron comer y beber (CB), en movimiento (MO), en descanso (DE), aseándose (AS), pecoreando (PE) y en postura (PO)..... | 31     |
| Figura 4. Frecuencia promedio de tipos de comportamientos agresivos de gallinas Dominant cz D853 alojadas en sistemas jaula enriquecida y campero durante todo el experimento. Las líneas indican la desviación estándar.....  | 32     |

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción mundial de huevo en los últimos 10 años ha mantenido un crecimiento del 2.2% de promedio anual, destacando como principales productores China, Estados Unidos, India y México (Aguirre y Pizarro, 2018). De acuerdo con el más reciente reporte, la producción mexicana de huevo fue 2.7 millones de toneladas, manteniendo un crecimiento constante, estimado en 1.7 % durante 2017 (UNA, 2019). México es el principal consumidor de huevo a nivel mundial, con una tasa de crecimiento de 2.4% anual, esperando un consumo de 32.96 kg persona<sup>-1</sup> para el año 2030 (Mendoza *et al.*, 2016).

Toda la producción de huevo mundial de huevo se realiza en dos tipos de sistema, el de jaulas convencionales y los sistemas alternativos, estos últimos con muchas variantes como son las jaulas enriquecidas, los aviarios, la producción en piso, los camperos, la producción de huevo ecológico u orgánico. Los sistemas de producción avícola en el mundo son de los más dinámicos y se adaptan rápidamente a las condiciones del mercado. En los últimos años ha surgido un mercado diferenciado que demanda productos avícolas que se obtengan con respeto al bienestar de las aves, manteniendo la inocuidad de los alimentos y con mínimos efectos negativos en el ambiente. El huevo producido en sistemas alternativos se considera que puede cumplir con estas expectativas, sin embargo, su oferta limitada y sus altos costos de producción se reflejan en altos precios al consumidor (Mendoza *et al.*, 2016).

Los sistemas alternativos han tenido un impulso en las últimas dos décadas, debido al interés público por mejorar las condiciones de bienestar en las producciones animales. Algunos países, como los de la Unión Europea, han recibido el beneficio de una legislación que favorece su implementación, y en donde se ha llegado a la prohibición de jaulas convencionales (Nicol y Davies, 2013). Los sistemas alternativos proporcionan a las aves condiciones para un mayor bienestar, como lo es, disponer de un área mayor y un ambiente enriquecido que motiva un repertorio más amplio de comportamientos y actividades (Lambton *et al.*, 2010; Bestman *et al.*, 2017). A su vez, existen sistemas de libertad que les permite enriquecer la dieta con forraje e insectos y por tanto mejorar la calidad de su alimento y del huevo (Chen *et al.*, 2018).

Sin embargo, existen dudas sobre la mejoría en el bienestar que estos sistemas brindan, contrastando con los incrementos en costos que implican. Por ejemplo, los productores consideran al sistema campero como de baja productividad, por la mayor exposición que tienen las aves a enfermedades, parásitos y depredadores, debido a las dificultades inherentes al sistema para el control de la bioseguridad (Elson, 2015). Además, se argumenta que el gasto de energía por el desplazamiento de las aves se aumenta, con el consecuente incremento en el consumo de alimento y pérdida de la eficiencia de conversión alimenticia (Ahammed *et al.*, 2014).

No obstante, la información no es concluyente (Lay *et al.*, 2011), algunas investigaciones respaldan que la productividad de las aves en sistemas al exterior es superior al de aves bajo sistema convencional (Netto *et al.*, 2018), y el bienestar animal mejora (Pohle y Chieng, 2009; Durali *et al.*, 2013; Ahammed *et al.*, 2014), lo mismo que la calidad de huevo (Singh *et al.*, 2009; Dikmen *et al.* 2017). Actualmente, existen pocas investigaciones que determinen las ventajas relativas de los sistemas alternativos con respecto a indicadores de bienestar, productivos y calidad. Más escasos aún, son los estudios bajo condiciones climáticas de regiones trópicas.

En México, la demanda de huevo es atendida principalmente por la industria avícola tecnificada y solo en pequeños porcentajes, por otros sistemas de producción como los camperos, familiares, orgánicos y ecológicos (Hernández-Bautista, 2013); los sistemas con acceso a libertad y espacios para pecoreo, que prevalecen en condiciones de solar familiar, en zonas rurales y periurbanas, han sido poco explorados por la avicultura comercial a pesar de representar una oportunidad de mercado.

En la presente investigación se plantearon preguntas sobre el bienestar de las aves, la calidad del producto, y el potencial productivo de dos sistemas alternativos, el de jaulas enriquecidas y el campero, bajo condiciones de trópico subhúmedo. Los conocimientos obtenidos son una contribución para la toma de decisiones sobre el manejo de las aves, que identifican el potencial de estas regiones para la producción de huevo campero, y ofrecen alternativas para pequeños y medianos productores que deseen incursionar en este segmento del mercado.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

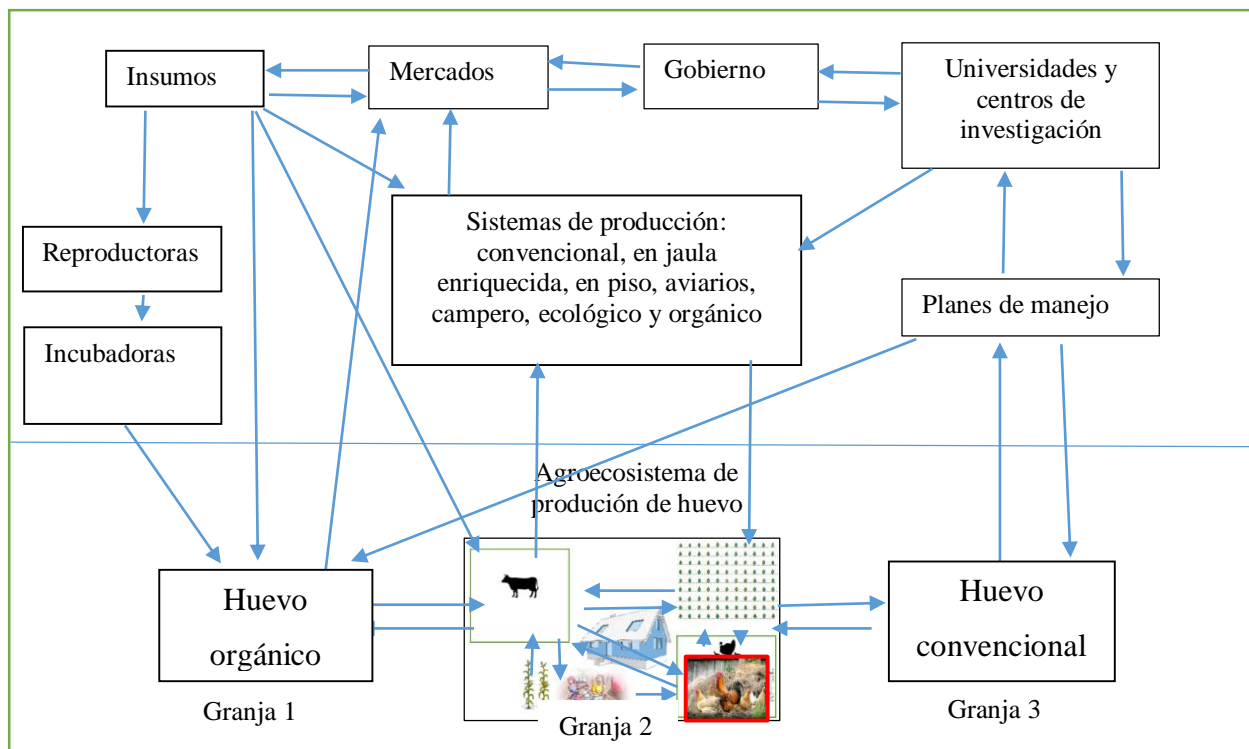
### 2.1 Teoría general de sistemas en el estudio de los agroecosistemas

El fenómeno agrícola ha sido estudiado desde diferentes ángulos, manteniendo una perspectiva parcial de los sucesos. Los investigadores con la finalidad de tener una visión más amplia y poder abordar los diferentes hechos que integran el fenómeno de una forma global (explicando las causas y sus efectos) se han apoyado del concepto de agroecosistema. Este concepto ha evolucionado a lo largo de la historia, pero mantiene sus bases teóricas en la teoría general de sistemas propuesta por Bertalanffy (1968), quien definió al sistema como un conjunto complejo de elementos que interactúan para un fin común. En ese sentido, la agricultura puede ser vista como un conjunto de elementos, algunos provenientes del ecosistema natural y otros añadidos por el hombre, que interactúan y son manipulados por el hombre para la producción de bienes de consumo y transformación. Hernandez X. (1977) definió el agroecosistema como un ecosistema modificado por el hombre para el aprovechamiento de los recursos naturales en la producción agrícola. Otros autores consideran al agroecosistema como una construcción mental aplicada al estudio interdisciplinario de las propiedades comunes que presentan la realidad agrícola y revela los problemas de forma conjunta, desarrollando terminología general que permite describir los componentes, interacciones, entradas, salidas y límites. (Arnold y Osorio, 1998; León, 2012; Casanova-Pérez, *et al.*, 2015) y con los avances en las investigaciones han enriquecido la forma de ver la realidad, con enfoques disciplinarios, multidisciplinarios, interdisciplinarios y transdisciplinarios (Ruiz-Rosado *et al.*, 2004).

Para estudiar el fenómeno agropecuario el investigador establecer los límites a nivel mundial, país, región, granja o parcela según su necesidad (Prager *et al.*, 2002). En el estudio de los sistemas de producción de huevo, el concepto de agroecosistema es una herramienta válida porque representa al concepto en su totalidad. El proceso de producción tiene un propósito antropocéntrico, obtener alimentos (Hart, 1985), para ello intervienen en los ecosistemas naturales, modificando su composición y estructura, a través de un ensamblaje de elementos físico-biológico (Sarandón y Flores, 2014). Las producciones de huevo reciben insumos como: genotipos adaptados al sistema, alimentos balanceados, energía eléctrica y fuerza de trabajo entre otros. También generan salidas,

caracterizadas por el producto huevo, aves de desecho y residuos (Figura 1). Todos los elementos y procesos mantienen una relación estrecha con el fin único de producir un alimento de alta calidad (Checkland, 1981; Soriano y Aguiar, 1998). Se pueden encontrar como agroecosistemas a nivel de granja, donde la producción de huevo es un complemento de otras actividades, o como un agroecosistema de producción solo de huevo, como lo son las producciones de huevo convencional.

Esta investigación se centra en el estudio del subsistema producción de huevo campero a nivel de granja, donde existen relaciones con otros subsistemas como la producción de hortalizas, granos, frutales y ganado mayor. Se analizan los cambios en el método de producción y su repercusión en los demás componentes del sistema, en la producción y calidad. Sin dejar de lado las relaciones que guarda con el supra sistema, donde resaltan los distintos sistemas de producción de huevo, los proveedores de insumos, mercados del huevo, gobierno e instituciones de enseñanza e investigación. Y a nivel de subsistemas, los elementos y procesos que se desarrollan para obtener el huevo.



**Figura 1.** Agroecosistema de producción de huevo y su relación con sus componentes y otros sistemas de producción en el suprasistema (Fuente: Elaboración propia).

## **1.2 Sistemas de producción de huevo**

La avicultura es una actividad pecuaria de la cual el huevo es uno de los productos importantes, para obtenerlo se hace uso del ciclo reproductivo natural de las gallinas y la producción depende de las razas, líneas genéticas, alimentación y condiciones de manejo (Das *et al.*, 2018; Ahmadi y Rahimi, 2011).

La producción de huevo en el mundo ha tenido cambios profundos en sus métodos de producción en las últimas décadas, pasando de sistemas tradicionales con aves en el exterior, a gallinas confinadas en jaulas en altas densidades, en casetas donde se pueden controlar las condiciones ambientales, bioseguridad, así como la tecnificación del proceso de alimentación y recolección de huevo. Otro factor importante, fue el uso de dietas balanceadas y mejoramiento genético de las razas productoras de huevo, esto causó avances sorprendentes en los niveles de producción dando paso a la producción industrial de huevo.

Existe una gran variedad de sistemas de producción de huevo que varían en sus objetivos, escala y componentes. A continuación, se describen algunos de los más frecuentes.

### **2.2.1 Sistema de producción en jaulas convencionales**

La producción de huevo convencional se desarrolla en naves cerradas donde se controla temperatura, humedad relativa, saturación de gases y horas luz, en ellas se instalan jaulas en batería para alojar a las gallinas. Se hace uso de aves ligeras, alimentación balanceada y un estricto manejo sanitario. La jaula convencional garantizar espacios de 550 cm<sup>2</sup> por ave, 10 cm de comedero y 2 bebederos de copa, una pendiente de piso menor a 8 grados y 40 cm de altura en más del 65% (Brokhuis, 2004). A inicios del año 2001, la United Egg Producers (Atlanta, GA) de USA establecieron un espacio de 432 cm<sup>2</sup>, la densidad en jaula se regula extrayendo o incluyendo gallinas ligeras (Hernández *et al.*, 2015).



### **2.2.2 Sistema de producción en jaula enriquecida**

El sistema de producción en jaula enriquecida toma como base la producción en jaula convencional; sin embargo, estas son de mayor tamaño en todas sus dimensiones y permiten colocarles implementos que ayuden a las aves a tener un mayor repertorio de comportamientos, con lo que se busca mejorar su bienestar (Büttow *et al.*, 2008). Los alojamientos cuentan con perchas, baño de arena, nidales, aseladero, comederos y bebederos (Callejo *et al.*, 2014). Estos sistemas son alternativos a la producción en sistema convencional, y son permitidos por la legislación de la Unión Europea y que desde enero del año 2012 sustituirían los sistemas de jaula en batería (Council Directive 1999). Las jaulas enriquecidas deben proporcionar ciertas condiciones: asignación de 750 cm<sup>2</sup> por ave, de los cuales al menos 600 cm<sup>2</sup> tienen 45 cm de altura; un área total mínima de 2,000 cm<sup>2</sup>; contar con nidos, baño de arena de manera que sea posible picotear y rascar; perchas, tratando de proporcionar 15 cm por gallina y 12 cm de comedero por gallina (Cuadro 1) (Council Directive, 1999; Appleby, 2003; Van Horner, 2006).

### **2.2.3 Sistema de producción campero**

La producción de huevo campero es un sistema alternativo, que retoma la producción tradicional en Europa por efecto de la presión de grupos sociales que han protestado por los derechos de los animales y tomó mayor importancia después del decreto de 1999, en el cual, prohíben los sistemas de producción de huevo en jaulas (Council Directive, 1999; Castelló, 2000; Caspari *et al.*, 2010). El sistema campero tiene la finalidad de obtener productos de alta calidad con respeto al bienestar de las aves y a los recursos naturales de los que hace uso. El sistema campero se caracteriza por el manejo que se aplica a las aves, ya que éstas tienen acceso a espacios abiertos que les permite manifestar sus comportamientos naturales, como asolearse, tomar baños de tierra, e incluso aprovechar vegetación e insectos para complementar su alimentación. Las características del sistema campero se especifican en el Cuadro 1. Cuenta con una caseta para resguardo nocturno, perchas, nidos, comederos y bebederos; se les proporciona una ración diaria de alimento balanceado y agua a libertad (Elson, 2004; Fanatico, 2007). Las aves que se utilizan pueden ser de líneas genéticas especializadas en postura, doble propósito, o razas criollas adaptadas a la región y al manejo. (Sorensen, 2001; Boelling *et al.*, 2003).

El sistema campero depende de las prácticas de manejo, la bioseguridad y del consumo de forraje e insectos que las aves puedan hacer y esto varía en función de la cantidad y la calidad del área donde se alojan (Singh y Cowieson, 2013). Asimismo, la información sobre el manejo del sistema de producción es limitada, especialmente en el uso de las áreas libres, las condiciones de salud de las aves, consumo de alimento, relación concentrado forraje, así como su productividad.

**Cuadro 1.** Características de los sistemas de producción de huevo en jaula enriquecida y campero, de acuerdo a la normativa europea.

| <b>Características</b>    | <b>Sistema de jaula enriquecida</b>           | <b>Sistema campero</b>            |
|---------------------------|---|-----------------------------------|
| Densidad en el interior   | 750 cm ave <sup>-1</sup>                      | 2500 cm ave <sup>-1</sup>         |
| Densidad en el área libre | No existe                                     | 4 m ave <sup>-1</sup>             |
| Alimentación              | Convencional                                  | Convencional                      |
| Nidales                   | Área oscurecida con piso de rejilla plástica. | 30x40x30 cm, uno por cada 7 aves. |
| Perchas                   | 15 cm ave <sup>-1</sup>                       | 15 cm ave <sup>-1</sup>           |
| Baño de arena             | 250 cm <sup>2</sup> ave <sup>-1</sup>         | En el área de libertad            |
| Comederos                 | 10 cm ave <sup>-1</sup>                       | 12 cm ave <sup>-1</sup>           |

Adaptado de: Council Directive (1999), Appleby (2003), Van Horner (2006), Turner (2013).

#### **2.2.4 Sistema de producción orgánico**

Todas las actividades realizadas en una producción orgánica deben tener su origen en un plan de manejo orgánico aprobado por una certificadora (Baier, 2015). Las gallinas que se utilizaran en la producción de huevo orgánico dependerán de las condiciones climáticas del lugar y su adaptación al manejo, pudiendo ser obtenidas en cualquier casa comercial que cumpla las expectativas del productor.

El manejo orgánico en la producción de huevo debe iniciarse desde el segundo día de vida de las pollitas, alimentandolas con granos procedentes de producciones orgánicas. Los aditivos y suplementos que se incluyan deben estar aprobados por la certificadora de cada estado o país. En la producción orgánica de huevo, está estrictamente prohibido el uso de fármacos promotores de crecimiento (hormonas, antibióticos) y no se pueden usar subproductos derivados de aves (harinas y grasas). El forraje no está especificado, pero es necesario proporcionar áreas de libertad confortables.

El manejo sanitario se basará en la prevención y el uso de razas adaptadas a las condiciones de manejo y clima, como lo son aves criollas o seleccionadas para una región en específico. Se puede vacunar, siempre y cuando las vacunas no sean genéticamente modificadas, se recomienda hacer uso de probióticos y de productos naturales para la prevención y control de enfermedades.

La certificación de huevo y carne orgánica está a cargo de certificadoras privadas, reguladas por la USDA (United States Department of Agriculture [Departamento de Agricultura de Estados Unidos]). En México por la SADER, a través del SENASICA.

### **2.3 Tendencias actuales del mercado de huevo**

En los últimos 20 años, el mercado del huevo ha tenido notables cambios favorecidos por una tendencia social, los cambios en los hábitos de consumo, determinados por salud, dieta, estilo de vida, composición familiar, y costo del producto (Thornton 2010; Lu *et al.*, 2013). Así mismo se ha generado una preocupación por el bienestar animal, asociado a los sistemas de libertad y considerados como indicadores intangibles de la calidad y seguridad de los alimentos (Zhao *et al.*, 2014; Aland y Madec, 2009).

En la Unión Europea, la producción de huevo campero ha manifestado un crecimiento, alentado por una demanda cada vez creciente, que se estima en un 2 % anual desde el año 2013 (Subdirección General de Productos Ganaderos, 2017). Una situación similar se presenta en el continente americano, especialmente en Estados Unidos de América, donde la demanda crece constantemente y es uno de los países donde más se ha elevado la producción, pasando de 30 millones de gallinas libres en 2016 a 46 millones en 2017 (Castelló, 2015).

En México existe producción de huevo a nivel de traspatio para autoconsumo o venta local, pequeñas o medianas producciones camperas cuyos productos se comercializan en supermercados con la etiqueta de “huevo de rancho” o “huevo de gallina libre”. Actualmente, el 90% de huevos que se comercializa proviene de gallinas enjauladas, y el 10% de huevos de gallina libre (Muñoz, 2016). La demanda va en aumento por lo que se requiere generar conocimientos en torno al manejo de estos sistemas con el fin de hacerlos eficientes y cumplan las exigencias del mercado.

#### **2.4 Parámetros productivos en sistemas alternativos de producción de huevo**

El porcentaje de postura no se ve afectada en sistemas de libertad (78.05 en jaula y 86.90 en sistema campero) cuando se realiza una buena dirección del sistema. Un buen manejo incluye, líneas genéticas adaptadas al sistema de producción, densidades adecuadas e instalaciones acordes que permitan el desarrollo de conductas naturales en las aves (Abouelezz *et al.*, 2013; Peralta *et al.*, 2016). No obstante, otros parámetros como la conversión alimenticia si pueden verse afectados (2.87 reportada en sistemas de libertad), ya que, cuando las aves se mantienen más activas, el gasto de energía es mayor, mientras que el tamaño y la masa de huevo también pueden manifestar cambios negativos al pasar de sistema de jaula a sistema de libertad, debido a las variaciones de áreas (Hegelund *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2009; Lay *et al.*, 2011). En otro estudio de sistemas de producción en jaula convencional, en piso y en libertad, el peso de huevo no fue diferente entre los tres sistemas evaluados (61, 66 y 63 g) (Peralta *et al.*, 2016).

#### **2.5 Bienestar animal**

La relación del ser humano con otras especies de animales a lo largo de la historia siempre ha sido de suma importancia, pues el hombre ha dependido de ellas para su alimentación y compañía. En los últimos años, esta relación ha generado preocupación por el bienestar de los animales y ha llevado a generar políticas de bienestar animal en diferentes regiones del mundo. Las iniciativas, aceptación y prácticas de políticas de bienestar animal son dependientes de factores sociales como la diversidad cultural, niveles de desarrollo socioeconómico, legislaciones, políticas y praxis; la ética de quienes utilizan animales y con la sociedad en general (Huertas *et al.*, 2014; Dalla *et al.*, 2014).

Los primeros países en establecer normas en relación al bienestar animal fueron los de Reino Unido, en el año 1967 crean el Farm Animal Welfare Advisory Committee, que se convertiría más tarde en el Farm Animal Welfare (Bousfield y Brown, 2010). Este organismo establece las primeras directrices sobre el bienestar animal, que desde entonces se conocen como las “cinco libertades del bienestar animal”. En ellas se establece que, en los diferentes sistemas de producción, los animales deben estar: libres de sed, hambre y desnutrición, libres de incomodidad, dolor, lesiones y enfermedad; tener libertad para comportarse de forma normal con espacio y recursos adecuados para ello, y libres de miedo, angustia y estrés en tratamientos que eviten sufrimiento (Caspari *et al.*, 2010; Moyano *et al.*, 2015).

En la evaluación del bienestar de los animales de granja se debe considerar su integridad física y psíquica, generar pruebas científicas relativas a los sentimientos de los animales que puedan deducirse de su estructura, función y su comportamiento (Brambell, 1965). Para el estudio del bienestar de los animales se han propuesto diferentes modelos, cada uno con sus complejidades metodológicas y opiniones polémicas en cuanto a su aplicación e información que generan. Así, se tienen modelos de evaluación de riesgo, evaluación de bienestar, simulación, de optimización, de escenarios y modelos conceptuales (Collins y Part, 2013).

La evaluación del bienestar de los animales se basa en parámetros (indicadores del bienestar) validados, confiables y viables de aplicar en campo (Bartussek, 1995; Rushen, 2000; Winckler and Willen, 2001; Dawkins, 2002; Welfare Quality, 2009). Entre los parámetros más utilizados están los que tienen que ver con los animales y con el ambiente donde desarrollan la producción (Sanmiguel *et al.*, 2018; Alm *et al.*, 2016).

Las evaluaciones de gallinas de postura se basan en parámetros que tienen que ver con el ambiente o características de las instalaciones (temperatura, humedad relativa, densidad, niveles de CO<sub>2</sub> etc.). Otro indicador es la condición de salud de las aves, para lo cual se les monitorean los niveles de cortisona en sangre, química sanguínea, excretas y huevo, los niveles de anticuerpos, la presencia de lesiones y enfermedades, así como la producción de huevo (Sherwin *et al.*, 2010; Mugnai *et al.*, 2011; Alm *et al.*, 2016; Sanmiguel *et al.*, 2018). Otros criterios o indicadores frecuentemente valorados son los comportamientos, donde se incluyen tanto los comportamientos anormales (rara vez se observan en la naturaleza y que son indicativos de falta de bienestar). Las

estereotipias descritas como comportamientos repetitivos causados por frustración. Los comportamientos de apatía; que son estados anormales de inactividad acompañado por una falta de respuesta hacia los estímulos ambientales (Barnett *et al.*, 2009), y la aparición de cambios en la frecuencia, duración o intensidad de comportamientos normales; alimentarse, juego, conductas afiliativas o agresión (Zhao *et al.*, 2014; Salas y Manteca, 2016).

### **2.5.1 Bienestar de las aves en diferentes sistemas de producción de huevo**

Las investigaciones del bienestar animal, han recurrido a una extensa serie de disciplinas (etología, fisiología, genética, medicina veterinaria, etc.) buscando mejorar la salud básica y el funcionamiento biológico de los animales, prevenir el miedo, el dolor y otros estados negativos, así como promover el desarrollo de comportamientos acordes a su naturaleza (Fraser *et al.*, 2008). Varias investigaciones se han realizado en torno al bienestar animal, buscando estudiar el estado biológico propicio para enfrentar el ambiente donde se desarrolla la actividad zootécnica (Broom, 1986, 2011). Las evaluaciones del bienestar se realizan a través de indicadores, basados en el animal y en su respuesta al ambiente (Botreau *et al.*, 2007; Blokhuis *et al.*, 2008; Forkman y Keeling, 2009).

En la avicultura los aspectos de bienestar se valoran por medio de indicadores que tienen que ver con el estado de salud de las aves, el desempeño productivo y sus comportamientos (Mugnai, 2011; Rivera, 2013; OIE, 2018). Los indicadores de bienestar están influenciados por los sistemas de producción, esto es más evidente en el estado de salud de las aves. Se ha observado en gallinas enjauladas casos de hiperqueratosis causada por el aumento de presión de las patas en el piso de alambre metálico de la jaula (Weitzenbürger *et al.*, 2006). Otra situación son los casos de fracturas con alta prevalencia en los sistemas de jaula (Fouad *et al.*, 2008; Shields and Greger, 2013), asociado a osteoporosis y la fragilidad ósea determinada con la resistencia a la ruptura de la tibia (12.23, 8.63 y 8.50) en sistemas campero, jaula enriquecida y jaula convencional (Webster, 2004; Yilmaz *et al.*, 2016).

Las condiciones del plumaje y el largo de las garras también pueden ser afectados por el tipo de sistema. Se ha encontrado en gallinas libres de jaula problemas con la pérdida y suciedad de plumas, 11 % más que en sistemas de jaula (Büttow *et al.*, 2009). Sin embargo, otros estudios

demuestran que el sistema de libertad puede mejorar la condición de las plumas (Yilmaz *et al.*, 2016). Mientras que las gallinas en jaula tienden a tener las uñas más largas (16.31 mm en jaula y 12.59 en sistema campero) (Appleby *et al.*, 2002).

Por otro lado, la expresión de comportamientos y el desarrollo de actividades que realizan las aves son diferentes entre los sistemas de producción. El sistema campero, al proporcionar mayor espacio, permite que las gallinas realicen y pasen más tiempo, pecoreando, moviéndose, actividades de confort como acicalarse y darse baños de tierra (más del 50 % del tiempo). Mientras que las gallinas en jaula pasan más tiempo inmóviles, reprimiendo comportamientos que no pueden realizar por las condiciones del alojamiento (entre el 50 y el 80 %) de su tiempo (Mench *et al.*, 1986; Carmichael *et al.*, 1999; Dal Bosco *et al.*, 2010; Abouelezz *et al.*, 2014; Dal Bosco *et al.*, 2014).

Los comportamientos agresivos se han identificado con mayor frecuencia en sistemas alternativos, principalmente el picoteo de plumas, canibalismo y temor, dependiente de la densidad que se emplee, lo que puede afectar el bienestar (0.01 y 0.38 picotazos de gallinas por minuto en sistema convencional y sistema de libertad) (Appleby y Hughest, 1991; Odén *et al.*, 2002; Rodenburg *et al.*, 2005; Shields y Duncan, 2009; Sherwin *et al.*, 2010).

## **2.6 Calidad de huevo**

El concepto de calidad en un alimento es subjetivo para cada consumidor, sin embargo, existen parámetros objetivos en calidad física, interna, nutricional y microbiológica definidos por normas y leyes de instituciones gubernamentales que vigilan por la seguridad y la protección del consumidor (Amat, 2007; Nieto y Mora, 2016). El alimento debe reunir todas las características físicas, químicas y organolépticas que se consideran contiene ese alimento (Grunert, 2005; Engo *et al.*, 2015).

La calidad de huevo en la actualidad se mide en términos de las características externas, internas y microbiológicas que pueden influir sobre la aceptabilidad del consumidor (Arias *et al.*, 1998; Keener *et al.*, 2006; Hernández-Bautista *et al.*, 2013); estas deben cumplir con las normas de calidad atribuibles al huevo tales como la limpieza, dureza, grosor del cascarón, textura y forma

(Cuadro 2) (Berrantes *et al.*, 2006). Internamente se evalúa la viscosidad relativa de la albúmina, ausencia de materiales extraños en la albúmina, firmeza de la yema; color y ausencia de defectos de la yema (Roberts, 2004; López-Ramírez, 2016; Campbell, 2017). Los elementos nutricionales evaluados son la proteína, energía, grasa, minerales, vitaminas y actualmente balance de ácidos grasos que dependen en gran medida de la dieta de las gallinas (Van Elswyk, 1997; Franco-Jiménez *et al.*, 2007; Fouad *et al.*, 2016).

**Cuadro 2.** Indicadores de calidad en el huevo según las normas mexicanas para huevo comercial.

| <b>Indicadores</b>           | <b>Alto</b> | <b>Normal</b> | <b>Bajo</b> |
|------------------------------|-------------|---------------|-------------|
| Cáscara %                    |             | 10-12         | <10         |
| Yema %                       | >30         | 27-30         | <27         |
| Albumen %                    | >63         | 60-63         | <60         |
| Color de yema (escala Roche) | >10         | 7-10          | <7          |
| Unidades Haugh (UH)          | >80         | 60-80         | <60         |
| Índice de forma (IF)         | >75         | 73-75         | <73         |

Adaptado de: Garcia *et al.*, 2014; Raigón *et al.*, 2006.

### 2.6.1 Calidad de huevo en diferentes sistemas de producción

La calidad del huevo se mide en base a sus características internas y externas, las características externas se relacionan con parámetros físicos y de color del cascaron. Las características internas corresponden a parámetros químicos y propiedades organolépticas, fluidez del albumen, color de la yema, ausencia de materiales extraños. En las características externas se considera: el peso del huevo, porcentaje de huevo roto y sucio, color del cascarón, el grosor o el porcentaje del cascarón



con relación a su peso, e índice de forma (Huyghebaert, 2005; Sekeroğlu *et al.*, 2010; Juárez-Caratachea *et al.*, 2010; Tůmová *et al.*, 2011).

El sistema de producción afecta las variables de calidad externa de los huevos. Se ha encontrado mayor porcentaje de huevo roto en sistemas de jaula convencional, así como mayor índice de forma (76.05, 77.27 en sistemas de jaula convencional y de libertad) y fuerza de ruptura del cascarón (2.95, 3.89 kg cm<sup>-2</sup> en jaula convencional y sistema de libertad) mientras que las demás variables no presentan cambios significativos (Sekeroğlu *et al.*, 2010; Tůmová *et al.*, 2011; Ahammed *et al.*, 2014).

Dentro de la calidad interna del huevo, la fluidez de la albumina, las unidades Haugh (70.10, 67.01 en jaula y sistema campero), así como color de yema (10.36, 11.85 en sistema de jaula y sistema de producción familiar), son las más influenciadas por el sistema de producción (Fuentes, 2002; Yenice *et al.*, 2016). Los sistemas intensivos al proporcionar alimentos con pigmentos pueden mantener un color más rojizo en las yemas (Raigón *et al.*, 2006). Otros factores que pueden influir en la calidad del huevo son la edad de las aves, línea genética y condiciones ambientales (Ferrante *et al.*, 2009; Estrada *et al.*, 2010; Sokołowicz *et al.*, 2019). Los sistemas de jaula propician incrementos en las Unidades Haugh (en 3.5 unidades), índice de albumina (en 0.21 %) y pesos del cascarón (0.47 g), mientras que disminuyen el peso de la yema (4.31 %) y del albumen (0.68 g) (Özbey y Esen, 2007; Araujo *et al.*, 2018).

Otras características estudiadas son la composición química y nutricional del huevo. Bajo diferentes sistemas de producción, se ha demostrado que estas características se modifican con el manejo de la alimentación y el tipo de alojamiento. En un estudio, se analizaron algunas características de las yemas de huevos obtenidos en sistema de producción en piso y sistema campero y se encontraron diferencias importantes en el contenido de grasa, 0.75 % menos en sistema campero (Krawczyk y Gornowicz, 2010). Al mantener a las aves en libertad pueden tener acceso a una diversidad de alimentos que varía con la temporada, y que son fuente de compuestos bioactivos que pueden modificar la composición del huevo (Mugnai *et al.*, 2013; Lordelo *et al.*, 2016). En las variables estudiadas, se han identificado cambios en el perfil de ácidos grasos (incrementando la proporción ácidos polinsaturados en 0.1 %, proteína 1.9 % y contenido de pigmentos de la yema (Samman *et al.*, 2009; Mugnai *et al.*, 2013; Jaramillo *et al.*, 2018).

### **3. HIPÓTESIS**

#### **3.1 Hipótesis general**

El bienestar de las aves, la producción de huevo y la calidad física e interna del huevo, serán diferentes entre los sistemas de producción jaula enriquecida y campero.

#### **3.2 Hipótesis particulares**

- Las aves alojadas en el sistema jaula enriquecida presentan menor bienestar, que se manifiesta en menor variedad de actividades y comportamientos diarios, mayor agresividad y menor estado de salud externa que las de sistema campero.
- Las gallinas alojadas en el sistema jaula enriquecida presentan un comportamiento productivo mayor en comparación del sistema campero.
- La calidad del huevo obtenido en el sistema de jaula enriquecida, es inferior a la de los huevos obtenidos en el sistema campero.

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1 Objetivo general**

Comparar los sistemas de producción de jaula enriquecida y campero con respecto al bienestar de las aves, la producción y la calidad de huevo.

#### **4.2 Objetivos particulares**

- Comparar el bienestar de las aves en cuanto a variedad de actividades diarias, comportamientos agresivos, y estado de salud externo en los sistemas de producción jaula enriquecida y campero.
- Comparar los parámetros productivos de producción de huevo, masa de huevo, número de unidades y conversión alimenticia, así como de producción de carne, de los sistemas de jaula enriquecida y campero.
- Comparar la calidad física (índice de forma, integridad del cascarón y limpieza), calidad interna (composición porcentual, unidades haugh, color de la yema) y perfil de ácidos grasos, del huevo producido en los sistemas jaula enriquecida y campero.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Ubicación y condiciones ambientales del área experimental

El experimento se desarrolló en la granja familiar de una productora cooperante, ubicada en Tierra Colorada, Municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, entre las coordenadas 19°13'38.66" Latitud N y 96°21'58.10" Longitud O, a una altitud de 63 msnm. El clima de la zona es cálido subhúmedo con lluvias en verano; la precipitación anual del sitio entre los 900-1300 mm, con una temperatura promedio anual de 26 °C (SMN, 2018). El área experimental se delimitó con malla, de una superficie de 0.5 ha, situada dentro de una huerta de mango (*Magifera indica* L.) plantada en marco real, con 15 m entre árboles y 15 m entre hileras. La vegetación herbácea del sitio estaba compuesta principalmente por gramas nativas, escobillo (*Sida rhombifolia* L.), pega ropa (*Desmodium incanum* L.), maní forrajero (*Arachis pintoii* K. Y G.) y coquillo (*Cyperus rotundus* L.). El experimento se llevó a cabo de agosto a diciembre de 2018, tiempo durante el cual se monitoreó constantemente la temperatura y humedad relativa (RT10, USB. EXTECH. U.S.A.); el fotoperiodo durante el experimento se calculó con base en la ubicación geográfica y la aplicación Tu tiempo.net. ([www.tutiempo.net](http://www.tutiempo.net)).

### 5.2 Material genético y manejo pre-experimental de las aves

Se utilizaron gallinas D853, resultado de la cruce entre Rhode Island Red paterno de plumaje rápido y Rhode Island Red materno de plumaje lento, adquiridas en la empresa Incubadora Villa Flores, ubicada en Villa Flores, Chiapas. Estas aves tienen su coloración roja con poca variación en la tonalidad, se adaptan a la crianza en jaulas o bien en sistemas alternativos, manteniendo sus parámetros productivos aceptables de acuerdo a la casa comercial que desarrolló su genética (Cuadro 3).

Previo al experimento, las pollitas se criaron desde un día de edad hasta las 12 semanas, durante las primeras 4 semanas de vida se les mantuvo encerradas en casetas con camas de aserrín, donde se controló la temperatura y la ventilación; se les proporcionó agua y alimento balanceado a libertad.

**Cuadro 3.** Características productivas de las gallinas Dominant cz D853 producto de la cruce entre Rhode Island Red paterno de plumaje rápido y Rhode Island Red materno de plumaje lento.

| <b>Parámetros productivos</b>            | <b>Valores</b> |
|--|----------------|
| Edad al 50% de postura                   | 23 semanas     |
| Rendimiento máximo                       | 92%            |
| Número de huevos (días de producción)    | 306            |
| Peso promedio del huevo                  | 62.5 g         |
| Masa total del huevo                     | 19.1 kg        |
| Consumo diario de alimento por gallina   | 122 g          |
| Total de consumo de alimento por gallina | 45 kg          |
| Consumo de alimento por huevo            | 151 g          |
| Consumo de alimento por 1 kg de huevo    | 2.35 kg        |
| Peso corporal a las 78 semanas           | 2.15 kg        |
| Color de la cáscara de huevo             | Marrón         |
| Temperamento                             | Tranquilo      |

Fuente: Dominant-cz.cz, 2015. (<https://dominant-cz.cz/>)

A partir de la semana 5 se les permitió el acceso libre durante el día, a un área de pecoreo y se les resguardó durante la noche en la caseta. Las pollitas se recibieron de la casa comercial vacunadas contra Newcastle y Marek, se le dio seguimiento al calendario de vacunación aplicando refuerzo de la vacuna de Newcastle de forma ocular a las 12 semanas, vacunando con la triple aviar y contra viruela a las 24 semanas de edad.

A las 12 semanas, las pollas se trasladaron al área experimental para su adaptación, sin aplicarse aún los tratamientos. Desde esa edad hasta las 18 semanas, todas contaron con alojamiento nocturno y un espacio de libertad para actividades de pecoreo. Durante este tiempo, tuvieron libre

acceso al alimento, este alimento se elaboró artesanalmente con maíz molido, pasta de soya, pre mezcla de vitaminas y minerales, aceite vegetal y sal de acuerdo con el (Cuadro 4), las proporciones se estimaron para cubrir los requerimientos nutricionales en las diferentes etapas de crecimiento, como sugiere la casa comercial Dominant- cz.cz (Cuadro 5).

**Cuadro 4.** Ingredientes (%) de las raciones elaboradas para las gallinas Dominant cz D853, durante las diferentes etapas de producción evaluadas.

| <b>Ingrediente (%)</b> | <b>Iniciación (1-4 sem)</b> | <b>Crecimiento (5-10 sem)</b> | <b>Prepostura (11-18 sem)</b> | <b>Postura 1 (19-39 sem )</b> | <b>Postura 2 (40-78 sem)</b> |
|------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Maíz                   | 63.12                       | 67.35                         | 70.16                         | 60.71                         | 64.01                        |
| Pasta de soya          | 30.96                       | 27.4                          | 20.88                         | 26.51                         | 22.76                        |
| Aceite                 | 1.23                        | 0.43                          | 0.44                          | 2.04                          | 1.33                         |
| Sal                    | 0.21                        | 0.21                          | 0.21                          | 0.21                          | 0.21                         |
| Calcio                 | 1.51                        | 1.68                          | 5.35                          | 7.63                          | 8.79                         |
| Núcleo                 | 2.97                        | 2.93                          | 2.96                          | 2.9                           | 2.9                          |
| BASEMIX                |                             |                               |                               |                               |                              |

Fuente: Información propia.

### 5.3 Diseño experimental

El experimento constó de dos tratamientos: el sistema de producción de huevo campero y la producción de huevo en jaula enriquecida. Se utilizó un modelo de bloques al azar, en el cual el factor de bloqueo fueron árboles individuales de mango donde se colocaron los tratamientos. El modelo estadístico para este diseño fue:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad \text{donde}$$

$y_{ij}$  observación en la unidad experimental

$\mu$  media general

$\tau_i$  efecto del i-ésimo tratamiento

$\beta_j$  efecto del j-ésimo bloque

$\varepsilon_{ij}$  error experimental del bloque j en el tratamiento i

Se utilizaron seis bloques con dos tratamientos, haciendo un total de 12 unidades experimentales. Los árboles donde se colocaron los tratamientos se seleccionaron por sus similitudes en tamaño, a cobertura herbácea del 50% y proporción de sombra.

**Cuadro 5.** Requerimientos nutricionales para gallinas Dominant cz D853 durante el primer ciclo de producción.

| <b>Nutriente</b>            | <b>Iniciación</b> | <b>Crecimiento</b> | <b>Prepostura</b> | <b>Postura 1</b> | <b>Postura 2</b> |
|-----------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|------------------|------------------|
| <b>Proteína %</b>           | 19.5              | 18                 | 15                | 17               | 15.5             |
| <b>EM Kca/kg</b>            | 2.875             | 2.850              | 2.750             | 2.750            | 2.700            |
| <b>Calcio %</b>             | 1.0               | 1.0                | 1.3               | 3.3              | 3.8              |
| <b>Fósforo %</b>            | 0.45              | 0.40               | 0.35              | 0.37             | 3.30             |
| <b>Sodio%</b>               | 0.17              | 0.16               | 0.16              | 0.16             | 0.16             |
| <b>Metionina %</b>          | 0.48              | 0.40               | 0.32              | 0.38             | 0.34             |
| <b>Metionina-Cistina %</b>  | 0.82              | 0.73               | 0.58              | 0.67             | 0.62             |
| <b>Lisina %</b>             | 1.08              | 0.9                | 0.72              | 0.8              | 0.75             |
| <b>Treonina %</b>           | 0.76              | 0.65               | 0.5               | 0.52             | 0.48             |
| <b>Triptofano%</b>          | 0.2               | 0.17               | 0.15              | 0.16             | 0.15             |
| <b>Vitamina A UI</b>        | 12,000            | 10, 000            | 10, 000           | 10, 000          | 10, 000          |
| <b>Vitamina D3 UI</b>       | 2,500             | 2,500              | 2,000             | 2,000            | 2,000            |
| <b>Vit. B1 mg</b>           | 1                 | 1                  | 1                 | 1.5              | 1.5              |
| <b>Vit. B2mg</b>            | 5                 | 5                  | 5                 | 6                | 6                |
| <b>Ac. Pantoténico mg</b>   | 10                | 8                  | 6                 | 8                | 8                |
| <b>Vit. Niacina mg</b>      | 40                | 40                 | 30                | 35               | 35               |
| <b>Cloruro de colina mg</b> | 600               | 500                | 500               | 500              | 500              |
| <b>Vit. E mg</b>            | 20                | 20                 | 20                | 20               | 20               |
| <b>Vit. K3 mg</b>           | 2.5               | 2.5                | 2                 | 2                | 2                |
| <b>Vit. B12 mg</b>          | 0.02              | 0.015              | 0.01              | 0.015            | 0.015            |
| <b>Ac. Fólico mg</b>        | 0.5               | 0.5                | 0.5               | 0.5              | 0.5              |
| <b>Vit. B6 mg</b>           | 3                 | 3                  | 3                 | 3                | 3                |
| <b>Vit. Biotina mg</b>      | 0.15              | 0.1                | 0.05              | 0.1              | 0.1              |

Fuente: Guía Dominant-cz.cz, 2015 (<https://dominant-cz.cz/>).

### 5.3.1 Aplicación de los tratamientos

A las 18 semanas de edad, las aves se separaron en 12 grupos de 9 gallinas, asignados aleatoriamente a los dos tratamientos experimentales: jaula enriquecida y sistema campero, seis grupos por tratamiento. El experimento se realizó del 7 de agosto a 7 de diciembre, durante las cuales se ofreció alimento diariamente a las 7:00 y a las 13:00 horas, colectando y pesando el alimento no consumido a las 20:00 horas. El agua se ofreció a libertad.

**Jaula enriquecida.** Las jaulas donde se alojaron las aves garantizaron un área disponible de  $0.25 \text{ m}^2 \text{ ave}^{-1}$  y se ubicaron bajo la sombra del árbol seleccionado. La jaula se fabricó con estructura metálica y malla criba de 1 cm para el piso, malla gallinera para las paredes y lámina de Zinc para el techo. La jaula se enriqueció con perchas de madera, comederos de PVC, destinando 12 cm de comedero por ave y un bebedero colgante de 3 L de capacidad. Se colocaron cuatro nidales de madera de  $0.12 \text{ m}^2$  y un cajón arenoso para los baños de tierra de  $0.160 \text{ m}^2$  (Figura 2).

**Sistema Campero.** Se utilizaron las mismas jaulas y complementos antes referidos, pero con acceso libre diurno (de 7:00 a 20:00 h) a un área de pecoreo ( $7.1 \text{ m}^2 \text{ ave}^{-1}$ ) delimitada por malla electrosoldada, haciendo un total de  $64 \text{ m}^2$  por unidad experimental. La jaula se colocó bajo la sombra del árbol, donde las aves disponían del área de pecoreo, alrededor de 50% de sombra y 50% quedó expuesto al sol.



**Figura 2.** Jaulas para resguardo de las aves y complementos para sistemas de producción campero y jaula enriquecida. A la izquierda el sistema campero y a la derecha el sistema de jaula enriquecida.

## **5.4 Variables evaluadas**

### **5.4.1 Bienestar**

El bienestar de las aves se evaluó en tres aspectos: 1) los tipos y frecuencia de actividades y comportamientos diarios realizados, 2) la frecuencia y grado de comportamientos agresivos, y 3) la condición de salud externa ligada a incidencia y grado de lesiones, heridas y aspecto general del cuerpo.

#### **5.4.1.1 Monitoreo de actividades y comportamientos**

El monitoreo de actividades y comportamientos se realizó mediante la técnica del escaneo ajustada de Abouelezz *et al.* (2014), que consiste en hacer observaciones visuales directas cada hora, durante un período de tres horas por la mañana (8:00 a 11:00 h) y tres durante la tarde (15:00 a 18:00 h) en las semanas 21, 25, 28, 31 y 33 del experimento. El escaneo se realizó esperando 5 minutos después de entrar el observador al corral, para que las aves se adaptarán a su presencia. Se registró la frecuencia en que las gallinas realizaron las actividades y comportamientos: comer, beber, tomar baño de tierra, tomar baño de sol, acicalarse, correr, caminar, aletear, rascar, explorar, picar el piso o la tierra, en descanso, echadas, paradas, o posadas en perchas o sobre los nidos, y en postura. El orden de los registros fue al azar y siempre tomados por el mismo observador. Las actividades que realizaron las aves se agruparon en seis tipos y tres periodos para su análisis estadístico: 1) el primer periodo comprendió de la semana 21 a la 27, 2) el segundo periodo de la semana 28 a la 31, y 3) el periodo de la semana 32 a la 35; estos periodos se identifican con los reconocidos por Dominant *et al.* (2015) y De los Mozos y Sánchez (2016) como los periodos prepico, pico y persistencia de la postura.

#### **5.4.1.2 Comportamientos agresivos**

La ocurrencia de comportamientos de agresión se evaluó por observación visual, durante las semanas 21, 28 y 34. En cada ocasión se observaron las gallinas de cada unidad experimental por dos periodos de 30 minutos por día, durante tres días consecutivos, de las 7:30 am a 13:30 pm y de 18:00 a 19:30 pm, tiempo de mayor actividad en las gallinas. Las observaciones se realizaron colocándose cerca de la jaula o corral, donde se pudiera visualizar todas las aves de la unidad



experimental; durante 30 minutos se registraron los comportamientos agresivos (amenazas, picoteo de advertencia, picoteo agresivo y peleas). El orden de las observaciones fue aleatorio cada día y realizadas por el mismo juez. Los comportamientos agresivos se calificaron en una escala del 1 al 5, en la que 1 es amenaza, 2 picoteo ligero, 3 picoteo agresivo, 4 picoteo de plumas y el cinco correspondió a peleas, agresión múltiple y acoso; estos valores se multiplicaron por la frecuencia observada para generar un índice de agresión (IA) que alcanza valores mínimos de 14 y máximo de 102.

#### **5.4.1.3 Condición de salud externa y manifestación de temor**

Para evaluar la condición de salud externa se modificó la técnica usada por Nicol *et al.* (2006), en la cual se asignan grados de daño dependiendo de la gravedad de la pérdida de plumas y en qué área del cuerpo se presenta y del tipo de lesiones. Las aves se examinaron durante las semanas 20, 24, 26, 28 y 31, se registró su estado físico: se identificó el grado de suciedad en las plumas, lesiones en patas, cuerpo y cabeza; la facilidad de desplazamiento, y signos de enfermedad, clasificándolas del 1 al 3. Para evaluar el grado de miedo, se implementó la técnica de inmovilidad tónica usada por (Jones y Faure, 1981; Campo *et al.*, 2006; Yilmaz *et al.*, 2016), la cual consiste en colocar el ave de cubito lateral, sujetarla por 10 segundos y soltar. Se registra el tiempo y número de intentos para conseguir la inmovilidad, cuando se rebasaron los 4 intentos se consideró que no presentaba inmovilidad tónica. El índice de salud externa se calculó con los valores que aporta cada variable, el índice de salud externa puede llegar a 10 y disminuir conforme se deteriora la salud de las gallinas (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Variables y escala de medición para calificar la condición de salud externa y obtener del índice de salud.

| <b>Variable</b>   | <b>Escala</b> | <b>Característica</b>                   | <b>Valor</b> |
|---|---------------|---|--------------|
| <b>Condición de plumaje (suciedad)</b>                      | 3             | Plumaje normal                          | 1            |
|   | 2             | Ligeramente sucias                      | 0.66         |
|   | 1             | Suciedad abundante                      | 0.33         |
| <b>Área desnuda de plumas</b>                               | 3             | Cobertura normal de plumas              | 1            |
|   | 2             | Área desnuda de 0-2 cm                  | 0.66         |
|   | 1             | Área desnuda mayor a 2 cm               | 0.33         |
| <b>Desviación de la quilla</b>                              | 3             | Normal                                  | 1            |
|   | 2             | Desviación apenas sensible al tacto     | 0.66         |
|   | 1             | Desviación severa                       | 0.33         |
| <b>Lesiones en patas</b>                                    | 3             | Sin lesiones                            | 1            |
|   | 2             | Lesión apenas visible                   | 0.66         |
|   | 1             | Lesiones sangrantes                     | 0.33         |
| <b>Lesiones en cuerpo</b>                                   | 3             | Sin lesiones                            | 1            |
|   | 2             | Lesión apenas visible                   | 0.66         |
|   | 1             | Lesiones sangrantes                     | 0.33         |
| <b>Lesiones cabeza</b>                                      | 3             | Sin lesiones                            | 1            |
|   | 2             | Lesión apenas visible                   | 0.66         |
|   | 1             | Lesiones sangrantes                     | 0.33         |
| <b>Inmovilidad tónica</b>                                   | 3             | No presenta inmovilidad                 | 1            |
|   | 2             | Se queda inmóvil hasta 30 segundos.     | 0.66         |
|   | 1             | Se queda inmóvil más de 30 segundos     | 0.33         |
| <b>Número de intentos para conseguir inmovilidad tónica</b> | 3             | No presenta                             | 1            |
|   | 2             | Más de 4 intentos                       | 0.66         |
|   | 1             | 1 a 3 intentos                          | 0.33         |
| <b>Dificultad de desplazamiento</b>                         | 3             | No presenta dificultad para moverse     | 1            |
|   | 2             | Las aves manifiestan torpeza al caminar | 0.66         |
|   | 1             | Caminan unos pasos y se echan           | 0.33         |
| <b>Signos clínicos de enfermedad</b>                        | 3             | No los presenta                         | 1            |
|   | 2             | Leves                                   | 0.66         |
|   | 1             | Severos                                 | 0.33         |
| <b>SUMA (Índice de salud externa)</b>                       |               |   |              |

### 5.4.2 Indicadores de producción

Los indicadores de producción evaluados fueron la ganancia de peso, número de huevos por unidad experimental por semana, porcentaje de postura, peso promedio de huevo, masa de huevo por unidad experimental por semana, conversión alimenticia y consumo de alimento. Para obtener la ganancia de peso cada ocho días se pesaron las aves. El consumo de alimento se obtuvo pesando el alimento ofrecido y el alimento rechazado todos los días, cuando las aves fueron resguardadas. El huevo se colectó y pesó todos los días de 14:00 a 15:00 h, se identificó y registró el peso individual y peso por unidad experimental, esta información permitió calcular los parámetros de porcentaje de postura, peso de huevo y masa de huevo, por medio de las siguientes fórmulas.

#### Porcentaje de postura

$$\% \text{ Postura} = \frac{\text{No. de huevos}}{\text{No. de aves}} \times 100$$

#### Peso medio de huevo por semana

$$\text{pmh} = \frac{\text{ph1} + \text{ph2} + \text{ph3} \dots \text{phn}}{n}$$

Donde pmh= Peso medio de huevo, ph= Peso de huevo, y n = Número de huevos

#### Masa de huevo por semana

$$\text{Masa de huevo} = \text{ph1} + \text{ph2} + \text{ph3} \dots \text{phn} \quad \text{donde ph= Peso de huevo}$$

Al final del día se colectó el alimento residual de los comederos, se pesó y registró para calcular el consumo de alimento diario y conversión alimenticia conforme las siguientes fórmulas.

#### Consumo de alimento

$$\text{Consumo Alimento} = \frac{\text{Alimento ofrecido (g)} - \text{Alimento rechazado (g)}}{\text{No. de gallinas por unidad experimental}}$$

#### Conversión alimenticia

$$\text{Ca} = \frac{\text{Consumo de alimento (kg)}}{\text{Producción de huevo (kg)}}$$

## **Rendimiento en carne**

Dado que en los sistemas de jaula y campero las aves suelen ser aprovechadas con doble propósito, se evaluó el rendimiento en canal, contenido de grasa y músculo, así como características del tracto gastrointestinal en la semana 35. Para ello se eligieron al azar dos aves por unidad experimental y se sacrificaron conforme a la NORMA Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995 para el sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres. Las gallinas se desnucaron y desangraron de inmediato, se desplumaron, evisceraron, y pesaron (báscula Torrey Pcr-20, flexómetro TRUPER 5 m): canal, vísceras, grasa de vísceras, molleja, hígado, pechuga, pierna y muslo, carne deshuesada, huesos, y plumas secas. Se midió la longitud de intestinos y sacos ciegos. Todos los datos se registraron para calcular el rendimiento en carne, nivel de grasa abdominal e identificar diferencias en el tracto intestinal.

### **5.4.3 Variables de calidad de huevo**

Durante la semana 22, 26, 28 y 32 del experimento se recolectaron tres huevos al azar de cada unidad experimental, para determinar la calidad física e interna del huevo, para ello se determinó:

**Índice de forma (IF).** Se obtuvo calculando la relación entre el diámetro del ecuador con la longitud del huevo (Narushin y Romanov, 2002) y permite clasificar a los huevos como alargados, si el índice es inferior a 73, óptimo si el valor se encuentra entre 73 y 76 o redondeado si el índice es superior a 76. En los huevos de la muestra se midió la longitud y el diámetro ecuatorial con un pie de rey con precisión de  $\pm 0.01$  mm. Para el cálculo del IF se empleó la siguiente fórmula.

$$\text{Fórmula:} \quad \text{IF} = \frac{\text{Diámetro del ecuador}}{\text{Longitud del huevo}} \times 100$$

**Porcentaje de huevos dañados.** Para determinar otras variables de calidad física, se tomaron los registros de producción en los que se anotó el número de huevos rotos (HR), huevo sucio (HS) y huevo blando (HB). Con esta información se calculó semanalmente el porcentaje de huevos con estos defectos por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Fórmula:} \quad \text{IF} = \frac{\text{Huevos (rotos, sucios o blandos)}}{\text{Huevos semanales}} \times 100$$

Para la calidad interna se tomó una muestra de tres huevos por unidad experimental. En ellas se examinaron las siguientes variables:

**Presencia de sangre o carnosidades.** Se observó el interior del huevo ya que sus presencias dan un mal aspecto al producto y no son deseados por el consumidor. Esta variable se determinó al romper los huevos en un plato de fondo blanco y realizar la correspondiente observación y registro.

**Unidades Haugh (UH).** Las UH se calcularon obteniendo el logaritmo entre el peso y la altura del albumen. Para ello se midió la altura del albumen en dos puntos diferentes con el pie de rey, para posteriormente aplicar la media aritmética. Las medidas se obtuvieron antes de transcurrir un minuto después de haber roto el huevo, ya que con el tiempo se pierde altura. La fórmula para el cálculo de las UH es:  $UH=100 \times \log[(AA-1.7 \times P^{0.37})+7.57]$  propuesta por Haugh (1937).

**Composición del huevo** (cascarón, yema y clara). Se obtuvo de la muestra de tres huevos por unidad experimental. Para ello se pesó cada huevo entero, posteriormente se separó, con apoyo de un separador de yemas y un colador, el cascarón, albumen líquido, albumen denso y yema. A continuación se pesaron y se registró el peso de cada componente, el valor porcentual se determinó con las siguientes fórmulas:

$$PAL = (PSAL/PH) (100)$$

Donde PAL= Porcentaje de albumen líquido, PSAL= Peso del albumen en g y  
PH= Peso del huevo entero en g.

$$PAD = (PSAD/PH) (100)$$

Donde PAD = Porcentaje de albumen denso, PSAD = Peso del albumen denso en g y PH = Peso del huevo entero en g.

$$PCN = (PCC/PH) (100)$$

Donde PCN = Porcentaje de cascarón, PCC = Peso de cascarón en g y PH = Peso del huevo entero en g.

$$PRY = (Py/PH)(100)$$

Donde  $PRY =$  Porcentaje de yema,  $P_y =$  Peso de yema en g y  $PH =$  Peso del huevo entero en g.

**Color de la yema.** Se evaluó mediante el abanico de color DSM, usado como escala internacional para medir la coloración de la yema, esta otorga valores del 1 al 15 a la coloración de la yema, siendo 1 el color acercándose a blanco y 15 un anaranjado rojizo. El color preferido en el mercado y el más utilizado como parámetro de calidad de huevo es el siete. Para tener precisión se consideraron las recomendaciones de la DMS Bright science Brighter living. Haciendo uso de luz natural se rompió el huevo y se colocó en una superficie blanca no reflectante, para eliminar la influencia de colores adyacentes. Las aspas del abanico se sostuvieron por encima de la yema de huevo, se observó en forma vertical desde arriba. La lectura se realizó mirando al lado del aspa. Entre la lectura de cada huevo, el abanico se cerró para asegurar la independencia de cada medición. Las evaluaciones fueron realizadas por el mismo observador.

**Perfil de ácidos grasos.** Para determinar el perfil de ácidos grasos de la yema de huevo se ajustó el método de Folch *et al.*, (1957), los cambios en el método de extracción consistieron en incrementar a 6 g la muestra procesada y después de la decantación se realizó un pipeteo extra para la separación de las fases. Durante la semana 32, se tomaron al azar 2 huevos de cada unidad experimental y se les separó la yema. Se homogenizó y se extrajeron 6 g de muestra, se le adicionó 36 ml de cloroformo:metanol 2:1, esta mezcla se homogenizó y se le agregó 0.72 ml de solución salina (NaCl 0.73 %), agitando por un minuto. Posteriormente se llevó a centrifugar a 5000 rpm durante 5 minutos para separar las fases. La fase inferior (orgánica) se decantó y se filtró por medio de sulfato de sodio anhidro. El filtrado se recuperó en un matraz redondo de fondo plano. El contenido se evaporó y se rescató la grasa, la cual se guardó a temperatura de refrigeración de 4°C. En seguida se realizó la esterificación por medio de la técnica de Pardal (2012). Se pesó una muestra de 400 mg de grasa, se le agregaron 4 ml de hexano, se agitó hasta disolver la grasa, posteriormente se agregaron 200  $\mu$ L de solución saturada de KOH 2M (en metanol). Se agitó y se dejó reposar por 30 minutos a 4°C. Se centrifugó a 5000 rpm durante 5 minutos y se recuperó la fase superior por medio de una micro pipeta.

La muestra recuperada se inyectó en un cromatógrafo de gases modelo 78900B GC SYSTEM (Agilent, Santa Clara, U.S.A), equipado con un detector de ionización capilar autónomo. Para la separación de los ácidos grasos se usó una columna HP-88, de 100 m x 0.250 mm x 0.20 µm de grosor de película. La separación se realizó mediante una rampa de temperatura (temperatura inicial de 50°C, 1°C/min hasta 160°C, 20 min a 198°C, 1°C/min hasta 230°C, 15°C/min, con interface de 250° C). Se utilizó helio como gas transportador y la inyección se hizo en modo “split” (relación 1:50). Los metil-ésteres de los ácidos grasos se identificaron por comparación con los tiempos de retención de una mezcla estándar de ácidos grasos (Supelco 37 component FAME Mix, Inc., Bellefonte, PA, USA). Cada ácido graso se reportó como porcentaje del total de ácidos grasos identificados en cada muestra analizada.

### **5.5 Análisis estadístico**

Para el análisis de las actividades diarias se hicieron pruebas de independencia entre tratamientos y comportamientos, mediante cuadros de contingencia y pruebas de Chi<sup>2</sup>, utilizando el PROC FREQ del programa SAS (SAS 9.4, 2010, SAS Incorporation Institute, Cary, N. J., USA). Los comportamientos agresivos se evaluaron en el índice de agresión, en tres semanas y se probó si hubo diferencias entre los tratamientos mediante los análisis de varianza con medidas repetidas con PROC GLM, SAS. La salud externa de las aves se evaluó a través del índice de salud externa calculado durante 5 semanas. Se determinaron posibles diferencias estadísticas mediante análisis de varianza con medidas repetidas con PROC GLM, SAS).

Las variables peso promedio de huevo, masa de huevo, porcentaje de postura, conversión alimenticia y consumo de alimento se calcularon como promedios por unidad experimental cada 15 días y se sometieron a un análisis de varianza para un diseño de bloques al azar y medidas repetidas (PROC GLM, SAS). Las variables de peso de canal, peso de pechuga y piernas, longitud de intestinos, longitud de ciegos, y peso de la grasa abdominal, de las cuales hubo un solo muestreo al final del experimento, se examinaron con análisis de varianza de bloques al azar (PROC GLM, SAS).

Las variables de índice de forma, porcentaje de yema, porcentaje de albumen, porcentaje de cáscara y unidades Haugh se compararon con análisis de varianza de bloques al azar con medidas repetidas (PROC GLM, SAS). Para el color de yema se usó la transformación a rangos (PROC RANK, SAS) y análisis de varianza para cada periodo (PROC GLM, SAS). En el caso de huevos rotos, sucios y deformes se aplicó la prueba de  $\chi^2$ . Los porcentajes de los ácidos grasos, de los cuales hubo un solo muestreo se compararon con análisis de varianza para un diseño de bloques al azar, un análisis para cada ácido graso (PROC GLM, SAS), utilizando la transformación arco seno.

## **6. RESULTADOS**

### **6.1 Bienestar de las aves**

El experimento se desarrolló en un ambiente típico de la región tropical con humedad relativa y temperaturas altas; la variación del fotoperiodo fue 1:51 h durante el desarrollo del experimento. Lo mismo ocurrió con la temperatura la cual disminuyó alrededor de 4° C de inicio al final del trabajo experimental (Cuadro 7).

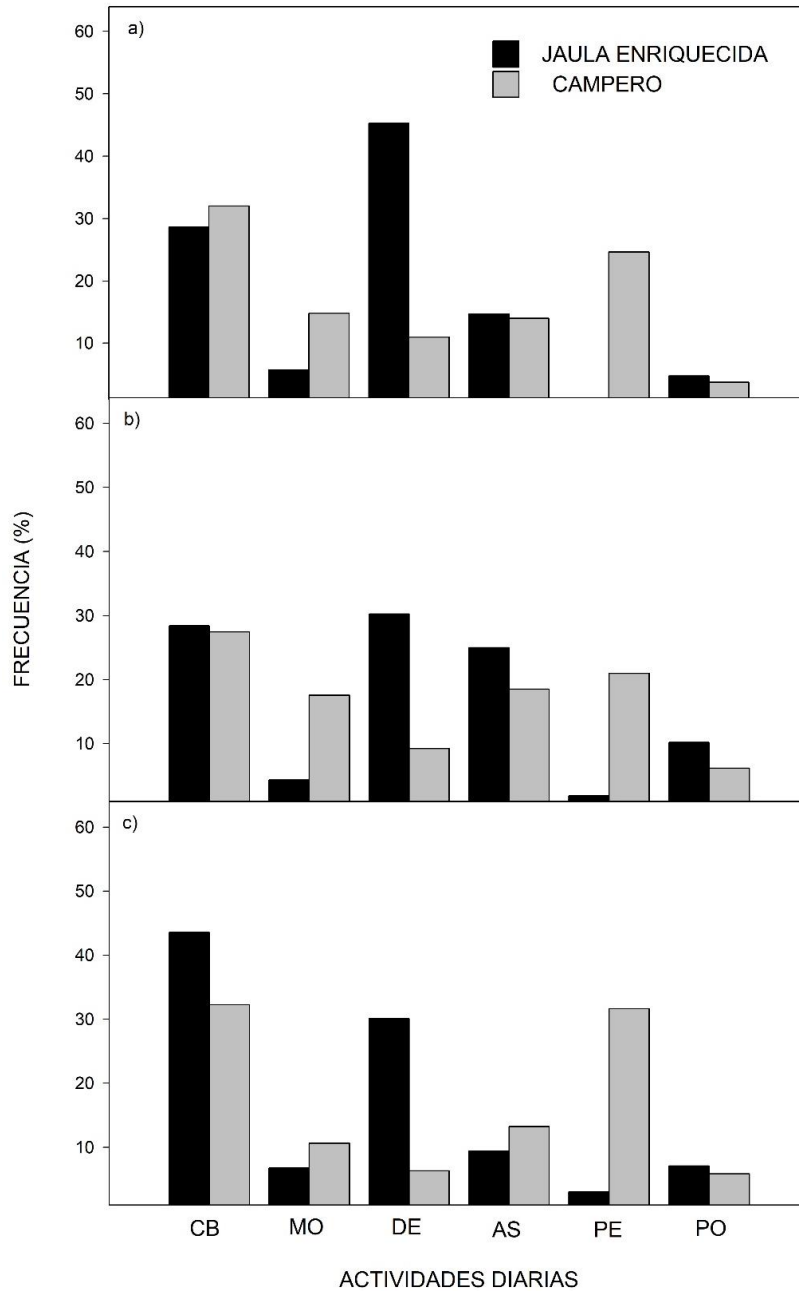
#### **6.1.1 Actividades diarias**

La frecuencia de actividades realizadas por las aves fue similar entre periodos evaluados ( $\chi^2=0.0018$ ,  $p>0.05$ ) y diferente entre tratamientos ( $\chi^2=109.38$ , 21.08 y 62.78,  $p<0.05$ ) durante los tres periodos. Las aves del sistema campero desarrollaron más actividades de pecoreo (26 %) y movimiento (14.5 %), mientras que las aves en jaula pasaron mayor tiempo en actividades de descanso (35 %) esto es, echadas en el piso, perchando o sobre los nidos. Otra actividad más frecuente fue la permanencia en los nidos (7.5 %) para la postura, más evidente en el tercer periodo. Las actividades de comer, beber y aseo (acicalamiento y baño de polvo) se manifestaron en frecuencias parecidas (30.5 y 15.25 % para sistema campero y 33.5 y 16.35 % en sistema de jaula enriquecida (Figura 3).



**Cuadro 7.** Condiciones climáticas prevalentes en el sitio experimental de agosto a diciembre de 2018.

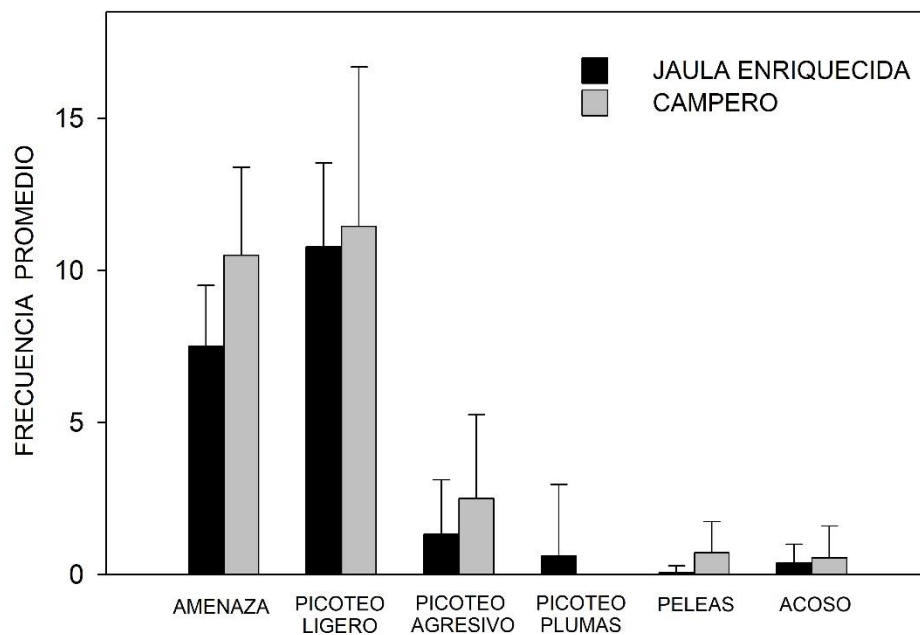
| Edad<br>(semanas) | Mes        | Fotoperiodo<br>(Horas luz) | Temperatura media<br>semanal (° C) | Humedad relativa<br>media semanal (%) |
|-------------------|------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 19                | agosto     | 12.53                      | 27.58                              | 67.84                                 |
| 20                | agosto     | 12.37                      | 27.39                              | 68.68                                 |
| 21                | agosto     | 12.27                      | 27.83                              | 63.50                                 |
| 22                | septiembre | 12.19                      | 27.95                              | 64.59                                 |
| 23                | septiembre | 12.12                      | 28.07                              | 67.24                                 |
| 24                | septiembre | 12.05                      | 28.14                              | 67.47                                 |
| 25                | septiembre | 11.56                      | 26.12                              | 66.64                                 |
| 26                | octubre    | 11.5                       | 26.52                              | 69.81                                 |
| 27                | octubre    | 11.42                      | 27.71                              | 69.88                                 |
| 28                | octubre    | 11.33                      | 24.94                              | 67.43                                 |
| 29                | octubre    | 11.21                      | 25.51                              | 70.97                                 |
| 30                | noviembre  | 11.16                      | 25.91                              | 71.72                                 |
| 31                | noviembre  | 11.11                      | 25.98                              | 70.94                                 |
| 33                | noviembre  | 11.06                      | 20.54                              | 67.60                                 |
| 33                | noviembre  | 11.05                      | 24.46                              | 63.98                                 |
| 34                | diciembre  | 11.02                      | 24.67                              | 69.11                                 |



**Figura 3.** Frecuencia de actividades y comportamientos de gallinas Dominant cz D853, en sistemas de jaula enriquecida y campero, durante los periodos a) 1, semanas 21-27; b) 2, semanas 28-31; y c) 3, semanas 32- 35. Las actividades registradas fueron comer y beber (CB), en movimiento (MO), en descanso (DE), aseándose (AS), pecoreando (PE) y en postura (PO).

### 6.1.2 Comportamientos agresivos

Los comportamientos agresivos de las gallinas expresados como amenazas, picoteo ligero y picoteo agresivo, peleas, acoso y agresiones múltiples se presentaron similares entre los dos sistemas evaluados ( $\text{Chi}^2 = 2.3, p > 0.05$ ) (Figura 4). En el índice de agresión (Cuadro 8), se observó que no existió diferencia entre los dos sistemas de producción, ni entre las semanas evaluadas ( $p > 0.05$ ). Lo que indica que la manifestación de agresiones es independiente del sistema de producción que se emplee. Las aves alojadas en los dos sistemas de producción manifestaron al inicio del experimento un índice de agresión mayor sin llegar a ser significativos y disminuyó conforme avanzó el experimento. Las frecuencias más altas de comportamientos agresivos se expresaron en amenazas y picoteos ligeros. Se observaron valores relativamente superiores en el sistema campero en la mayoría de las variables, con excepción en el picoteo de plumas, la cual fue mayor en el sistema de jaula al inicio del experimento.



**Figura 4.** Frecuencia promedio de tipos de comportamientos agresivos de gallinas Dominant cz D853 alojadas en sistemas jaula enriquecida y campero durante todo el experimento. Las líneas indican la desviación estándar.

**Cuadro 8.** Índice de agresión en aves criadas en sistema campero y en jaula enriquecida durante las semanas 21, 28 y 34.

| Edad<br>(semanas) | No. promedio de agresiones |             | Índice de agresión |               |
|-------------------|----------------------------|-------------|--------------------|---------------|
|                   | Jaula enriquecida          | Campero     | Jaula enriquecida  | Campero       |
| 21                | 20.0 (1.32)                | 28.0 (6.07) | 40.17 (4.00)       | 54.50 (15.65) |
| 28                | 21.6 (2.19)                | 25.5 (2.91) | 37.67 (6.01)       | 44.50 (5.97)  |
| 31                | 20.3 (1.96)                | 24.0 (2.62) | 35.33 (4.54)       | 42.83 (6.20)  |

Valores entre paréntesis representan el error estándar (EE).

### 6.1.3 Condición de salud externa y manifestación de temor

La condición de salud externa medida en el índice de salud externo constituido por la valoración de plumas sucias, áreas desnudas, desviación de quilla, lesión en patas, cuerpo y cabeza, así como dificultad de desplazamiento e inmovilidad tónica, fue diferente entre sistemas de producción ( $p < 0.05$ ) y se presentó interacción entre tratamientos y semanas evaluadas ( $p < 0.05$ ), las diferencias entre tratamientos se incrementaron con el tiempo (Cuadro 9). Los valores de 1 en la condición de salud externa de las aves y la manifestación de temor, indican un buen estado de salud, mientras que valores menores indican que la salud se vió comprometida.

Entre los sistemas de producción de huevo campero y jaula enriquecida hubo diferencias significativas en el índice de salud durante la semana 28 y 31 ( $p < 0,05$ ). Estas diferencias están soportadas en las variables de lesiones en patas y cabeza, inmovilidad tónica e intentos para inmovilidad tónica y dificultad de desplazamiento (Cuadro 9). Las variables sobre las que no influyeron los tratamientos fueron la suciedad de plumas, pérdida de plumas, desviación de la quilla, lesiones en cuerpo y la frecuencia de signos de enfermedad, los más frecuentes fueron problemas respiratorios, depresión y aislamiento.

**Cuadro 9.** Indicadores e Índice de Salud Externa de gallinas Dominant cz D853 alojadas en sistemas de producción de huevo en jaula enriquecida (JE) y campero (CMP).

| INDICADOR                        | Semana 20      |                | Semanas 24     |                | Semanas 26     |                | Semana 28                         |                                   | Semana 31                         |                                   |
|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|                                  | JE             | CMP            | JE             | CMP            | JE             | CMP            | JE                                | CMP                               | JE                                | CMP                               |
| Plumas sucias                    | 1.00           | 0.99           | 0.99           | 0.99           | 0.99           | 0.96           | 0.99                              | 1.00                              | 1.00                              | 0.99                              |
| Áreas desnudas                   | 1.00           | 0.99           | 0.99           | 1.00           | 1.00           | 1.00           | 1.00                              | 1.00                              | 1.00                              | 1.00                              |
| Desviación de quilla             | 1.00           | 1.00           | 1.00           | 0.99           | 0.99           | 0.99           | 10.0                              | 1.00                              | 1.00                              | 1.00                              |
| Lesión en patas                  | 1.00           | 0.98           | 1.00           | 0.98           | 0.97           | 1.00           | 0.96                              | 0.99                              | 0.88                              | 0.99                              |
| Lesión en cuerpo                 | 1.00           | 1.00           | 1.00           | 1.00           | 1.00           | 1.00           | 10.0                              | 1.00                              | 1.00                              | 1.00                              |
| Lesión en cabeza                 | 0.97           | 0.97           | 0.87           | 0.93           | 0.92           | 0.95           | 0.91                              | 0.97                              | 0.99                              | 0.99                              |
| Inmovilidad tónica               | 0.96           | 0.98           | 1.00           | 1.00           | 0.97           | 0.99           | 0.99                              | 1.00                              | 0.86                              | 0.97                              |
| Intentos para inmovilidad tónica | 0.93           | 0.96           | 1.00           | 1.00           | 0.96           | 0.99           | 0.99                              | 1.00                              | 0.81                              | 0.97                              |
| Dificultad de desplazamiento     | 1.00           | 1.00           | 1.00           | 1.00           | 1.00           | 1.00           | 1.00                              | 1.00                              | 0.96                              | 0.98                              |
| Presencia de enfermedades        | 1.00           | 1.00           | 1.00           | 1.00           | 1.00           | 0.99           | 1.00                              | 0.99                              | 0.97                              | 0.99                              |
| <b>Índice de Salud Externa</b>   | 9.82<br>(0.07) | 9.98<br>(0.07) | 9.84<br>(0.04) | 9.89<br>(0.04) | 9.81<br>(0.04) | 9.86<br>(0.04) | <b>9.80<sup>b</sup></b><br>(0.04) | <b>9.98<sup>a</sup></b><br>(0.04) | <b>9.43<sup>b</sup></b><br>(0.10) | <b>9.96<sup>a</sup></b><br>(0.10) |

<sup>a</sup> , <sup>b</sup> Letras diferentes dentro de la misma semana, indican diferencia significativa entre los tratamientos ( $P < 0.05$ ). Valores entre paréntesis representan el error estándar (EE).

## 6.2 Indicadores de producción

Los indicadores productivos de las gallinas alojadas en sistemas jaula enriquecida y campero fueron similares ( $p > 0.05$ ) y se observó influencia de la etapa de producción en los resultados ( $p < 0.001$ ). El porcentaje de postura, peso de huevo y consumo de alimento se incrementaron conforme avanzó el periodo experimental en los dos tratamientos, pasando de 48.3 %, 49.2 g a 99.2 g en la

semana 21, a 84.8 %, 60 g y 117.3 g en la semana 35. En contraste, la conversión alimenticia disminuyó conforme avanzó el periodo experimental de 4.41 en la semana 21 a 2.4 en la semana 35 en los dos sistemas de producción. El tamaño de huevo se incrementó conforme avanzó la edad de las gallinas, al alcanzar pesos superiores a los 55 g se lograron clasificar como huevos de tamaño mediano. La interacción del tiempo por tratamiento en la variable de ganancia de peso fue significativa ( $p < 0.05$ ), aunque no se observan diferencias estadísticas entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ). Las aves en el sistema campero presentaron pérdidas de peso de 0.5 g a la semana 31 de producción, coincidiendo con los picos de producción de huevo (Cuadro 10).

**Cuadro 10.** Indicadores productivos de huevo por edad, en gallinas Dominant cz D853 alojadas en sistemas jaula enriquecida (JE) y campero (CMP). GP, ganancia de peso g ave<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>; NH, Número de huevos por unidad experimental por semana; POST, porcentaje de postura; PMH, peso promedio de huevo; MH, Masa de huevo por unidad experimental por semana; CA, conversión alimenticia, (kg alimento\* kg huevo<sup>-1</sup>); CNA, Consumo de alimento (ave día<sup>-1</sup>).

|                     | GP           | NH        | POST         | PMH          | MH             | CA          | CNA           |
|---------------------|--------------|-----------|--------------|--------------|----------------|-------------|---------------|
| .....Semana 21..... |              |           |              |              |                |             |               |
| <b>CMP</b>          | 9.62 (1.37)  | 34 (4.46) | 53.97 (4.50) | 49.81 (1.49) | 230.36 (30.17) | 4.08 (0.50) | 99.94 (2.43)  |
| <b>JE</b>           | 12.8 (1.37)  | 27 (4.46) | 42.59 (4.50) | 48.03 (1.49) | 183.38 (30.17) | 4.74 (0.50) | 98.56 (2.43)  |
| .....Semana 23..... |              |           |              |              |                |             |               |
| <b>CMP</b>          | 11.3 (0.86)  | 52 (3.83) | 82.27 (3.17) | 53.15 (1.07) | 380.52 (20.05) | 2.45 (0.15) | 100.35 (1.87) |
| <b>JE</b>           | 13.29 (0.86) | 48 (3.83) | 75.67 (3.17) | 52.01 (1.07) | 353.33 (20.05) | 2.66 (0.15) | 99.80 (1.87)  |
| .....Semana 27..... |              |           |              |              |                |             |               |
| <b>CMP</b>          | 1.27 (0.86)  | 56 (1.54) | 88.62 (1.37) | 57.7 (0.81)  | 447.64 (16.32) | 2.3 (0.08)  | 113.79 (1.35) |
| <b>JE</b>           | 2.74 (0.86)  | 57 (1.54) | 90.21 (1.37) | 56.19 (0.81) | 455.43 (16.32) | 2.23 (0.08) | 110.54 (1.35) |
| .....Semana 29..... |              |           |              |              |                |             |               |
| <b>CMP</b>          | 2.3 (0.87)   | 56 (1.37) | 89.42 (1.61) | 56.77 (0.64) | 456.05 (10.32) | 2.26 (0.07) | 113.34 (2.18) |
| <b>JE</b>           | 2.21 (0.87)  | 57 (1.37) | 90.48 (1.61) | 57.41 (0.64) | 467.45 (10.32) | 2.28 (0.07) | 117.00 (2.18) |
| .....Semana 33..... |              |           |              |              |                |             |               |
| <b>CMP</b>          | 2.78 (0.47)  | 56 (0.81) | 88.62 (1.29) | 59.3 (0.65)  | 473.14 (9.09)  | 2.35 (0.05) | 122.71 (2.28) |
| <b>JE</b>           | 1.86 (0.47)  | 57 (0.81) | 90.21 (1.29) | 59.33 (0.65) | 481.71 (9.09)  | 2.39 (0.05) | 126.32 (2.28) |
| .....Semana 35..... |              |           |              |              |                |             |               |
| <b>CMP</b>          | 1.52 (1.1)   | 53 (1.92) | 84.4 (3.04)  | 59.26 (0.55) | 450.31 (15.63) | 2.41 (0.07) | 118.42 (2.43) |
| <b>JE</b>           | 4.75 (1.10)  | 54 (1.92) | 85.19 (3.04) | 60.54 (0.55) | 464.05 (15.63) | 2.31 (0.07) | 116.18 (2.43) |

Valores entre paréntesis representan el error estándar (EE).

### 6.2.1 Rendimiento de carne

Las variables evaluadas al sacrificio: peso de plumas, vísceras, grasa abdominal, hígado, molleja, carne en pechuga, pierna y muslo no difirieron entre los sistemas de producción jaula enriquecida y campero ( $p > 0.05$ ). Las piezas que tuvieron mayor peso son las piernas, muslos y pechuga, representando el 49.5 y 50.3 % del peso de la canal en los sistemas de jaula enriquecida y campero, respectivamente. El peso de las estructuras que no se aprovechan como lo son las plumas y vísceras rebasaron los 400 g, con una tendencia a ser mayor en el sistema de jaula enriquecida. La grasa abdominal mostró una tendencia similar en el peso, 10 g más que en las canales de sistema campero. En las variables de longitud de intestinos y de sacos ciegos existen diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) (Cuadro 11), siendo mas largos en el sistema campero.

**Cuadro 11.** Rendimiento de carne en gallinas Dominant cz D853 criadas en sistemas de jaula enriquecida y campero.

| <b>Variables</b>                      | <b>Jaula enriquecida</b>         | <b>Sistema Campero</b>            |
|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Peso de plumas (g)                    | 205.83 (6.10)                    | 186.67 (9.42)                     |
| Peso de canal (g)                     | 1400.83 (32.99)                  | 1411.50 (37.50)                   |
| Peso de grasa (g)                     | 46.33 (6.21)                     | 36.167 (4.99)                     |
| Peso de vísceras (g)                  | 237.17 (11.06)                   | 244.50 (9.66)                     |
| Peso de hígado (g)                    | 34.00 (2.12)                     | 35.500 (1.50)                     |
| Peso de molleja (g)                   | 38.08 (1.85)                     | 40.500 (2.55)                     |
| Longitud de intestino (cm)            | <b>156.17<sup>b</sup></b> (2.65) | <b>167.250<sup>a</sup></b> (3.06) |
| Longitud ciegos (cm)                  | <b>19.80<sup>b</sup></b> (0.55)  | <b>21.67<sup>a</sup></b> (0.73)   |
| Peso de pechuga con hueso (g)         | 325.67 (13.20)                   | 336.33 (11.31)                    |
| Peso de pierna + muslo (g)            | 366.50 (10.03)                   | 374.33 (9.00)                     |
| Peso de pechuga deshuesada (g)        | 242.67 (10.28)                   | 247.83 (11.92)                    |
| Peso de pierna + muslo deshuesada (g) | 273.33 (7.61)                    | 282.50 (8.60)                     |

<sup>a</sup>, <sup>b</sup> Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ). Valores entre paréntesis representan el error estándar (EE).

### 6.3. Calidad de huevo

Las variables de calidad física de huevo (índice de forma, frecuencia de huevos sucios, rotos y blandos) fueron similares entre los sistemas de producción jaula enriquecida y campero ( $p > 0.05$ ). Los resultados no mostraron cambios durante el tiempo que duró el experimento ( $p > 0.05$ ). La mayor cantidad de huevos sucios se registró durante la semana 26 en el sistema campero, al igual que una mayor presencia de huevos rotos (Cuadro 12).

**Cuadro 12.** Indicadores de calidad física en huevos de gallinas Dominant cz D853 en las semanas 22, 26, 30 y 34, en los sistemas de producción sistemas de jaula enriquecida (JE) y campero (CMP).

| Indicador       | Semana 22      |                | Semana 26      |                | Semana 30     |               | Semana 34      |                |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
|                 | JE             | CMP            | JE             | CMP            | JE            | CMP           | JE             | CMP            |
| Índice de forma | 76.5<br>(0.58) | 77.7<br>(0.58) | 77.7<br>(0.52) | 78.1<br>(0.52) | 78.6<br>(1.6) | 77.9<br>(1.6) | 76.5<br>(0.74) | 76.4<br>(0.74) |
| Huevos sucios   | 41             | 36             | 72             | 37             | 39            | 35            | 30             | 26             |
| Huevos rotos    | 1              | 4              | 9              | 4              | 3             | 5             | 5              | 4              |
| Huevos blandos  | 3              | 5              | 4              | 8              | 4             | 6             | 0              | 3              |

Valores entre paréntesis representan el error estándar (EE).

La calidad interna del huevo evaluada en (porcentaje de yema, albumen líquido y denso) no fueron afectados por los tratamientos ( $p > 0.05$ ), pero si por el tiempo del experimento ( $p < 0.05$ ), incrementando las proporciones. En la variable porcentaje de cáscara se encontraron diferencias entre los dos sistemas de producción durante el último periodo de medición, siendo superior el sistema de jaula enriquecida ( $p < 0.05$ ). El color de la yema presentó diferencias significativas durante los tres primeros periodos de medición ( $p < 0.05$ ), sin embargo, al final del experimento se comportaron similares. Los tratamientos fueron diferentes en unidades Haugh solo en la semana 34 ( $p < 0.05$ ), sin efecto del tiempo. La presencia de manchas de sangre y carne fueron independientes de los sistemas de producción evaluados ( $\chi^2 = 0.46$ ,  $p > 0.05$ ) (Cuadro 13).



**Cuadro 13.** Indicadores de calidad interna en huevos de gallinas Dominant cz D853 en las semanas 22, 26, 30 y 34, en los sistemas de producción sistemas de jaula enriquecida (JE) y campero (CMP).

| Indicador           | Semana 22               |                          | Semana 26               |                         | Semana 30                          |                                    | Semana 34                          |                                    |
|---------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|                     | JE                      | CMP                      | JE                      | CMP                     | JE                                 | CMP                                | JE                                 | CMP                                |
| Yema (%)            | 22.6<br>(0.58)          | 22.74<br>(0.58)          | 23.27<br>(0.48)         | 23.35<br>(0.48)         | 25.03<br>(0.36)                    | 24.86<br>(0.36)                    | 26.86<br>(0.67)                    | 25.76<br>(0.67)                    |
| Albumen líquido (%) | 25.63<br>(0.94)         | 26.84<br>(0.94)          | 27.89<br>(0.97)         | 28.21<br>(0.97)         | 25.77<br>(1.03)                    | 25.02<br>(1.03)                    | 25.77<br>(1.27)                    | 24.86<br>(1.27)                    |
| Albumen denso (%)   | 40.30<br>(±1.2)         | 39.19<br>(1.2)           | 37.17<br>(1.0)          | 36.50<br>(1.0)          | 37.03<br>(1.08)                    | 38.59<br>(1.08)                    | 34.66<br>(1.32)                    | 37.44<br>(1.32)                    |
| Cascarón (%)        | 11.47<br>(0.19)         | 11.23<br>(0.19)          | 11.65<br>(0.25)         | 11.93<br>(0.25)         | <b>12.16<sup>a</sup></b><br>(0.16) | <b>11.52<sup>b</sup></b><br>(0.16) | <b>12.71<sup>a</sup></b><br>(0.26) | <b>11.94<sup>b</sup></b><br>(0.26) |
| Color de yema       | <b>9.83<sup>b</sup></b> | <b>10.89<sup>a</sup></b> | <b>9.83<sup>b</sup></b> | <b>9.89<sup>a</sup></b> | <b>9.83<sup>b</sup></b>            | <b>9.89<sup>a</sup></b>            | 9.72                               | 9.83                               |
| Unidades Haugh      | 79.96<br>(1.59)         | 83.48<br>(1.59)          | 80.71<br>(1.08)         | 82.53<br>(1.08)         | 81.99<br>(1.38)                    | 80.69<br>(1.38)                    | <b>73.21<sup>b</sup></b><br>(1.15) | <b>77.11<sup>a</sup></b><br>(1.15) |
| Manchas de sangre   | 2                       | 2                        | 3                       | 1                       | 1                                  | 2                                  | 5                                  | 1                                  |
| Manchas de carne    | 4                       | 2                        | 5                       | 4                       | 0                                  | 3                                  | 4                                  | 4                                  |

<sup>a</sup> , <sup>b</sup> Letras diferentes dentro de la misma semana, indican diferencia significativa entre los tratamientos ( $P < 0.05$ ). Valores entre paréntesis representan el error estándar (EE).

### 6.3.1 Perfil de ácidos grasos

El perfil de ácidos grasos de la yema de huevo en los dos tratamientos, presentó porcentajes similares ( $p > 0.05$ ). Los ácidos grasos encontrados en mayor porcentaje fueron los ácidos grasos mono insaturados (44.2% en el sistema campero y 45.7 % en jaula enriquecida), seguidos de los ácidos grasos saturados (35.4, 35.0 %) y ácidos grasos polinsaturados (20.3 y 19.2 %) para sistema campero y jaula enriquecida (Cuadro 14). La relación de ácidos grasos omega 6: omega 3, es de 5.4:1. Resalta la presencia de ácidos grasos de cadena larga como el ácido araquidónico, ALA, DPA y DHA, presentes en los dos tratamientos de forma importante.

**Cuadro 14.** Ácidos grasos en la yema de huevos de gallinas Dominant cz D853 en sistemas de producción jaula enriquecida y campero.

| Ácidos grasos  | Jaula Enriquecida | Sistema Campero |
|--|-------------------|-----------------|
| Mirístico 14:0   | 0.62 (0.03)       | 0.67 (0.04)     |
| Miristoleico 14:1(n-5)                                 | 0.35 (0.01)       | 0.36 (0.01)     |
| Palmítico 16:0   | 24.00 (0.38)      | 24.19 (0.56)    |
| Palmitoleico 16:1(n-7)                                 | 3.63 (0.19)       | 3.40 (0.19)     |
| Esteárico 18:0   | 9.32 (0.27)       | 9.39 (0.20)     |
| Oleico 18:1(n-9)                                       | 41.76 (0.61)      | 40.47 (0.51)    |
| Linoleico 18:2(n-6)                                    | 13.04 (0.34)      | 14.02 (0.53)    |
| Linolénico 18:3(n-3)                                   | 0.40 (0.01)       | 0.49 (0.07)     |
| Eicosanoico 20:0                                       | 1.11 (0.02)       | 1.15 (0.05)     |
| Eicosadienoico 20:2 (n-6)                              | 0.43 (0.01)       | 0.46 (0.01)     |
| Eicosatrienoico 20:4(n-6)                              | 0.61 (0.01)       | 0.61 (0.01)     |
| Araquidónico 20:4(n-6)                                 | 2.13 (0.09)       | 2.14 (0.09)     |
| Octadecatrienoico (alfa-linolénico (ALA))<br>18:3(n-3) | 0.46 (0.01)       | 0.47 (0.03)     |
| Docosapentaenoico (DPA) 22:5(n-3)                      | 0.98 (0.03)       | 0.95 (0.07)     |
| Docosahexaenoic acid (DHA) 22:6(n-3)                   | 1.16 (0.04)       | 1.23 (0.05)     |
| AGS  | 35.05 (0.70)      | 35.4 (0.85)     |
| AGM  | 45.74 (0.81)      | 44.23 (0.71)    |
| AGPI   | 19.21 (0.54)      | 20.37 (0.86)    |
| n-6  | 16.21             | 17.23           |
| n-3  | 3.00              | 3.14            |
| n-6/n-3  | 5.4               | 5.4             |

Datos reportados como porcentaje de la grasa analizada. Valores entre paréntesis representan el error estándar (EE).

## 7. DISCUSIÓN

La diferencia en el repertorio de actividades que realizaron las aves alojadas en jaula, y las del sistema campero muestra que, a pesar de haber enriquecido el entorno, la jaula no permitió expresar los comportamientos naturales de las aves en su totalidad. Esto se pudo observar en las actividades de movimiento que incluyen correr, caminar y aletear, las cuales fueron menores (6, 7 y 4.5 % durante los tres periodos) a las observadas en el sistema campero (15, 11 y 18 %). Los resultados reflejan que, al tener ambientes enriquecidos y espacios más amplios, el repertorio de comportamientos que requieren movimiento se incrementa y en ambientes más pobres se inhiben, por lo cual los comportamientos como comer y vigilar se incrementan hasta en un 10% (Büttow *et al.*, 2008).

La actividad de pecoreo es un comportamiento natural de las aves y consiste en la búsqueda de insectos, forraje y piedras pequeñas, para lo cual exploran, rascan y picotean. El sistema campero les permite expresar este comportamiento debido a que cuentan con áreas disponibles para ello, con presencia de forraje y sombra de árboles, facilitando su manifestación. Esto se refleja en las frecuencias observadas de hasta el 32 % en las actividades de pecoreo. Los resultados fueron similares a lo reportado por Abouelezz *et al.* (2014) con el 40 % de uso del exterior. En cambio, en las aves alojadas en jaula, la actividad de pecoreo se redujo al rascado del baño de polvo con frecuencias de observación no mayores al 3%. Estos comportamientos se consideran anormales (estereotipos) cuando no están dadas las condiciones para que ocurran, y sin embargo se repiten. Castañeda y Gómez (2010) identificaron estos comportamientos en aves alojadas en jaula convencional y producción en piso. Las aves enjauladas pasaron mayor tiempo en descanso, comiendo, bebiendo y dentro del nido, actividades que no requieren mucho espacio para su desarrollo y que representan un gasto mínimo de energía; esto coincide con lo reportado por (Castellini *et al.*, 2006). Zaho *et al.* (2014) quienes encontraron que las aves con acceso al exterior realizan actividades de exploración y uso de baños de tierra con mayor frecuencia, además de acicalarse significativamente más que aquellas que solo estaban en el interior y no reportan diferencia en actividades de alimentación. Con base en estos resultados se esperaba que la producción o la conversión alimenticia de las gallinas en sistema campero se hubiera comprometido en comparación con las de jaula enriquecida, sin embargo, esto no ocurrió.

La manifestación de agresión entre animales es una respuesta social al conflicto por recursos. En las gallinas se presenta de forma intensa al establecerse las jerarquías, o en el caso de que sean jerarquías inestables (Bilcick y Keeling, 1999). Los resultados del índice de comportamientos agresivos se encontraron similares en los dos sistemas de producción. Sin embargo, algunos investigadores han encontrado mayor incidencia de comportamientos agresivos cuando se inicia la formación de los grupos, debido al establecimiento de jerarquías o en grupos grandes (Nicol *et al.*, 1999; Lambton *et al.*, 2010). Por otra parte, Black y Christensen (2009) concluyen que en sistemas de libertad las agresiones son más frecuentes, aunque ofrecen a las aves oportunidad de escapar para no ser lesionadas severamente. También, Bestman y Wagenaar (2003) encontraron que las aves en sistema de libertad presentan alta incidencia de picoteo grave (>50 %); en su estudio la ausencia de picoteo estuvo relacionada con un ambiente más rico, la exposición de las aves al exterior a una edad temprana, y la presencia de machos en los grupos. Otros investigadores han encontrado que las agresiones ocurren en producción en piso y aviarios con el aumento de la edad de las aves, sin embargo, en nuestro estudio esto no ocurrió (Odén *et al.*, 2002). Los resultados en la baja incidencia de agresiones y la nula diferencia entre los dos sistemas de producción, es atribuido a que los grupos fueron pequeños y sometidos a bajas densidades, además de que las gallinas D853 presentan un temperamento tranquilo y se ha comprobado que las líneas genéticas influyen en la manifestación de agresividad (Bessei *et al.*, 2013).

Las aves criadas en el sistema de jaula enriquecida presentaron menor índice de salud externa de manera general, cuya condición fue afectada conforme avanzó el experimento porque se identifica su disminución en los tres periodos de medición. Las aves en el sistema de jaula enriquecida presentaron deterioro en su salud, principalmente por lesiones en patas, que afectó en la facilidad de desplazamiento, pues a las aves afectadas se les dificulta moverse. Las lesiones en la cabeza fueron más frecuentes al inicio del experimento debido a que durante este mismo periodo fueron frecuentes las peleas y comportamientos agresivos; además de que las aves manifestaban caminatas constantes en el perímetro de la jaula, buscando salida, friccionando las crestas contra las paredes de la jaula, lo que incrementó las lesiones en cabeza. Estas aves también necesitaron un periodo de adaptación al sistema de jaula enriquecida, ya que el crecimiento y etapa de prepostura se desarrolló en sistema campero. La manifestación de temor, evaluada a través de inmovilidad tónica se presentó en el sistema de jaula enriquecida, debido probablemente a que las aves se sacaban de las

jaulas y se llevaban a un sitio diferente donde se aplicaba la prueba, en cambio las aves de sistema campero estaban más acostumbradas a la presencia del manejador y en contacto con diversos ambientes, por lo que se infiere que su temor a condiciones nuevas fue menor. Los resultados fueron diferentes a lo encontrado por Zaho *et al.* (2014), que reporta inmovilidad tónica más alta en pollos de engorda criados en libertad, y por Campo *et al.*, (2006) que no encontraron diferencias en la inmovilidad tónica para gallinas criadas en interior y libertad. Sin embargo, Castañeda y Gómez (2010) coinciden en resultados, puesto que las gallinas confinadas hacen menos intentos para conseguir la inmovilidad tónica y duraron mayor tiempo inmóviles. Se observó en los dos sistemas de producción signos clínicos de enfermedad, en los tres periodos de evaluación. Los signos mayormente identificados fueron problemas respiratorios, depresión y diarreas, sin presentarse mortalidad.

La producción de huevo fue similar entre el sistema campero y jaula enriquecida, diferente a lo reportado por (Sekeroglu *et al.*, 2010 y Yilmaz *et al.*, 2016) quienes encontraron menor producción en sistema de jaula convencional, enriquecida y sistema de producción en piso. A su vez, Posadas *et al.* (2005) y Denli *et al.* (2016) reportan porcentajes de postura superiores, en 3.1 y 4.2 % en jaula enriquecida con respecto al sistema campero. Esto se explica porque las aves en sistema campero destinan mayor energía al movimiento, por lo que pueden aumentar el consumo de alimento o disminuir la producción de huevo, o incluso sacrificar masa corporal para la producción (Cepero, 2013). Los indicadores productivos para los dos sistemas de producción se consideran aceptables para la línea genética utilizada y el clima donde se desarrolló la producción, similar a lo encontrado por Abouelezz *et al.* (2013). Los pesos del huevo en los dos sistemas de producción se clasifican como medianos, de acuerdo al IEH (2009), y de tamaño tres, colocados entre las clasificaciones México extra, México 1 o México 2, siempre y cuando cumpla con otros requisitos (NMX-FF-079-1991). Se observó que el peso del huevo se incrementó conforme avanzó el ciclo de producción al igual que en otras investigaciones (Samiullah *et al.*, 2016; Peric *et al.*, 2017).

La valoración del rendimiento en carne se realizó posterior a los tiempos sugerido en aves de crecimiento lento, ya que se está realizando regularmente a las 8, 10 y 12 semanas de edad (Połtowicz y Nowak, 2012), pero fue prematuro en aves de doble propósito porque en estas aves la edad al sacrificio es superior a las 64 semanas, cuando está por concluir el primer ciclo de

producción (Puchala *et al.*, 2015). Los resultados de rendimiento en canal, carne en pechuga, pierna y muslo no presentaron diferencias estadísticas entre los sistemas de producción, similar a lo reportado por (Sogunle *et al.*, 2012 y Lazzari *et al.*, 2007), sin embargo, Lizarri *et al.* (2007) encontraron diferencias en la cantidad de grasa (1.07 % más en gallinas en confinamiento) mientras que en este estudio no se observó ese contraste. En el largo de los intestinos y de los ciegos se encontraron diferencias importantes (11 vs. 1.87 cm, más grandes en sistema campero). De acuerdo a Alshamy *et al.*, (2018), estas características difieren entre líneas genéticas. Sin embargo, las aves en libertad pueden consumir una dieta más variada, por lo tanto, el nivel de inclusión, tipo y tamaño de las partículas fibrosas que ingieren, provocan el aumento en el tamaño de los órganos digestivos (Jiménez-Moreno *et al.*, 2009).

De manera general, la calidad del huevo tuvo características aceptables para la línea genética utilizada en este trabajo experimental. En gallinas Rhode Island Red, se ha reportado IF de 69.9 por debajo de lo encontrado en este estudio y UH de 88.2, superior a lo encontrado por Monira *et al.* (2003). Las variables de calidad física del huevo (IF, huevo roto, sucio y blando) fueron similares entre los dos sistemas de producción. Sin embargo, el IF se considera alto, ya que el huevo comercial considera huevo con IF óptimo entre 73 a 76 (Cuadro 12), similar a lo reportado por Yenice *et al.* (2016). El huevo obtenido en sistema de jaula enriquecida presentó mayor porcentaje de cascarón, lo cual difiere a lo reportado por Lordelo *et al.* (2017) y Yenice *et al.* (2016), quienes no identificaron diferencias. Sin embargo, este contraste no se reflejó en la cantidad de huevo roto.

La coloración de la yema de huevo fue afectada por el tratamiento y por el tiempo, las aves del sistema campero al inicio del experimento pudieron consumir plantas que proporcionaron pigmentos naturales, lo cual se reflejó en un puntaje mayor en coloración de la yema, como se reporta en otras investigaciones (Skrivan y Englmaierova, 2014). Sin embargo, conforme avanzó el periodo experimental la cobertura vegetal se redujo y por lo tanto el consumo de plantas, desapareciendo las diferencias en la coloración de huevo entre los dos tratamientos. Datos similares reportan Lordelo *et al.* (2017) y Yilmaz *et al.*, (2017), quienes describieron que las variaciones en color se presentaron entre periodos de evaluación y entre sistemas de producción donde se enriquece el alimento, ya sea con pigmentos o ácidos omegas. La coloración de la yema que se

observó está en los rangos aceptables para su comercialización (Cuadro 12). Para establecer una calidad excelente del huevo, se requieren entre 90 y 100 UH s, los valores superiores a 70 se consideran aceptables y por debajo de 50 no es apto para el consumo (Martín, 2015). Los valores obtenidos en los dos sistemas de producción mantienen las UH como aceptables, aunque el sistema campero presente un mejor valor. Las diferencias en estos valores son multifactoriales como lo explica Sastre *et al.* (2002), sin embargo, Lordelo *et al.* (2017) y Yilmaz *et al.* (2017), encontraron una mejor calidad de albumina en huevos producidos en sistemas de libertad.

Las muestras de los huevos examinados no presentaron diferencias entre los dos sistemas de producción para las variables de manchas de carne y sangre, la causa de estos defectos en el interior del huevo es multifactorial, donde se incluyen las anomalías que tiene que ver con el ambiente y el estrés de las aves (Jacob *et al.*, 2000; Sastre *et al.*, 2002; Salvador, 2018).

Con respecto a la composición de ácidos grasos en la yema de huevo se presentó similar entre los dos sistemas de producción, los resultados son diferentes a los reportados por Samman *et al.*, (2009) y Nyberg (2017), ya que, los huevos que provienen de sistemas de libertad mostraron mayor contenido de AGPI, mientras que Krawczyk *et al.* (2011) reportan mayor contenido de AGM y AGPI en huevos del sistema campero. Es probable que los resultados fueran diferentes si la evaluación se hubiese realizado al inicio del periodo experimental, cuando había vegetación e insectos disponibles en las áreas de libertad. La concentración de ácidos grasos de importancia nutricional para el ser humano fue significativa en los huevos de los dos sistemas de producción, ricos en ácido oleico y de forma significativa en ácido linoleico, linolénico y araquidónico, ácidos esenciales que el organismo humano no puede sintetizar, además presenta buen balance entre ácidos grasos saturados e insaturados, por lo que confirma que el huevo es un excelente alimento (IEH, 2009). La relación de ácidos grasos omega 6: omega 3, se considera buena, ya que se aproxima a la relación ideal para la alimentación humana que es de 2:1 (Coronado *et la.*, 2006).

## **8. CONCLUSIONES**

El sistema campero proporciona mayor bienestar, exhibido en una mayor frecuencia y variedad de actividades, comportamientos diarios y un mayor estado de salud externa. Estos resultados apoyan la hipótesis de que el sistema campero proporciona condiciones para que las aves alcancen un mayor bienestar que en las jaulas enriquecidas.

La producción de huevo en el sistema campero, mantuvo los niveles de acuerdo a lo indicado para la línea genética empleada, similar a lo obtenido en el sistema de jaula enriquecida. Con estos resultados se rechaza la hipótesis de que las gallinas alojadas en el sistema jaula enriquecida presentan un comportamiento productivo mayor en comparación del sistema campero.

La calidad del huevo en el sistema campero se encuentra dentro de los estándares de calidad que el mercado exige, semejante a la calidad del sistema de jaula enriquecida. Los resultados no apoyan la hipótesis de que la calidad de huevo de sistema de jaula enriquecida sea inferior a los del sistema campero.

El sistema campero permitió un mayor bienestar de las aves sin detrimento de la producción de huevo y carne, manteniendo los parámetros productivos y de calidad dentro de los estándares requeridos por el mercado.

## **9. RECOMENDACIONES**

En futuras investigaciones se recomienda evaluar hasta la semana 72 para tener mayor información sobre la evolución del bienestar y la producción bajo estos sistemas en condiciones de trópico subhúmedo. Se debe incluir en la comparación, al sistema convencional, además de la evaluación de los costos de producción en los sistemas implementados. Es necesario abordar estudios sobre el impacto que tienen los sistemas de producción en el suelo, flora y la fauna del sitio donde se desarrollan y sobre los cultivos, cuando se hace uso de sistemas integrados, como fue el caso de este experimento.



## 10. LITERATURA CITADA

- Abouelezz, F. M. K., Sarmiento-Franco L., Santos- Ricalde R., and Segura-Correa J. 2014. Use of the outdoor range and activities of Rhode Island Red hens grazing on natural vegetation in the tropics. *J. Agr. Sci. Tech.* 16: 1555-1563.
- Abouelezz, F. M. K., Sarmiento-Franco L., Santos-Ricalde R. and Solorio-Sánchez J. F. 2013. Egg production, egg quality and crop content of Rhode Island Red hens grazing on natural tropical vegetation. *Tropical Animal Health and Production* 45: 367–372.
- Ahamed, M., B. J. Chae, J. Lohakare, B. Keohavong, M. H. Lee, S. J. Lee, D. M. Kim, J. Y. Lee1, and S. J. Ohh. 2014. Comparison of aviary, barn and conventional cage raising of chickens on laying performance and egg quality. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 27 (8): 1196-1203.
- Ahmadi, F., and Rahimi F. 2011. Factors affecting quality and quantity of egg production in laying hens: A Review. *World Applied Sciences Journal* 12 (3): 372-384.
- Aland, A., Madec F. 2009. Sustainable animal production. Editorial. Wageningen Academic Publishers. The Netherlands. 496 p.
- Alm, M., R. Tauson, L. Holm, A. Wichman, O. Kalliokoski, H. Wall. 2016. Welfare indicators in laying hens in relation to nest exclusion. *Poultry Science* 95 (6): 1238-1247.
- Alshamy Z, Richardson KC, Hünigen H, Hafez HM, Plendl J, Al Masri S. 2018. Comparison of the gastrointestinal tract of a dual-purpose to a broiler chicken line: A qualitative and quantitative macroscopic and microscopic study. *Plos One* 13 (10): 22.
- Amat, P. 2007. Derecho agrario y agroalimentario español y de la Unión Europea. Ed: Tirant lo Blanch. Valencia. 702 p.
- Appleby, M. C. and Hughes, B. 1991. Welfare of laying hens in cages and alternative systems: Environmental, physical and behavioural aspects. *World's Poultry Science Journal* 47 (2): 109-128.
- Appleby, M. C., A. W. Walker, C. J. Nicol, A. C. Lindbergh, R. Freire, B.O. Hughes Han. Elson H. A. 2002. Development of furnished cages for laying hens. *British Poultry Science* 43 (4): 489-500.
- Appleby, M. C. 2003. The european union ban on conventional cages for laying hens: history and prospects. *Journal of Applied Animal Welfare Science* 6 (2): 103–121.
- Araujo, N. D., Dávila L. H. J., Rodríguez A. J, Corrêa M. B., Silva R. M. and Marques B. T., 2018. Production of laying hens in different rearing systems under hot weather. *Acta Scientiarum Animal Sciences* 40: 6.

- Arias, J. L.; Fernández, M. S. y Nys Yves. 1998 ¿Qué se entiende por un huevo fresco? *Rev.Tecno.vet.*4(3).  
[http://www.tecnovet.uchile.cl/CDA/tecnovet\\_articulo/0,1409,SCID%253D9610%2526I SID%253D458,00.html](http://www.tecnovet.uchile.cl/CDA/tecnovet_articulo/0,1409,SCID%253D9610%2526I SID%253D458,00.html). (Consultada enero 2019).
- Arnold M. y Osorio, F. 1998. Introducción a los conceptos básicos de la teoría general de sistemas. *Cinta de Moebio* 3: 40-49.
- Baier, A. 2015. Tipsheet: organic poultry production for meat and eggs. ATTRA Sustainable Agriculture.  
[https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Organic%20Poultry%20Production%20for%20Meat%20and%20Eggs\\_FINAL.pdf](https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Organic%20Poultry%20Production%20for%20Meat%20and%20Eggs_FINAL.pdf). (Consultada en mayo 2019).
- Barnett, J. L., R. Tauson, J. A. Downing, V. Janardhana, J. W. Lowenthal, K. L. Butler and G. M. Cronin. 2009. The effects of a perch, dust bath, and nest box, either alone or in combination as used in furnished cages, on the welfare of laying hens. *Poultry Science* 88(3): 456-470.
- Bartussek, H. 1995. Tiergerechtheitsindices fuer Mastschweine (fattening pigs), Kaelber (calves) und leere und tragende Zuchtsauen (pregnant sows). Federal Research Institute for Agriculture in Alpine Regions (BAL Gumpenstein), A-8952 Irdning, Austria.
- Bessei W. Bauhaus H., Bögelein S. 2013. The effect of selection for high and low feather pecking on aggression-related behaviors of laying hens. *Arch. Geflügelk* 77:10-14.
- Bertalanffy V., L. 1968. Teoría general de los sistemas. Fundamentos, desarrollo y aplicaciones. Primera edición, George Braziller, Nueva Yor. 336 p.
- Blicik, B. and Keeling, L. J. 1999. Changes in feather condition in relation to feather pecking an aggressive behaviour in laying hens. *British Poultry Science* 40: 444-451.
- Black, H., and N. Christensen. 2009. CO206/2006 Comparative assessment of laying hen welfare in New Zealand—Final Report. Asure Quality Independent Quality Assurance. Avivet, Palmerston North, New Zealand. <https://thepoultrysite.com/articles/comparative-assessment-of-layer-hen-welfare-in-new-zealand>. (Consultada en abril de 2019).
- Blokhuis H. J., Keeling L. J., Gavinelli A. and Serratos J. 2008. Animal welfare´s impact on the food chain. *Trends Food Science Technology* 19: 579-587.
- Boelling D, Groen AF, Sørensen P, Madsen P, and Jensen J. 2003. Genetic improvement of livestock for organic farming systems. *Livestock Production Science* 80: 79-88.
- Botreau, R., Veissier I., Butterworth A., Bracke M., Keeling L. 2007. Definition of criteria for overall assessment of animal welfare. *Animal Welfare* 16, 2: 225-228.
- Bousfield, B. and Brown R. 2010. Animal welfare. *Veterinary Bulletin - Agriculture, Fisheries and Conservation Department Newsletter* 1: 12.

- Brambell, F.W.R. 1965: Report of the Technical Committee to Enquire into the Welfare of Animals kept under Intensive Livestock Husbandry Systems, Command Report 2836, HMSO, Londres. <https://www.worldcat.org/title/report-of-the-technical-committee-to-enquire-into-the-welfare-of-animals-kept-under-intensive-livestock-husbandry-systems/oclc/475844139>. (Consultada en diciembre del 2018).
- Brokhuis, H.J. 2004. Recent developments in European and international welfare regulations. *World's Poultry Science Journal* 60: 469-477.
- Broom, D. M. 1986. Indicators of poor welfare. *British Veterinary Journal* 142 (6): 524-526.
- Broom, D. M. 2011. A history of animal welfare science. *Acta Biotheoretica* 59: 121-137.
- Büttow R. V. F., R. Cepero B., G. A. Maria L. G. A. 2008. Aspectos etológicos y productivos de gallinas ponedoras alojadas en jaulas convencionales o enriquecidas de fabricación española *Bras. Agrobiociência, Pelotas* 14: 125-134.
- Büttow, R. V. F. Cepero R. B., Maria L. G. A. 2009. Floor versus cage rearing: effects on production, egg quality and physical condition of laying hens housed in furnished cages. *Ciencia Rural* 39: 1527-1532.
- Callejo A., A. dos Santos, N. Núñez y Buxadé C. 2014. Distribución de la puesta en las jaulas enriquecidas. *Selecciones Avícolas*: 6-9 pp.
- Campbell, D. L. M., (2017). Egg production and egg quality in free-range laying hens housed at different outdoor stocking densities1. *Poultry Science* 96 (9): 3128-3137.
- Campo, J. L., GIL M. G., Dávila S.G. and Muñoz I. 2006. The genetics of three welfare indicators: tonic immobility duration, heterophil to lymphocyte ratio, and fluctuating asymmetry. *European Poultry Conference, Verona, Italy, 10-14 September*. [https://pdfs.semanticscholar.org/5aa5/2ed84164e3b380ab519e63ac550adde1b833.pdf?\\_ga=2.37244448.1287175380.1562862795-691919980.1550958534](https://pdfs.semanticscholar.org/5aa5/2ed84164e3b380ab519e63ac550adde1b833.pdf?_ga=2.37244448.1287175380.1562862795-691919980.1550958534). (Consultada en enero de 2019).
- Carmichael, N., Walker, W., and Hughes, B. O. 1999. Laying hens in large flocks in a perchery system: influence of stocking density on location, use of resources and behaviour. *British Poultry Science* 40 (2): 165-176.
- Casanova-Pérez, L., Martínez-Dávila, J. P., López-Ortiz, S., Landeros-Sánchez, C., López-Romero, G. y Peña Olvera B. 2015. El agroecosistema comprendido desde la teoría de sistemas sociales autopoieticos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 855-865.
- Caspari, C., Oliver E., Nganga J., Ricci M., van Horne P., Magdelaine P. 2010. The poultry and egg sectors: evaluation of the current market situation and future prospects. Editor Catherine Morvan. *European Parliament*. 111 p.

- Castellini, C., Perella F., Mugnai C. and Dal Bosco A. 2006. Welfare, productivity and qualitative traits of egg in laying hens reared under different rearing systems. Rearing Systems. Poster at: XII European Poultry Conference, Verona, 10-14 September. [http://orgprints.org/9331/1/Welfare,\\_productivity\\_and\\_qualitative\\_traits\\_of\\_egg.pdf](http://orgprints.org/9331/1/Welfare,_productivity_and_qualitative_traits_of_egg.pdf). (Consultada en enero del 2019).
- Castelló, J. A. 2000. Sistemas de producción de huevos en España y otros países: Situación actual. Memoria Jornadas Profesionales de Avicultura de Puesta, Arenys de Mar. pp:1.1-1.11.
- Castelló, J. A. 2013. La producción y la economía avícola, de la mano en Europa. Selecciones avícolas. <https://seleccionesavicolas.com/avicultura/2013/12/la-produccion-y-la-economia-avicola-de-la-mano-en-europa>. (Consultada en enero 2019).
- Castelló, J. A. 2015. Economía y producción avícola. Selecciones avícolas. <https://seleccionesavicolas.com/avicultura/2017/11/economia-y-produccion-avicola-1>. (Consultada en abril 2019).
- Cepero, B. R. 2013. Nutrición y alimentación en sistemas extensivos en avicultura. Dpto. de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos. Facultad de Veterinaria. Universidad de Zaragoza. España. en <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/nutricion-alimentacion-animal-sistemas-t30250.htm>. (Consultada en marzo del 2019).
- Checkland, P.B. 1981. Systems thinking, systems practice. J. Wiley. Chichester Sussex. 330 p.
- Chien Y. C., M. T. Hincke, and M. D. McKee. 2009. Avian eggshell structure and osteopontin. *Cells Tissues Organs* 189: 38-43.
- Collins, L. M. and Part C. E. 2013. Modelling farm animal welfare. *Animals* 3 (2): 416-441.
- Coronado H. M., Vega y León S., Gutiérrez T. R., García F. B. y Díaz G. G. 2006. Los ácidos grasos omega-3 y omega-6: nutrición, bioquímica y salud. *Revista de Educación Bioquímica* 25 (3): 72-79.
- Council Directive (1999) No1999/74/EC: laying down minimum standards for the protection of laying hens. L203/53. <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:203:0053:0057:EN:PDF>. (Consultada en diciembre 2018).
- Dal Bosco A., C. Mugnai, F. Sirri, C. Zamparini, C. Castellini. 2010. Assessment of a global positioning system to evaluate activities of organic chickens at pasture, *The Journal of Applied Poultry Research* 19 (3): 213–218.
- Dal Bosco, A., C. Mugnai, A. Rosati, A. Paoletti, S. Caporali and C. Castellini. 2014. Effect of range enrichment on performance, behavior, and forage intake of free-range chickens. *The Journal of Applied Poultry Research* 23 (2): 137-145.

- Das, A., Das G. M., Md. Islam K. K, Momin MD. M. and Faruk M. O. 2018. Genetic and phenotypic parameter estimates for body weight and egg production at sexual maturity in Hilly×Fayoumi crossbred chickens. *Asian Journal of Medical and Biological Research* 4 (2): 186-192.
- Dawkins, M. S., 2002. How can we recognize and assess good welfare in: Broom, D.M., Coe, C.L., Dallman, M.F., Dantzer, R., Fraser, D., Gartner, K., Hellhammer, D.H., Sachser, N. (Eds.), *Coping with Challenge: Welfare in Animals Including Humans* Dahlem University Press, Berlin, pp: 63–78.
- De los Mozos J. y Sanchez F. 2016. Alimentación de la ponedora en la fase de Pre- Pico de puesta. *aviNews*: <https://avicultura.info/alimentacion-de-la-ponedoras-en-la-fase-de-pre-pico-de-puesta/> . (Consultada en enero del 2019).
- Denli M., Bukun B. and Tutkun M. 2016. Comparative performance and egg quality of laying hens in enriched cages and free-range systems. *Scientific Papers. Series D. Animal Science* 69: 29-32.
- Dominant cz. Final Hybrid. Common Management guide. <http://dominant-cz.cz/wp-content/uploads/2015/04/dominant-final-hybrid-br.pdf>. (Consultada en abril de 2018).
- Dottavio, A. M., y Di Masso, R. J. 2010. Mejoramiento avícola para sistemas productivos semi-intensivos que preservan el bienestar animal. *Journal of Basic and Applied Genetics* 21 (2): 10.
- Elson, A. 2004. The laying hen: systems of egg production. *In: Perry, G. (ed) Welfare of the Laying Hen. Poultry Science Symposium Series, No. 27, CABI. ProQuest Ebook Central* pp: 67-81.
- Elson, H. A. 2015. Poultry welfare in intensive and extensive production systems. *World's Poultry Science Journal* 71: 449-460.
- Engo N., Fuxman A., González C., Negri L., Polenta G. y Vaudagna S. 2015. Desarrollo de las exigencias sobre calidad e inocuidad de alimentos en el mundo (2025). 1a ed. compendiada. - Buenos Aires: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. 288 p.
- Estévez R. R. Ma. 2011. Avicultura de puesta: Situación productiva actual, adaptación legislativa y perspectivas de futuro. *Selecciones avícolas* pp: 7-11.
- Estrada, M. M., Galeano L. F., Herrera M. R., Restrepo L. F. 2010. Efecto de la temperatura y el volteo durante el almacenamiento sobre la calidad del huevo comercial. *Revista Colombiana en Ciencias Pecuarias* 23:183-190.
- Fanatico, A. (2007). *Sistemas Avícolas Alternativos con Acceso a Pastura*. NCAT Especialista. National Sustainable Agriculture Information Service. [www.attra.ncat.org](http://www.attra.ncat.org). (Consultada en enero 2019).

- Fernandez M. S., M. Araya, J. L. Arias. 1997. Eggshells are shaped by a precise spatio-temporal arrangement of sequentially deposited macromolecules. *Matrix Biology* 16: 13-20.
- Figuroa, C. E., M. H. Vega, R. F. Saelzer, G. G. Ríos y H. Rodríguez. 2002. Análisis de la fracción lipídica de la yema de huevos por AMD-HPTLC. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química* 47: 61-66.
- Forkman B. and Keeling L. J. 2009. Assessment of animal welfare measures for dairy cattle, beef bulls and veal calves. *Welfare Quality Reports* 11; 297 p.
- Fouad M. A., Razek A. H. A. and Badawy S. M. 2008. Broilers welfare and economics under two management alternatives on commercial scale. *International Journal of Poultry Science* 7: 1167-1173.
- Fouad, A.M., Chen W., Ruan D., Wang S., Xia W.G. and Zheng C.T. 2016. Impact of heat stress on meat, egg quality, immunity and fertility in poultry and nutritional factors that overcome these effects: A Review. *International Journal of Poultry Science* 15 (3): 81-95.
- Franco-Jimenez, D.J., S.E. Scheideler, R.J. Kittok, T.M. Brown-Brandl, L.R. Robeson, H. Taira and M.M. Beck, 2007. Differential effects of heat stress in three strains of laying hens. *The Journal of Applied Poultry Research* 16: 628-634.
- Fraser, D., Kharb R.M., McCrindle C., Mench J., Paranhos da Costa M., Promchan K., Sundrum A., Thornber P., Whittington P., Song W. 2008. Creación de capacidad para la implementación de buenas prácticas de bienestar animal. Informe de la Reunión de expertos de la FAO. Sede de la FAO, Roma Italia. 62 p.
- Fuentes, P. 2002. Calidad interna del huevo y su conservación. En: *Lecciones sobre huevo*. 1ª ed. Madrid: Instituto de Estudios del Huevo. pp: 57-74.
- García, T. R., Berrocal J., Moreno L., y Ferrón G. 2014. Producción ecológica de gallinas ponedoras. Edita Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. Andalucía, España. 114 p.
- Gómez J.E. y Castañeda C.M. 2010. Evaluación del bienestar animal y comparación de los parámetros productivos en gallinas ponedoras de la línea Hy-line Brown en tres modelos de producción: piso, jaula y pastoreo. *Revista de Ciencia Animal* 3: 9-22.
- Grunert, K. G. 2005. Food quality and safety: consumer perception and demand. *European Review of Agricultural Economics* 32 (3): 369-391.
- Hamilton R. M. G. 1986: The microstructure of the hen's egg – a short review. *Food Microstruct* 5: 99-110.
- Harris E. D., J.E. Blount, R. M. Leach Jr. 1980. Localization of lysyl oxidase in hen oviduct: implications in egg shell membrane formation and composition. *Science* 208: 55-56.

- Hart, R. D. 1985. Agroecosistemas. Conceptos básicos. Centro Agronómico Tropical de investigación y enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 160 p.
- Haugh, R. R., 1937. The Haugh unit for measuring egg quality. US Egg. Poultry Magazine 43: 522-555, 572-573.
- Hegelund, L., Sorensen J.T. and Hermansen J.E. 2006. Welfare and productivity of laying hens in commercial organic egg production systems in Denmark. Journal of Life Sciences 54 (2): 147-155.
- Henry, R. 2002. Organic poultry - eggs. maritime certified organic growers - organic profiles. <https://www.acornorganic.org/media/resources/poultryeggsprofile.pdf>. (Consultada en noviembre del 2018).
- Hernández X., E.1977. Agroecosistemas de México. CP-ENA. 42 p.
- Hernández, A., Ruesga E., Orozco J. R., Serrato-vidrio J. A., Flores-López H. E. 2015. Efecto de la densidad de aves en jaula y energía alimentaria en la producción y calidad de huevo en gallinas Bovans. Revista Iberoamericana de Ciencias 2 (2): 49-52.
- Hernández-Bautista, J., M. I. Pérez-León, A. González-Martínez, Y. Villegas-Aparicio, G. Rodríguez-Ortíz y V. M. Meza-Villalvazo. 2013. Calidad de huevo de cuatro líneas genéticas de gallinas en clima cálido. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4: 1107-1118.
- Hernández-Bautista, Pérez-León J. Ma. I., González-Martínez A., Villegas-Aparicio Y., Rodríguez-Ortíz G y Meza-Villalvazo V. M. 2013. Calidad de huevo de cuatro líneas genéticas de gallinas en clima cálido. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 6: 1107-1118.
- Huyghebaert, G. 2005. Fisiología de la puesta, con énfasis en la calidad de la cáscara. Conferencia de DSM Nutritional Products en Guadalajara, 5 de octubre de 2005. Selecciones avícolas. 2006: 227-230.
- INPROVO. 2018. Noticias del huevo. www. Inprovo com. (Consultada en enero del 2019).
- Instituto del Estudio del Huevo. 2009. El gran libro del huevo. Editorial EVEREST, S.A. España. 173 p.
- Jacob, J. P., Miles, R. D., and Mather, F. B. 2000. Egg quality. Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS), University of Florida. 24 p.
- Jiménez-Moreno, E., González-Alvarado, J. M., Lázaro, R. & Mateos, G. G. 2009. Effects of type of cereal, heat processing of the cereal, and fiber inclusion in the diet on gizzard pH and nutrient utilization in broilers at different ages. Poultry Science 88 (9): 1925–1933.

- Jones B. and Faure J. M. 1981. Sex and strain comparisons of tonic immobility (“righting time”) in the domestic fowl and the effects of various methods of induction. *Behavioural Processes* 6: 47-55.
- Juárez-Caratachea, A., Gutiérrez-Vázquez, E., Segura-Correa, J. y Santos-Ricalde, R. 2010. Calidad del huevo de gallinas criollas criadas en traspatio en Michoacan, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12 (1): 109-115.
- Keener, K. M., McAvoy, K. C., Foegeding, J. B., Curtis, P. A., Anderson, K. E., & Osborne, J. A. (2006). Effect of testing temperature on internal egg quality measurements. *Poultry Science* 85 (3): 550-555.
- Krawczyk, J. and Gornowicz E. 2010. Quality of eggs from hens kept in two different free-range systems in comparison with a barn system. *Arch. Geflügelk.* 74: 7.
- Krawczyk, J., Sokołowicz Z. and Szymczyk B. 2011. Effect of housing system on cholesterol, vitamin and fatty acid content of yolk and physical characteristics of eggs from Polish native hens. *Arch.Geflügelk.* 75: 151–157.
- Lambton, S. L., Knowles T. G., Yorke C. and Nicol C. J. 2010. The risk factors affecting the development of gentle and severe feather pecking in loose housed laying hens. *Applied Animal Behaviour Science* 123: 32-42.
- Lay, Jr. D. C., Fulton, R. M., Hester, P. Y., Karcher, D. M., Kjaer, J. B., Mench, J. A., Mullens, Lazzari, G.L., Cossu, M.E., Cumini, M.L. y Basilio, A.M. 2007. Productividad y calidad de carcasa en pollos parrilleros criados a parque vs confinamiento. *Revista Argentina de Producción Animal* 27: 11-16.
- León, S.T. 2012. Agroecología: la ciencia de los agroecosistemas – la perspectiva ambiental. Universidad Nacional de Colombia – Instituto de Estudios Ambientales 261 p.
- Lewis, J. C., Snell, N. S., Hirschmann, D. J. and Fraenkel-Conrat, H. (1950). Amino-acid composition of egg proteins. *Journal of Biological Chemistry* 186: 23-35.
- López-Ramírez I., Jerez-Salas M. P., Clemente-Herrera O, Vásquez-Dávila M.A., López-Luis D., Melchor-García A. 2016. Calidad de huevos de gallinas criollas alimentadas con plantas silvestres (quelites) en Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 3: 78-80.
- Lordelo, M., Fernandes E., Bessa R. J. B. and Alves S. P. 2017. Quality of eggs from different laying hen production systems, from indigenous breeds and specialty eggs. *Poultry Science* 96 (5): 1485–1491.
- Lu, Y., Cranfield J., Widowski T. 2013. Consumer Preference for Eggs from Enhanced Animal Welfare Production System: A Stated Choice Analysis. Presentación en el Centro Agrícola y Aplicado. Reunión Anual Conjunta AAEA y CAES de las Asociaciones de Economía. Washington, DC, 4-6 de agosto. <https://atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/handle/10214/7467>. (Consultada en enero del 2019).



- Martín G. N. 2015. Calidad del huevo. Veterinaria digital. <https://www.veterinariadigital.com/articulos/calidad-interna-del-huevo/> (Consultada en marzo del 2019).
- Mench, J. A., Tienhoven A. V., Marsh J. A., McCormick C. C., Cunningham D. L., Baker C. 1986. Effects of cage and floor pen management on behavior, production, and physiological stress responses of laying hens. *Poultry Science* 65 (6): 1058-1069.
- Mierzwa-Hersztek, M., K. Gondek and A. Baran. 2016. Effect of poultry litter biochar on soil enzymatic activity, ecotoxicity and plant growth. *Applied Soil Ecology* 105: 144-150.
- Mine, Y.; Kovacs-Nolan, J. 2004. Recent advances in eggs protein functionality in the food system. *World's Poultry Science Journal* 58: 31-39.
- Monira, K. N., Salahuddin M. and Miah G. 2003. Effect of Breed and Holding Period on Egg Quality Characteristics of Chicken. *International Journal of Poultry Science* 2 (4): 261-263.
- Morales R. and M. David. 2012. El costo final del huevo en gallinas ponedoras White Leghorn y su relación con indicadores nutricionales de la fórmula de la ración. *REDVET - Revista Electrónica de Veterinaria* 13 (6): 11 p.
- Mugnai, C., Dal Bosco A., Moscati L., Battistacci L. and Castellini C. 2011. Effect of Genotype and Husbandry System on Blood Parameters, Oxidative and Native Immune Status: Welfare and Implications on Performance of Organic Laying Hens. *The Open Veterinary Science Journal* 5: 12-18.
- Muñoz, D. 2016. Gallinas libres huevos caros. *El Financiero*. 16/12/2016. <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/gallinas-libres-huevos-caros.html>. (Consultada en mayo del 2019).
- Newberry B. A., Nicol R. C., O'sullivan, N. P. and Porter, R. E. 2011. Hen welfare in different housing systems. *Poultry Science* 90, 2: 278-294.
- Nicol, C. J., Gregory, N. G., Knowles, T. G., Parkman, I. D. and Wilkings, L. J. (1999). Differential effects of increased stocking density, mediated by increased flock size, on feather pecking and aggression in laying hens. *Applied Animal Behaviour Science* 65 (2): 137-152.
- Nicol, C. J., y A. Davies. 2013. Bienestar de las aves de corral en los países en desarrollo. In: FAO (comp). *Revisión del Desarrollo Avícola*. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). pp: 116-120. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/i3531s/i3531s.pdf>. (Consultado en diciembre del 2018).
- Nieto, S. I. C., Mora A. J. N. 2016. Review: deficiencias estimation on egg quality. *Revista especializada en ingeniería*. 11, 1. <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/2250/2430>. (Consultada en enero del 2019).

- NMX-FF-079-1991. Poultry products. Fresh hen egg. Specifications. Normas mexicanas. Dirección General de Normas. <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-079-1991.PDF> (Consultada en marzo del 2019).
- NORMA Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995, Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres. <http://www.cuautitlan.unam.mx/descargas/cicuae/normas/Norma033.pdf>, (Consultada en enero del 2019).
- Nyberg, J. 2017. Analysis of Fatty Acids in Egg Yolks of Various Production Systems. Sveriges lantbruksuniversitet Swedish University of Agricultural Sciences. Independent project/degree project in Food Science - Master's thesis. 43 pg. En : <http://stud.epsilon.slu.se>. (Consultada en abril del 2019).
- Oberholtzer, L., Greene, C. and López, E. 2006. Organic poultry and eggs capture high price premiums and growing share of specialty markets. Outlook report from the economic research service. United States Department of Agriculture LDP-M-150-01, <https://naldc.nal.usda.gov/download/41260/PDF>. (Consultada en diciembre del 2018).
- Odén K., L.J. Keeling and B. Algers. 2002. Behaviour of laying hens in two types of aviary systems on 25 commercial farms in Sweden. *British Poultry Science*. 43 (2): 169-181.
- OIE. Organización Mundial de Sanidad Animal. 2018. Bienestar animal y sistemas de producción de pollos de engorde. Código Sanitario para los Animales Terrestres. En [http://www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Health\\_standards/tahc/current/chapitre\\_aw\\_broiler\\_chicken.pdf](http://www.oie.int/fileadmin/Home/esp/Health_standards/tahc/current/chapitre_aw_broiler_chicken.pdf) (Consultada diciembre del 2018).
- Özbey, O. and Esen F. 2007. The Effects of Different Breeding Systems on Egg Productivity and Egg Quality Characteristics of Rock Partridges. *Poultry Science* 86 (4): 782–785.
- Pardal C. D. V. 2012. Obtención de biodiesel por transesterificación de aceites vegetales: nuevos métodos de síntesis (Tesis Doctoral), Universidad de Extremadura Facultad de Ciencias Departamento de Ingeniería Química y Química Física.
- Peralta, V. A., Patiño P. R., Arrieta C, K. 2016. Desempeño productivo y conductas etológicas de gallinas ponedoras en tres tipos de manejo en condiciones de trópico cálido. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA* 8: 310-318.
- Perić L., Đukić S. M. and Bjedov S. 2017. The effect of storage and age of hens on the quality of table eggs. *Advanced Research In Life Sciences* 1 (1): 64-67.
- Połtowicz, K., and Doktor J. 2012. Effect of slaughter age on performance and meat quality of slow-growing broiler chickens. *Annals of Animal Science* 12 (4): 621–631.

- Posadas, H. E., Sánchez R. E., Ávila G. E., Téllez I. G y Salmerón S. F. 2005. Comportamiento de algunas características productivas, estrés y resistencia a *Salmonella enteritidis* en aves semipesadas bajo dos sistemas de producción. *Veterinaria México* 36 (2): 205-215.
- Prager, M., Restrepo J., Angel D., Malangón R. y Zamorano A. 2002. Agroecología. Una disciplina para el estudio y desarrollo de sistemas sostenibles de producción agropecuaria. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. Palmira, Colombia: 333 p.
- Puchała, M., Krawczyk J., Sokołowicz Z. and Utnik-Banaś K. 2015. Effect of breed and production system on physicochemical characteristics of meat from multi-purpose hens. *Annals of Animal Science* 15 (1): 247–261.
- Raigón, M. D., Martínez, M. G., y Esteve, P. 2006. Valoración de la calidad del huevo de granja ecológica e intensiva. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola, 1-10. En file:///C:/Users/ekt/Downloads/VALORACION\_DE\_LA\_CALIDAD\_DEL\_HUEVO\_DE\_GRANJA\_ECOLO.pdf. (Consultada en marzo del 2019).
- Rivera P. W. 2013. Rendimientos productivos, reproductivos y sanitarios utilizados como indicadores de bienestar animal. *Nutrición Animal Tropical* 7 (1): 14-24.
- Roberts, J. R. 2004. Factors affecting egg internal quality and egg shell qualite in laying hens. *Journal of Poultry Science* 41: 161-177.
- Rodenburg, B. T., Frank A.M. Tuyttens, Bart Sonck, Koen De Reu, Lieve Herman and Johan Zoons. 2005. Welfare, Health, and Hygiene of Laying Hens Housed in Furnished Cages and in Alternative Housing Systems. *Journal of Applied Animal Welfare Science* 8 (3): 211-226.
- Ruiz-Rosado, O., Olguín-Palacios, C., Álvarez-Ávila, M. C. y Fajersson, P. 2004. El enfoque en agroecosistemas ante los retos sociales. Memorias del Primer Coloquio sobre Agroecosistemas y Sostenibilidad. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Octubre 27.
- Rushen, J., 2000. Some issues in the interpretation of behavioural responses to stress. In: Mench, J., Moberg, J. (Eds.). *The Biology of Stress*. CAB International, Wallingford, UK, pp: 23–42.
- SAGARPA 2013. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Diario Oficial de la Federación 29 octubre de 2013.
- Salas, M. Manteca X. 2016. Evaluación del bienestar en animales de zoológico: indicadores basados en el animal. Ficha técnica sobre bienestar en animales de zoológico. <https://www.zawec.org/es/>. (Consultada en enero del 2019).
- Salvador, T. E. 2018. Calidad interna del huevo: causas y manejo de la incidencia de manchas de sangre, carne en yema, clara de huevo de gallinas de postura comercial. *Actualidad Avipecuaria*. <http://www.actualidadavipecuaria.com/articulos/calidad-interna-del-huevo->

causas-y-manejo-de-la-incidencia-de-manchas-de-sangre-carne-en-yema-clara-de-huevo-de-gallinas-de-postura-comercial.html. (Consultada en abril del 2019).

- Samiullah, S., Omar A. S., Roberts J. R. and. Chousalkar K. 2016. Effect of production system and flock age on egg quality. 27th Annual Australian Poultry Science Symposium. Sydney, New South Wales pp. 133-136.
- Samman S., Piu K. F., Carter L. M., Foster M. J., Ahmad Z. I., Phuyal J. L. and, Petocz P. 2009. Fatty acid composition of certified organic, conventional and omega-3 eggs. *Food Chemistry* 116: 911–914.
- Sarandon J. S. y C. C. Flores 2014. Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de la Plata. 4. pp: 100-130.
- Sastre, G. A., Sastre G. R. M., Tortuero C F., Suárez F. G., Vergara G. G. y López N. C. 2002. Lecciones sobre el huevo. Edita: Instituto de Estudios del Huevo. Madrid España. 176 Pg. En <http://institutohuevo.com/wp-content/uploads/2017/07/Lecciones-del-huevo-completo.pdf>. (Consultada en abril del 2019).
- Şekeroğlu, A., Sarica M., Demir E. and Saatci M. 2010. Effects of different housing systems on some performance traits and egg qualities of laying hens. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 9 (12): 1739-1744.
- Sherwin, C. M., Richards G.J. and Nicol C.J. 2010. Comparison of the welfare of layer hens in 4 housing systems in the UK. *British Poultry Science* 51 (4): 488-499.
- Shields, S. and Greger M. 2013. Animal welfare and food safety aspects of confining broiler chickens to cages. *Animals* 3 (2): 386-400.
- Shields, S., and Duncan, I. J. 2009. A comparison of the welfare of hens in battery cages and alternative systems. The Humane Society Institute for Science and Policy Animal Studies Repository: 28 p.
- Skrivan, M. and Englmaierova M. 2014. The deposition of carotenoids and tocopherol in hen eggs produced under a combination of sequential feeding and grazing. *Animal Feed Science and Technology* 190: 79–86.
- Sloan D. R., G. Kidder, and R.D. Jacobs. 2003. Poultry manure as a fertilizer. PS1 IFAS Extension. University of Florida: 241 p.
- Sogunle, O. M., Olaniyi, O. A., Shittu, T. A. and Abiola, S. S. 2012. Performance and meat attributes of chickens reared on deep litter and free range. *Archivos de Zootecnia* 61 (236): 569-576.

- Sokołowicz, Z., Dykiel M., Krawczyk J., Augustyńska-Prejsnar A. 2019. Effect of layer genotype on physical characteristics and nutritive value of organic eggs. *CyTA - Journal of Food* 17 (1): 11-19.
- Sorensen P. 2001. Breeding strategies in poultry for genetic adaptation to the organic environment. In: Hovi M and Baars T (eds.), *Breeding and feeding for animal health and welfare in organic livestock systems, Proceedings of the Fourth NAHWOA Workshop* (Wageningen, The Netherlands: Network for Animal Health and Welfare in Organic Agriculture, pp: 51-61.
- Soriano, A., y Aguiar, M. R. (1998). Estructura y funcionamiento de los agroecosistemas. *Ciencia e Investigación* 50 (1): 63-73.
- Subdirección General de Productos Ganaderos. 2017. El sector de la avicultura de puesta en cifras. Principales indicadores económicos en 2016. Publicado en <http://agricultura.gencat.cat/web/>. (Consultada en febrero del 2019).
- Tauson, R. 2005. Management and housing systems for layers – effects on welfare and production. *World's Poultry Science Journal* 3: 477-490.
- Thornton, P. K. 2010. Livestock production: recent trends, future prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 365, 2853–2867.
- 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): 490–498.
- Turner, P. V. 2013. Efectos del tipo de piso del nido y el suministro de yacija en las jaulas enriquecidas: Investigación-ficha n 1.051. *Selecciones Avícolas* 55(9): 45.
- Van Elswyk, M. 1997. Comparison of n-3 fatty acid sources in laying hen rations for improvement of whole egg nutritional quality: A review. *British Journal of Nutrition* 78 (1): 61-69.
- Van Horne, P. 2006. Comparación de los sistemas de alojamiento para ponedoras: valoración económica. *Poultry International* 45: 22-25.
- Wang, X. L., Zheng J. X., Ning Z. H., Qu L. J., Xu G. Y., and Yang N. 2009. Laying performance and egg quality of blue-shelled layers as affected by different housing systems. *Poultry Science* 88 :1485–1492.
- Webster, A. B. 2004. Welfare implications of avian osteoporosis. *Poultry Science* 83 (2): 184-192.
- Weitzenbürger D. Vits A. Hamann H. Hewicker-Trautwein M. Distl O. 2006. Macroscopic and histopathological alterations of foot pads of laying hens kept in small group housing systems and furnished cages. *British Poultry Science* 47: 533- 543.

- Welfare Quality. 2009. Welfare Quality assessment protocol for cattle. Welfare quality consortium, Lelystad, Países Bajos. En <http://www.welfarequality.net/> (Consultada en enero del 2019).
- Winckler, C. and S. Willen. 2001. The reliability and repeatability of a lameness scoring system for use as an indicator of welfare in dairy cattle. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A-Animal Science* 51: 103-107.
- Yenice, G., Kaynar O., Ileriturk M., Hira F. and Hayirli A. 2016. Quality of eggs in different production systems. *Czech Journal of Food Science* 34 (4): 370–376.
- Yilmaz D. B., Ipek A., Sahan U., Petek M. and Sözcü A. 2016. Egg production and welfare of laying hens kept in different housing systems (conventional, enriched cage, and free range). *Poultry Science* 95:1564–1572.
- Yilmaz, D. B., İpek A., Şahan U., Sözcü A., Süleyman and Baycan S. C. 2017. Impact of different housing systems and age of layers on egg quality characteristics. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 41: 77-84.
- Yilmaz, D. B., İpek A., Şahan Ü., Petek M. and Sözcü A. 2016. Egg production and welfare of laying hens kept in different housing systems (conventional, enriched cage, and free range). *Poultry Science* 95 (7): 1564-1572.
- Zhao, Z. G., Li J. H., Li X. and Bao J. 2014. Effects of Housing Systems on Behaviour, Performance and Welfare of Fast-growing Broilers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 27 (1): 140-146.