



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**LAS GALLINAS CRIOLLAS DE MÉXICO COMO
MODELO SOSTENIBLE EN PRODUCCIÓN DE HUEVO:
CARACTERIZACIÓN DE SU ÉXITO REPRODUCTIVO
EN INCUBACIÓN ARTIFICIAL**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

P R E S E N T A:

ABIAEL ALEXIS ILLESCAS COBOS

DIRECTOR: DR. FERNANDO GONZÁLEZ CERÓN

ASESOR: DR. ARCADIO MONROY ATA



Ciudad de México, Noviembre – 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*A memoria de un ser admirable,
esencialmente una mujer valerosa y formidable hasta el final.
Con gran dedicatoria a mi madre hermosa.*

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Mi primer agradecimiento es obligatoriamente a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), escuela de carácter público a la que he pertenecido desde el año 2009 y a la cual le debo mi esencia como estudiante, mi orgullo como profesionista, así como mis logros y distinciones académicas.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, la Universidad Autónoma de Chapingo y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por su apoyo brindado dentro de sus instalaciones para la realización de mi proyecto de titulación.

Al Programa Líderes en Desarrollo 2020 de la Fundación Mexicana para la Educación, la Tecnología y la Ciencia (FUNED) en colaboración con Becas Santander por aportarme vinculaciones institucionales (ANUIES, FESE y ThePowerMBA) que fueron instrumento de orientación en la búsqueda del proyecto correcto para concluir mis estudios de licenciatura.

A MI DIRECTOR DE TESIS Y SINODALES DEL COMITÉ:

Al Dr. Fernando González Cerón, director principal. Le agradezco el otorgarme su confianza para proponer y desarrollar mi tesis con cierto grado autonomía, su paciencia para orientarme y corregirme en las decisiones alrededor de la investigación a fin de lograr los objetivos planteados. También le agradezco el involucrarme a la par del desarrollo de mi tesis en otros proyectos para mi crecimiento como profesionista investigador.

Al Dr. Arcadio Monroy Ata mi asesor interno en la FES Zaragoza y parte del comité tutorial, gracias por sus observaciones tan valiosas a mi trabajo y su guía alrededor de los tramites de titulación. Su valiosa orientación contribuyo esencialmente a la redacción en forma de este proyecto.

A la Mtra. María Cristina Alvarado Domínguez, gracias por aceptar fungir dentro de mi comité tutorial, por alentarme en la presentación de este proyecto y siempre su amable atención.

A la Mtra. María Beatriz Martínez Rosales le agradezco que durante mi paso por la carrera siempre me alentó a buscar programas de becas y ser más ambicioso en el buen sentido académico, en definitiva, me alegra que usted haya formado parte de este comité de titulación.

A la Biól. Yolanda Cortes Altamirano le agradezco que siempre me brindo su ayuda desde la realización de mi servicio social, de igual manera me causa satisfacción el tenerla presente como parte de mis sinodales.

AGRADECIMIENTOS PERSONALES.

A Gemma Cobos Martínez, mi madre quien me enseñó que si la vida te pone de rodillas en diversas situaciones no es motivo para agachar la mirada y darse por vencido, por el contrario, tiene que ser motivo de impulso, de coraje y generar voluntad. Se que en cada proyecto de investigación en el que he participado tu espíritu ha sido mi guía.

A Abiael Illescas Cid, padre te agradezco por siempre apoyarme económicamente y por siempre transmitir orgullo hacia mi hermana y hacia a mí. Eres un ejemplo de serenidad y prudencia, te quiero.

A Mónica Nallely Illescas Cobos, mi hermana linda, gracias por animarme constantemente al punto de presionarme para concluir mi titulación, por la amistad y el apoyo que me has brindado en temas emocionales e inclusive económicos, y si realmente escribiera todo por lo que debo agradecerte confundirían este párrafo con el resumen del proyecto. Por ello espero ponderes nuevamente mi expresión de ¡Mil gracias!.

Al Dr. Arturo Pro Martínez y el Dr. Diego Zarate, les agradezco el incluirme en su equipo de investigación dentro del Colegio de Postgraduados sin duda ello ha contribuido a mejoras personales y profesionales en mi vida.

A las maestras Yolanda Flores, Graciela Rojas, Eva María Bravo y Guadalupe Bribiesca les agradezco su inmenso apoyo y compromiso como responsables de los procesos de titulación su ayuda me permitió tener sueños tranquilos con respecto a esta etapa.

A mis compañeros y amigos tesisistas del Colegio de Postgraduados: Gerardo, Pablo, Gustavo, Gisselle y Bere, ustedes me han mostrado el significado de compañerismo (brindándome su apoyo real incluso en temas personales) y trabajo en equipo, gracias por las consideraciones al biólogo amante de las miles teorías sobre gallinas.

A los jóvenes estudiantes de la Universidad Autónoma de Chapingo: Mariela, Suleima, Sara, Oyuki y Elías, y de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí: Lucía, Camilo, Brenda, Liz y Nallely, siempre fue un gusto coincidir con ustedes en el INIFAP y ver su entusiasmo de trabajo con las gallinas, sé que ustedes lograran grandes distinciones académicas.

Un estudiante no lograría concluir la licenciatura sin algo de diversión y aventura, Diana Morales, Miguel Juárez y Julio Gutiérrez, ustedes en definitiva fueron las amistades adecuadas en acompañarme a ello, muchas gracias.

La biología es la ciencia que estudia y trata de responder el misterioso fenómeno de la vida y sus relaciones a través de las explicaciones más lógicas posibles, sin embargo, como mexicano, así como miembro de una familia de orígenes oaxaqueños donde nuestra esencia es la cultura y las tradiciones siento la obligación de agradecerle a Dios y a la naturaleza misma por los recursos naturales que nos brinda para subsistir y que fueron motivo de estudio en esta tesis.

...incluso la lluvia está planeada para que en ella pueda brillar un arcoíris.

Hyde Takarai

L'Arc~en~Ciel Live Ajinomoto Stadium

Índice

| | |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| RESUMEN | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 2 |
| Avicultura en México | 5 |
| Caracterización de incubabilidad | 6 |
| Planteamiento del problema y preguntas de investigación..... | 9 |
| OBJETIVOS | 10 |
| General | 10 |
| Particulares | 10 |
| MATERIALES Y MÉTODOS | 10 |
| Lugar de trabajo..... | 10 |
| Población de estudio | 11 |
| Obtención de huevo incubable e incubación | 11 |
| Variables evaluadas..... | 11 |
| <i>Macroestructura del huevo</i> | <i>12</i> |
| <i>Embriodiagnóstico.....</i> | <i>12</i> |
| <i>Pérdida del peso del huevo y peso del pollito al nacer</i> | <i>13</i> |
| Análisis estadístico..... | 13 |
| <i>Análisis de conglomerados – Cluster.....</i> | <i>14</i> |
| RESULTADOS | 15 |
| Macroestructura del huevo..... | 15 |
| Embriodiagnóstico..... | 18 |
| Pérdida de peso del huevo y peso del pollito al nacer..... | 19 |
| DISCUSIÓN | 21 |
| CONCLUSIONES | 25 |
| LITERATURA CITADA..... | 25 |

RESUMEN

Las gallinas Criollas Mexicanas presentan una amplia variación de sus características morfométricas que van desde la forma del ave hasta la forma, peso y talla de los huevos que ponen. Asimismo, son de alta importancia para los sistemas tradicionales de crianza de las poblaciones rurales e indígenas del país, por sus adaptaciones al medioambiente, el impulso de economías locales, así como la seguridad alimentaria que ofrecen a través del aporte de proteína de carne y huevo; Estas características sugieren tener potencial dentro de la sostenibilidad ecológica. Sin embargo, han recibido poca atención en evaluaciones productivas, como lo es la obtención de nuevas generaciones a través de incubación artificial. El objetivo de este estudio fue caracterizar el desempeño reproductivo en incubación artificial, describiendo su variación morfométrica de los huevos y sus agrupaciones por similitud, así como analizar los datos respecto a su porcentaje de fertilidad, muerte embrionaria y porcentaje de nacimiento. Para ello a partir de una población experimental de gallinas Criollas Mexicanas ubicada en las instalaciones avícolas del Colegio de Postgraduados en Texcoco, Estado de México, se obtuvieron un total de 2778 huevos de los cuales se tomaron medidas de peso, largo, ancho, color, índice de forma, volumen, así como el área y fueron agrupados mediante el análisis multivariado de cluster. Se dispusieron 2671 huevos a incubación repartidos en ocho bloques y se realizó análisis embriodiagnóstico al día 12, 18 y 21.

Los resultados obtenidos con base al análisis multivariado de cluster definieron tres grupos de huevos agrupados principalmente por la variable de color. Del análisis embriodiagnóstico se registró un porcentaje de fertilidad del 76.46 %, se evidenciaron dos picos de muerte embrionaria y un porcentaje de nacimiento del 21.61 %. Se concluye que estos resultados muestran las principales agrupaciones que existen con respecto a las características morfométricas del huevo puesto por gallinas Criollas Mexicanas y la necesidad de seguir realizando mayores estudios de selección para aumentar el porcentaje de nacimiento y así poder proponerlas dentro de un modelo sostenible de producción de huevo.

INTRODUCCIÓN

La avicultura es la actividad ganadera de mayor crecimiento y demanda a nivel mundial, involucrada directamente en la alimentación humana con su aporte de proteína, micronutrientes y ácidos grasos de calidad, a través de la carne o huevo; asimismo, esta actividad promueve el desarrollo económico y la inclusión social, cultural, de edad y de género, además de tener potencial en la sostenibilidad ecológica (FAO, 2013). Tal es su crecimiento que se estima que, por ejemplo, la gallina a nivel de individuo actualmente supera al ser humano en una proporción de 2.5 a 1 en todo el mundo, su población mundial se concentra en un 50% dentro de Asia, un 25% en América Latina y el Caribe, más del 13% se halla en Europa y el Cáucaso, seguidos por África con el 7%. Estadísticas que convierten a la gallina como la especie de interés zoogenético de mayor variabilidad, distribución e historia adaptativa a nivel global (FAO, 2010; FAO, 2013).

Históricamente la gallina fue descrita por Linneo en 1758 nombrándola especie doméstica del gallo salvaje de la india *Gallus gallus domesticus*, sin embargo, para ser solo una especie, su plasticidad genética-fenotípica es tan diversa que actualmente la Agencia de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) reconoce 1132 razas de gallinas en el mundo, con el continente europeo liderando la mayor concentración de razas con 608, mientras que en América Latina se reconocen 84 (FAO, 2010).

«Una raza o ecotipo se define como un grupo subespecífico de una especie de ganado con características externas definibles e identificables que permitan separarlo por inspección visual de otros grupos definidos de manera semejante, o bien un grupo cuya separación geográfica y/o cultural de grupos fenotípicamente similares ha llevado a aceptar una identidad separada» (FAO, 2010).

El término local o autóctona se le añade a una raza cuando se registra dentro Banco Mundial de Recursos Zoogenéticos de la FAO para un solo país, aunque el dato específico para gallinas reporta 1132 razas alrededor del mundo, la realidad es que la información completa sobre cada raza es muy deficiente y en algunos casos no existen investigaciones activas alrededor de ellas. En Latinoamérica las gallinas criollas son descritas fenotípicamente como aquellas en las que no reconocen patrones específicos, pues han resultado de múltiples cruces; por ello, pueden expresar múltiples rasgos físicos aun cuando

desciendan del cruce de un solo progenitor como lo son ausencia de plumas en el cuello, tarsos emplumados, copete, barbas, multiplicidad de colores sólidos y colores barrados, plumas rizadas o lisas, entre otros caracteres (Duran y Perucho, 2014; Cuca-García *et al.*, 2015) (Figura 1).



Figura 1. Ejemplo de algunos fenotipos presentados por gallinas criollas en México, donde se observa la diversidad en patrón de plumaje, color de patas, altura y tipo de cresta. a) se observa gallina de con mayor cantidad de plumaje de color solido con ligero patrón de forma alrededor de la cabeza, tarsos emplumados, cresta pequeña en forma de cierra, b) se muestra una gallina de plumaje rizado con color solido sin patrones, tarsos sin plumas y cresta grande en forma de sierra.

La FAO y diversos autores han expresado su preocupación por la conservación de las razas locales dado que representan un recurso zoogenético con gran importancia en los sistemas productivos de traspatio y libre pastoreo de la región, producto de su historia de adaptación ecológica (Grimal y Gómez, 2007; FAO, 2010; FAO, 2013; Pym, 2013; Cuca-García *et al.*, 2015; Villacís *et al.*,

2016; Hernández-Ortega *et al.*, 2017; Montes *et al.*, 2019; González-Ariza *et al.*, 2020). Amenazadas en su diversidad genética por la incorporación de genes de razas exóticas que afecten su actual adaptación al medio ambiente, pudiendo causar vulnerabilidad a enfermedades emergentes y extinción futura. En respuesta a esta preocupación de conservación la FAO, a través Organización de las Naciones Unidas (ONU), expuso el tema en la Conferencia Anual sobre el Cambio Climático del año 2010 (COP 10), para impulsar el registro y caracterización de las razas autóctonas y criollas dentro de los objetivos del Convenio Internacional de la Diversidad Biológica, buscando ampliar el conocimiento de los recursos zoogenéticos en el mundo para su mantenimiento, conservación, producción y aumento de su potencial de sostenibilidad (FAO, 2010).

Actualmente en tema de sostenibilidad ecológica la Organización de las Naciones Unidas (ONU) busca combatir los efectos del cambio climático a través de su propuesta de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La producción avícola-ganadera a campo abierto se posiciona como un sector clave en el desarrollo y cumplimiento de varios ODS como lo son: 1. Fin de la pobreza, 2. Hambre cero, 3. Salud y bienestar, 5. Igualdad de género, 9. Industria sostenible, 12. Consumo responsable, 13. Acción climática y 15. Ecosistemas terrestres. En donde se busca que la producción de huevo y carne se ubique en sistemas que impulsen la involucración de economías circulares, el bienestar ecológico y la integración social (FAO, 2017).

A la par, la producción de huevo de gallinas a libre pastoreo no solo satisface las nuevas corrientes internacionales de sostenibilidad, también cumple con las normas internacionales de bienestar animal que describen las condiciones óptimas en que los animales se produzcan, vivan y mueran. Estas normas se basan en cuatro principios: 1) alimentación adecuada (requerimientos nutricionales según la edad, presentación, horarios y raciones), 2) alojamiento (espacios propicios para recreación, confinamiento térmico adecuado y acondicionamiento ambiental), 3) salud (preventiva, reproductiva y de mantenimiento) y 4) comportamiento propio de la especie desarrollada de manera libre. Si bien estas normas se alejan de las ideas extremistas del animalismo para su cumplimiento, obligatoriamente se contraponen con el mantenimiento enjaulado de las gallinas en sistemas intensivos para producción de huevo, al mantener limitada el área de contención de una especie aviar y evitar comportamientos ligados a su afinidad con el campo abierto (OIE, 2019).

México aceptó promover y desarrollar estas nuevas corrientes de sostenibilidad con su incorporación en septiembre del 2015 al convenio de los ODS. Para ello el país requiere involucrarse e impulsar la avicultura a campo abierto que cumpla con el bienestar animal, la calidad ecológica distintiva de un producto alimentario, la salud humana y la protección medioambiental; donde se exija que se incluya una gama más amplia de criterios en los programas productivos de gallinas. Sin embargo, el alto requerimiento de huevo por parte de su población y la diversidad climática del territorio vuelve muy complejo elegir alguna línea racial de alta productividad que se adapte a su manutención en campo abierto, dado que la selección genética en varios casos las ha llevado a no ser aptas a desarrollarse de manera óptima en sistemas de libre pastoreo o traspatio. Por ello, las gallinas se muestran más susceptibles a enfermedades por cambios en las condiciones meteorológicas, a la depredación y son menores explotadoras de los recursos (Hoffmann, 2005). Las gallinas criollas se sobreponen a estas limitaciones revalorándose como recurso zoogenético clave para pasar de un sistema productivo de alto insumo a uno de menor insumo, ecológico y sostenible (FAO, 2010).

Avicultura en México

Evidencias arqueológicas sugieren que la domesticación de las gallinas comenzó hace 8 000 años en China e India, posteriormente se expandieron hacia Europa occidental posiblemente a través de Rusia (FAO, 2013). Se considera que la gallina fue el primer animal europeo en pisar el continente americano, dado que Cristóbal Colón embarcó aves en su segundo viaje porque ocupaban poco espacio, su alimentación no era complicada y además producían huevos para alimento de los tripulantes. A la llegada de los españoles a América encontraron que en el territorio mexicano ya se había desarrollado una avicultura alrededor de la domesticación del guajolote (*Meleagris gallopavo*) por las civilizaciones mesoamericanas quienes adoptaron rápidamente la crianza de las gallinas y las incorporaron a su tradicional forma de crianza (Camacho-Escobar *et al.*, 2011; Ángel-Hernández, 2014; Cuca-García *et al.*, 2015 y Luis-Chincoya *et al.*, 2018).

Desde entonces hasta la actualidad, en la región rural del país se muestra una frecuencia alta de familias que mantienen gallinas criollas en sistemas tradicionales de crianza de traspatio para consumo de proteína (Cuca-García *et al.*, 2015; Hernández-Ortega *et al.*, 2017). Este sistema es conocido como aquel espacio productivo y diverso de campo abierto con que cuentan algunas familias

de zonas rurales e indígenas, para la producción de recursos alimentarios de subsistencia y estabilidad económica (Juárez-Caratachea y Ortiz, 2001; Cuca-Martínez *et al.*, 2015). En los últimos años, se ha observado la sustitución de estas aves criollas por razas exóticas que son promovidas dentro de programas privados y gubernamentales (Hernández-Ortega *et al.*, 2017).

Actualmente a nivel global el país está considerado como el número uno en adquisición de huevo; su consumo per cápita en el año 2020 fue de 23.22 kilos, lo que representaría un aproximado de 350 de huevos por persona consumidora al año. Sin embargo, la mayor producción de huevo se concentra en sistemas intensivos con gallinas enjauladas dentro de cinco principales estados: Jalisco, Puebla, Sonora, Durango y Coahuila (UNA, 2019), limitando el posicionamiento y desarrollo económico de la avicultura de campo abierto. Aun así, la demanda de alimentos con denominaciones de calidad distintiva ecológica y trazabilidad alimentaria va en aumento, lo que permite que la producción de huevo a campo abierto alcance mayor desarrollo en los últimos años.

El huevo de gallinas en vida libre es el alimento de origen animal más ofertado y de importancia en la nutrición humana (Farrel, 2013). Adicionalmente, la mercadotecnia global ha establecido que la presentación del huevo sea clave en el éxito de venta, impulsando que los huevos con colores de cascarón ajenos al blanco como lo son el marrón, beige, verde e inclusive azul se vuelvan más aceptables como colores propios de gallinas criadas en libertad (Paredes *et al.*, 2019; Rodríguez-Ortega *et al.*, 2020).

Las gallinas criollas cubren estos requerimientos de producción con sus atributos de adaptación ecológica como lo es el aprovechamiento del forraje en campo abierto y la resistencia medioambiental. Sin embargo, la investigación alrededor de estas gallinas se centra en su estudio como reservorio zoogenético natural (Juárez-Caratachea *et al.*, 2010; Sossidou *et al.*, 2011; Villacís *et al.*, 2016; Galíndez y Blanco, 2017; Gonzales-Ariza *et al.* 2020), y son muy pocos datos los publicados que existen sobre evaluación y gestión como modelo de producción sostenible (Samiullah *et al.*, 2016).

Caracterización de incubabilidad

Una de las mayores limitaciones en la producción avícola es la generación de nuevas pollitas a través del proceso natural de incubación con gallinas en estado de clueques (empollamiento de huevos), dado que en este proceso la gallina tiene que desarrollar en primera instancia el instinto por incubar sus huevos,

posteriormente pasará un periodo de 21 días empollando los huevos que se encuentran vulnerables a ser rotos en momentos donde la gallina se levante a alimentarse o por un movimiento imprevisto. Durante este periodo de incubación la gallina también está sujeta a un estrés natural donde su alimentación se reduce ampliamente volviéndola susceptible a enfermedades de desnutrición y parasitismo. Posteriormente a la eclosión de los polluelos la gallina pasará un periodo mayor a 30 días en labor de crianza y recuperación de su peso antes de volver a poner un huevo.

La incubación artificial de huevo de gallinas ofrece disminuir esta limitación al producir nuevas generaciones de pollos manteniendo controles de calidad y garantizando la sostenibilidad de la industria. Desde la época del antiguo Egipto los principios de la incubación artificial se fueron asentando; ellos utilizaban casetas de adobe que calentaban a través de hogueras, colocaban yutes húmedos sobre los huevos para mantener cierto grado de humedad y realizaban volteo de los huevos de forma manual dos veces por día, asimilando el proceso natural de incubación realizado por gallinas cluecas (Boleli *et al.*, 2016). La incubación mecánica no fue inventada hasta el año de 1749 por Reamur en París, Francia, y la primera incubadora comercial fue fabricada por Hearson en 1881 (Boleli *et al.*, 2016).

Actualmente una incubadora de alta calidad debe ofrecer regular factores que están íntimamente ligados al éxito de la incubabilidad, como la temperatura, humedad y permitir la renovación del aire, así como la rotación automática de los huevos, proporcionando las condiciones ambientales perfectas para el desarrollo embrionario, con el objetivo de lograr una alta incubabilidad de pollitos sanos, lo que está directamente relacionado con la supervivencia. y rendimiento de pollitos individuales en el campo (Boleli *et al.*, 2016).

La caracterización de la incubabilidad en las razas de gallinas se hace al evaluar el éxito productivo en obtener nuevos pollitos en condiciones de parámetros estándar de temperatura, humedad relativa y volteo del huevo en incubación artificial. Esto se hace con el fin de obtener datos aplicados que orienten a la satisfacción futura de la demanda en productos avícolas y la conservación de las razas (Cerolini *et al.*, 2009; Peñuela y Hernández, 2018; Paredes *et al.*, 2019 y González-Ariza *et al.*, 2020).

Temperatura de incubación

Transferencia de Temperatura y Humedad en Incubación

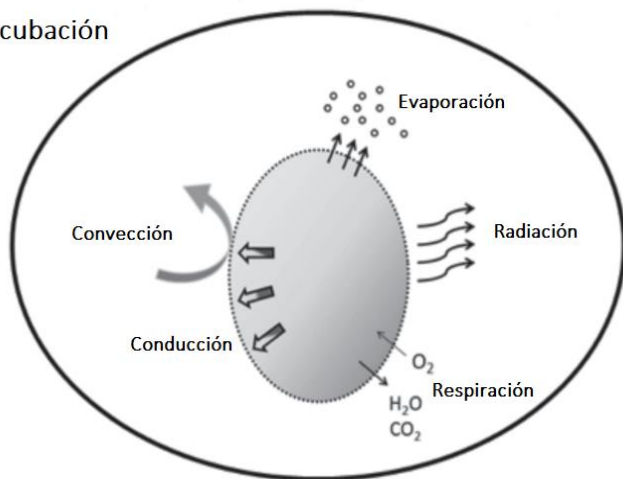


Figura 2. Esquema de los intercambios físicos de calor y humedad del huevo durante la incubación dependientes de las características morfológicas del huevo (tamaño, forma, porosidad y grosor del cascarón, Retomado de Boleli *et al.*, 2016).

Este factor de incubación no debe ser constante durante el proceso, ya que el huevo a través del cascarón presenta cuatro mecanismos físicos a través de los cuales recibe y desprende calor térmico que son: conducción (transferencia de calor por contacto), convección (transferencia de calor por corriente de aire), radiación (ingreso de calor radiante por luz o combustión) y evaporación (liberación de

calor por transpiración de vapor de agua) (Boleli *et al.*, 2016), (Figura 2).

La temperatura dentro del proceso de incubación no solo depende del calor proporcionado por la incubadora, de igual manera conforme el desarrollo embrionario va avanzando al interior del huevo la temperatura va aumentando derivado del calor metabólico logrando aumentar hasta 1.5 °C al final del proceso (Tullett, 1990). Actualmente los estándares de temperatura de incubación a lo largo del proceso rondan de 37° a 38° C del día 1 al día 18, reduciendo la temperatura los últimos dos días dentro de la incubadora o se si dispone de una nacedora la temperatura estará entre los 36° a 36.5 °C (Tullett, 1990).

Humedad relativa

La humedad que se presente dentro del proceso de incubación es clave en el éxito de incubabilidad, pues está directamente relacionada con el proceso de respiración de las células embrionarias a través de los microporos del cascarón, permitiendo la liberación de CO₂ del interior junto con vapor de agua e ingresando O₂ para que posteriormente se realice el cambio a la respiración pulmonar del pollito, lo cual estimula su eclosión (Boleli *et al.*, 2016). El rango de óptimo de humedad relativa va de un 70% hasta un 80%. Si la humedad relativa se encuentra por debajo del óptimo, conllevaría a la deshidratación del

embrión causando su muerte o el nacimiento de pollitos bajos de peso por deshidratación, por el contrario si se registra humedad relativa por arriba del óptimo, el periodo de incubación podría disminuir, pero los pollos nacerían húmedos con albumina residual visible (Van der Pol *et al.*, 2013 y Tona *et al.*, 2003; Ricaurte, 2005; Morita *et al.*, 2009).

Volteo de huevos

Entre el segundo y cuarto día de incubación los huevos deben de empezar tener un proceso de volteo para asegurar una buena incubabilidad; el proceso puede detenerse del día 13 al 15 sin afectar el porcentaje de eclosión. No realizar este proceso de volteo retarda la formación del líquido subembrionario, conduce un crecimiento reducido del embrión, produce cambios en el volumen amniótico y fluidos alantoideos, reducción en el intercambio de gases respiratorios, incapacidad del embrión a aprovechar albumina residual. Por otra parte, el volteo previene la deshidratación y facilita la absorción de nutrientes por el movimiento (Tullett, 1990 y Boeli *et al.*, 2016). Se sugiere el volteo de huevos una vez cada dos horas; su posición dentro de la incubadora es fundamental en la formación de la cámara de aire, dado que el picado interno puede verse afectado por un mal posicionamiento; lo recomendable es una posición horizontal simulando las condiciones naturales; el ángulo de giro debe estar entre los 38 a 45 grados (Boeli *et al.*, 2016).

Planteamiento del problema y preguntas de investigación

Actualmente son numerosos los planes de producción de huevo en sistemas sostenibles de campo abierto fracasados por incorporar gallinas de líneas genéticamente seleccionadas para producción intensiva que muestran clara desventaja productiva por motivos de depredación, vulnerabilidad ante enfermedades emergentes y deficiencia en el aprovechamiento del forraje (Hoffmann, 2005). En México las gallinas criollas se sobreponen a estas limitaciones de supervivencia y producción con base a su historia de adaptación ecológica y diversidad genética, sin embargo, para su propuesta como recurso zogenético en modelos de producción sostenible se requiere de una mayor información sobre la generación de nuevas pollitas a través del proceso de incubación artificial que garantice su obtención sin depender de gallinas en estado de clueques y promueva el desarrollo óptimo de la industria. Por ello esta investigación se orientó a analizar el éxito reproductivo de las gallinas criollas en incubación artificial, buscando describir las características ideales que deben de cubrir los huevos a incubar con factores óptimos de temperatura, humedad y

rotación para obtener un porcentaje óptimo de nacimientos y así incorporar más información en su manejo de producción sostenible. Por lo tanto, en este trabajo se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿Cuáles son las principales agrupaciones de características morfométricas en huevos puestos por gallinas criollas?
2. ¿Cuál es el porcentaje de nacimientos y fertilidad de huevos de gallinas criollas desarrollados en incubación artificial?
3. ¿La incubación artificial es un método apropiado para satisfacer la demanda respecto a obtener nuevas generaciones de gallinas criollas que contribuya a generar un modelo sostenible?

Con respecto a estas interrogantes se propusieron los siguientes objetivos de investigación:

OBJETIVOS

General

Caracterizar el desempeño reproductivo de gallinas Criollas de México en incubación artificial.

Particulares

1. Describir las características morfométricas de huevos puestos por gallinas Criollas Mexicanas y sus agrupaciones con base a su similitud.
2. Examinar el proceso de incubación artificial de huevo de gallinas criollas basándose en el porcentaje de fertilidad, muerte embrionaria y porcentaje de nacimiento.
3. Aportar conocimiento sobre el potencial reproductivo de gallinas criollas para su conservación, aprovechamiento sostenible y valorización como recurso zoogenético nacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de trabajo

La investigación se realizó en las instalaciones avícolas del Programa de Ganadería del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, ubicado en el municipio de Texcoco, Estado de México. La altitud municipal alcanza los 2,250 msnm, su clima se considera templado semiseco, con una temperatura media anual de 15.9°C y una precipitación media anual de 686.0 mm (INAFED, 2010).

Población de estudio

El huevo incubable para el estudio se obtuvo a partir de una población experimental de gallinas Criollas Mexicanas, por inseminación artificial, con una relación de una hembra por cada macho, 85 gallinas y 85 machos en total, con una edad promedio de 30 semanas. Las aves se alimentaron con una dieta a base de maíz y pasta de soya (2750 kcal de energía metabolizable por kg de alimento y 16 % de proteína cruda). Cada animal recibió una ración diaria de alimento de 110 g y el agua se ofreció *ad libitum*. La parvada se mantuvo en una caseta de ambiente natural con cortinas laterales y bajo un régimen de iluminación de 16 h de luz y 8 de oscuridad. Hembras y machos se alojaron en jaulas individuales de medidas 30 x 40 x 45 cm con comedero y bebedero automático.

Obtención de huevo incubable e incubación

El programa de reproducción se implementó durante 30 días, con una inseminación artificial por semana. Diariamente, el huevo se recolectó por la mañana y por la tarde, a las 11:00 y 17:00 h, respectivamente, y se almacenó a temperatura y humedad ambiente. Cada huevo se pesó en una báscula GRS-500 Torrey® con capacidad de 500 g y precisión de 0.1 g. El largo y el ancho del huevo se determinaron con un vernier mecánico Pretul® de 13 cm de longitud máxima y precisión de 0.5 cm. Asimismo, se determinó el color del cascarón de acuerdo con la escala de Zinpro®.

Con base en la duración del programa reproductivo, se realizaron ocho lotes de incubación empezando en septiembre de 2020 y culminando en diciembre del mismo año, con un total de 2778 huevos incubables. Las condiciones temperatura y humedad relativa en la máquina incubadora fueron 37.7 °C y 50 %, respectivamente. El embriodiagnóstico se realizó a los 12, 18 y 21 d de incubación, de acuerdo con González-Cerón (2011). Los pollitos obtenidos al nacimiento se pesaron de forma individual y posteriormente se mantuvieron en criadoras.

VARIABLES EVALUADAS

Manteniendo los factores directamente ligados a la incubación: temperatura, humedad y volteo de huevos en estándar óptimo, existen variables descriptivas del potencial reproductivo en incubación artificial que son: pérdida de peso del huevo, macroestructura, porcentaje de fertilidad, mortalidad embrionaria, éxito de nacimientos, y el peso del pollito al nacer.

Macroestructura del huevo

Un huevo proveniente de una gallina de edad óptima tiende a presentar mayor potencial de incubabilidad, dada la calidad de la macroestructura del huevo (índice de forma, peso, diámetro y volumen), además de facilitar el intercambio de gases a diferencia de huevos pequeños puestos por gallinas jóvenes (Morita *et al.*, 2009).

El índice de forma se calculó a través de la expresión $IFH = (A/L) \times 100$, donde IFN = índice de forma, A = ancho del huevo y L = largo del huevo, de acuerdo con Duman *et al.*, (2016). El volumen (cm^3) y el área (cm^2) se calcularán mediante las expresiones $\text{volumen} = 0.913 \times \text{PesH}$ y $\text{área} = 4.558 \times (\text{PesH})^{0.67}$, respectivamente, de acuerdo con Etches (1996), en ambos casos, el símbolo PesH corresponde al peso del huevo.

Embriodiagnóstico

Los parámetros de mortalidad embrionaria, fertilidad y nacimiento fueron resumidos dentro del examen de observación visual conocido como embriodiagnóstico (González-Cerón, 2011), realizado en tres fases de observación la primera al doceavo día de incubación (M1), la segunda al día 18 de desarrollo (M2) y una última al día 21 después del nacimiento de los polluelos (M3); se realizó un marcaje de identificación en los huevos para su seguimiento correcto hasta el nacimiento.

El día 12 y 18 de incubación se realizaron ovoscopias (observación de los huevos incubados a contraluz utilizando una linterna y una cámara oscura), para identificar los huevos infértiles, muerte embrionaria y embriones con desarrollo viable (Figura 3). La tercera etapa de observación se realizó después del momento de eclosión y conteo de los pollitos nacidos, identificando en los huevos restantes pollitos que se desarrollaron por completo, pero no lograron realizar el picaje del cascarón, los pollitos muertos y pollitos con malformaciones (Ricaurte, 2005; González-Cerón, 2011).

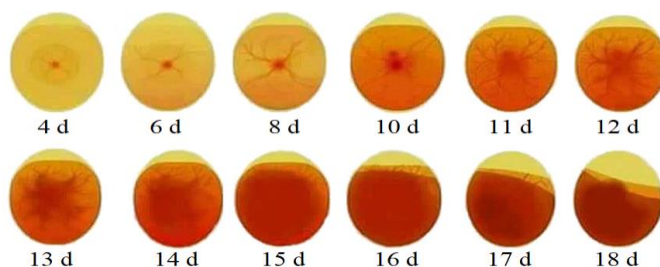


Figura 3. Guía de observación de desarrollo embrionario por ovoscopia del día 4 al día 18 según Ricaurte, 2005.

El porcentaje de nacimiento o también llamado porcentaje de incubabilidad se obtuvo al dividir el número de pollitos nacidos entre el total de huevos colocados para incubación y multiplicando por 100 y se referenció con el porcentaje de fertilidad obtenido al dividir el número de huevos fecundados entre el número total de huevos multiplicado por 100 (Ricaurte, 2005). El análisis de estos datos sirve para construir el historial del potencial reproductivo alrededor de la raza y de parvada específicas de las gallinas. También permite hacer inferencias sobre los niveles de mortalidad asociados al bienestar de los progenitores como su alimentación, genética, edad entre otros y los valores de incubación estándar de temperatura, humedad o volteo de huevos (González-Cerón, 2011).

Pérdida del peso del huevo y peso del pollito al nacer

La pérdida del peso del huevo es una variable que describe el intercambio de gases a través del cascarón durante el proceso de incubación, lo que implica la pérdida de agua, la liberación de calor y la formación de la cámara de aire. En promedio y a fin de obtener un desarrollo óptimo del embrión, un huevo debería de perder durante los primeros 18 días de incubación entre un 12 a 13% de su peso original. Esta variable está ligada íntimamente con la calidad del huevo, así como su morfología y se obtuvo de la resta del peso del huevo al día 18 contra el día cero de incubación representada en porcentaje (González-Cerón, 2011).

El peso del pollito varía con respecto al tamaño del huevo, por variación del genotipo y la correcta pérdida de peso por humedad durante la incubación, el peso promedio para pollitos de gallinas criollas debe de estar entre el intervalo de 34 g a los 45 g al día cero de nacimiento (Juárez-Caratachea *et al.*, 2010).

Análisis estadístico

Partiendo de la premisa de que las razas de ganado se distinguen por diferencias en apariencia, conformación y dimensión, se utilizan procedimientos cuantitativos para explorar razas de poblaciones tradicionales mediante la evaluación sistemática de las características morfológicas medibles y agregadas en grupos de animales (para el caso de las aves pueden ser el plumaje, pico, tarsos, huevos, entre otros), exactamente de la misma manera en que los taxonomistas clasifican los organismos vivos aplicando taxonomía numérica, estos procedimientos se utilizan para explorar semejanzas morfológicas agregadas entre grupos de organismos con el fin de desarrollar agrupaciones jerárquicas, asumiendo que las agrupaciones pueden (pero no necesariamente)

representar procesos evolutivos históricos asociados con la diversidad genética y el ambiente (Dobzhansky, 1951; FAO, 2012).

Los análisis multivariados de varianza se utilizan para determinar cuál de los muchos rasgos medidos son de interés para distinguir entre poblaciones y para evaluar las características morfológicas agregadas necesarias para la agrupación. Los procedimientos que utilizan análisis de varianza multivariante consideran un gran número de observaciones características capaces de igual valor (es decir, no ponderadas) en un gran número de individuos y clasifican los individuos en función de su similitud agregada. La premisa detrás de este método de clasificación es que la variación morfológica entre organismos individuales es típicamente discontinua y genera matrices claramente separadas, con cada matriz comprendiendo un grupo de individuos que poseen algunas características comunes. Los grupos discretos se designan como raza estándar y raza variedades.

Análisis de conglomerados – Cluster

En este tipo de análisis, las unidades de referencia se denominan unidades taxonómicas operativas (OTU). Dependiendo del patrón percibido de variación morfológica a nivel de población, las OTU pueden ser características de animales individuales o grupos de muestra de animales homogéneos. El análisis de conglomerados multivariante o *cluster* reorganiza el conjunto heterogéneo de OTU mediante la cuantificación de las relaciones de similitud, en grupos conglomerados más homogéneos con respecto a las variables medidas (macroestructura del huevo) (Aldenderfer y Blashfield, 1984). Estas relaciones pueden expresarse como distancia relativa en un espacio euclidiano multidimensional, con cada variable de carácter definiendo un eje. En el sentido matemático, la distancia relativa es, una medida de las diferencias agregadas: cuanto mayor sea el valor de esta distancia, mayor será la diferencia entre las OTU. Basado en los valores calculados para todos los posibles pares de OTUs un árbol jerárquico (de clasificación) se produce llamado dendrograma.

El análisis de los datos multivariado y exploratorio se realizó mediante los paquetes estadísticos *ggplot2* y *dplyr* del programa R-Studio (Rstudio, 2020). En la obtención del dendrograma se aplicó como medida de asociación la distancia euclidiana y el método disociativo de Ward (Salgado, 2017), para la elaboración de un cluster de tipo jerárquico, sugerido por la FAO (2012) y aplicados en la caracterización de los recursos genéticos ganaderos.

RESULTADOS

Macroestructura del huevo

Durante el programa de reproducción de las gallinas criollas comprendido de septiembre a diciembre del año 2020 se recolectaron 2778 huevos de los cuales se obtuvieron las medidas morfométricas correspondientes a largo, ancho, peso, volumen y área, así como el color del cascarón (Cuadro 1). A partir de dichas medidas se generó el análisis cluster jerárquico obteniendo un dendrograma con tres grupos (Figura 4). En el grupo 1 se conglomeraron 777 huevos cuya característica principal de disimilitud con respecto al grupo 2 y 3 es el color de cascarón comprendiendo únicamente huevos de escalas Zinpro® 1 y 2, siendo el índice de forma la única característica de la media de igual valor que comparte con respecto a los otros dos grupos. En el grupo 2 se concentraron 1090 huevos en donde se presentó la mayor gama de colores de cascarón con mayor tonalidad según escalas Zinpro® del 4 al 8, en este grupo se albergan las menores medidas promedio de peso, largo, ancho, volumen y área. Para el grupo 3 se agruparon los 911 huevos restantes que por el contrario al grupo 2 es donde se encuentran las mayores medidas promedio correspondientes a la macroestructura del huevo, en la característica de color del cascarón se concentraron todos cuya escala de color era 3 sin embargo también se presentaron huevos con escala de 4 (Cuadro 2) (Figura 5).

Cuadro 1. Medidas morfométricas de huevos de gallinas criollas donde P = Peso, L = Largo, AN = Ancho, C = Color, IF = Índice de Forma, V = Volumen, A = Área; y MIN, M, MAX corresponden, respectivamente, al valor mínimo, promedio y máximo del conjunto de datos de N = 2778. Para la variable C el valor corresponde a la moda.

| | P (g) | L (cm) | AN (cm) | C | IF | V (cm ³) | A (cm ²) |
|------------|-------|--------|---------|----|-------|----------------------|----------------------|
| MIN | 26.90 | 4.10 | 2.00 | 1 | 46.51 | 24.56 | 41.37 |
| M | 57.23 | 5.76 | 4.19 | 2* | 72.97 | 52.25 | 68.55 |
| MAX | 91.60 | 7.30 | 5.90 | 8 | 91.07 | 83.63 | 94.03 |

Cuadro 2. Resumen de medidas promedio que definen a los tres principales grupos C1, C2 y C3 obtenidos mediante el análisis multivariado de cluster, donde N = Número de huevos, P = Peso, L = Largo, AN = Ancho, IF = Índice de Forma, V = Volumen y A = Área. C = Color, C* incluye todas las escalas conglomeradas en los distintos grupos, en color rojo la escala moda del conjunto. Se muestran las medidas máximas en negritas.

| Cluster | N | P (g) | L (cm) | AN (cm) | C* | IF | V (cm ³) | A (cm ²) |
|---------|------|--------------|-------------|-------------|---------------|----|----------------------|----------------------|
| 1 | 777 | 57.14 | 5.76 | 4.18 | 1, 2 | 73 | 52.17 | 68.47 |
| 2 | 1090 | 55.96 | 5.72 | 4.18 | 4, 5, 6, 7, 8 | 73 | 51.09 | 67.48 |
| 3 | 911 | 58.63 | 5.80 | 4.21 | 3, 4 | 73 | 53.53 | 69.67 |

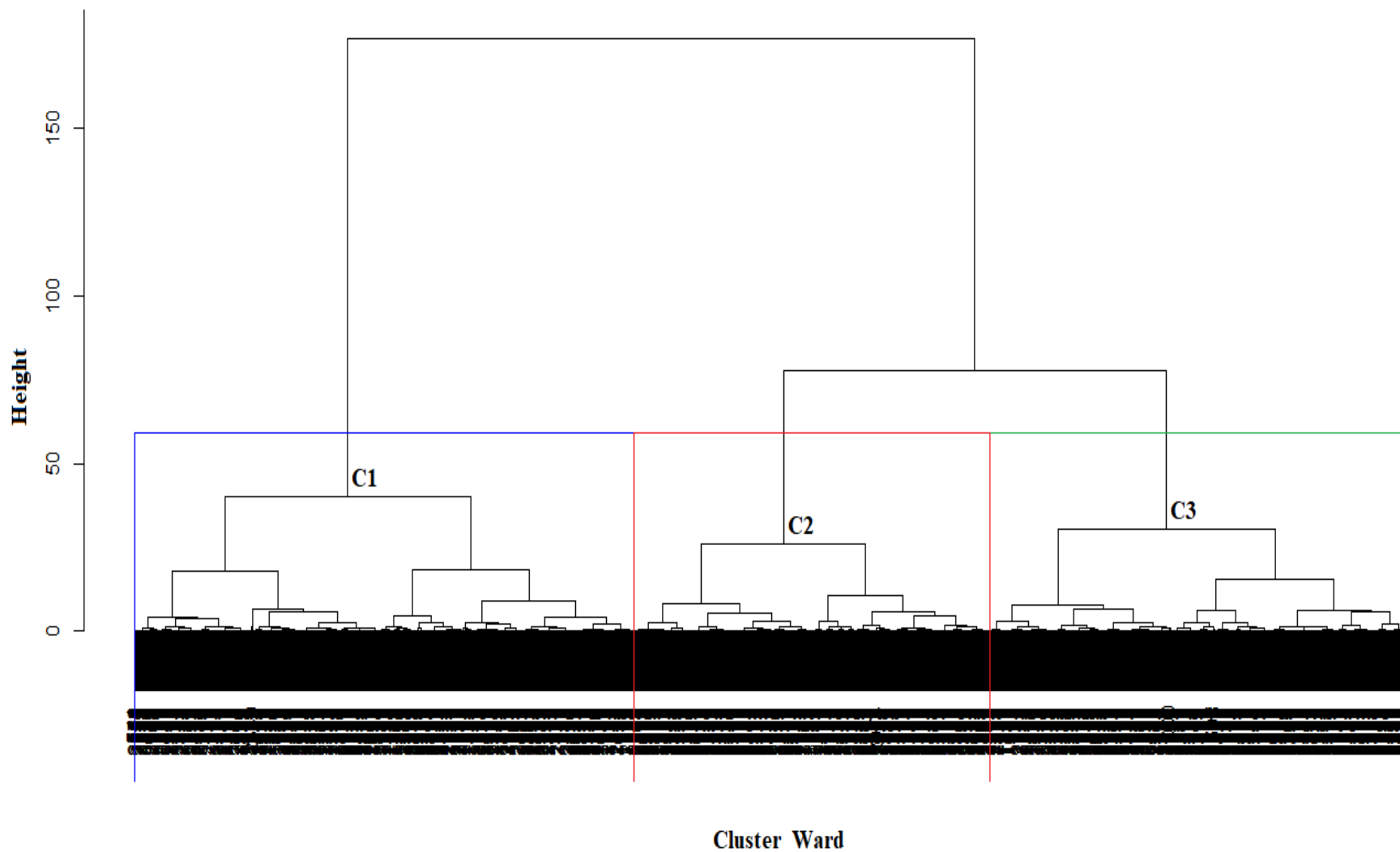


Figura 4. Dendrograma de la macroestructura del huevo de gallinas criollas obtenido a través del método Ward con distancias euclidianas para cluster jerárquico, se observan los tres grupos principales de conglomerados C1, C2 y C3.

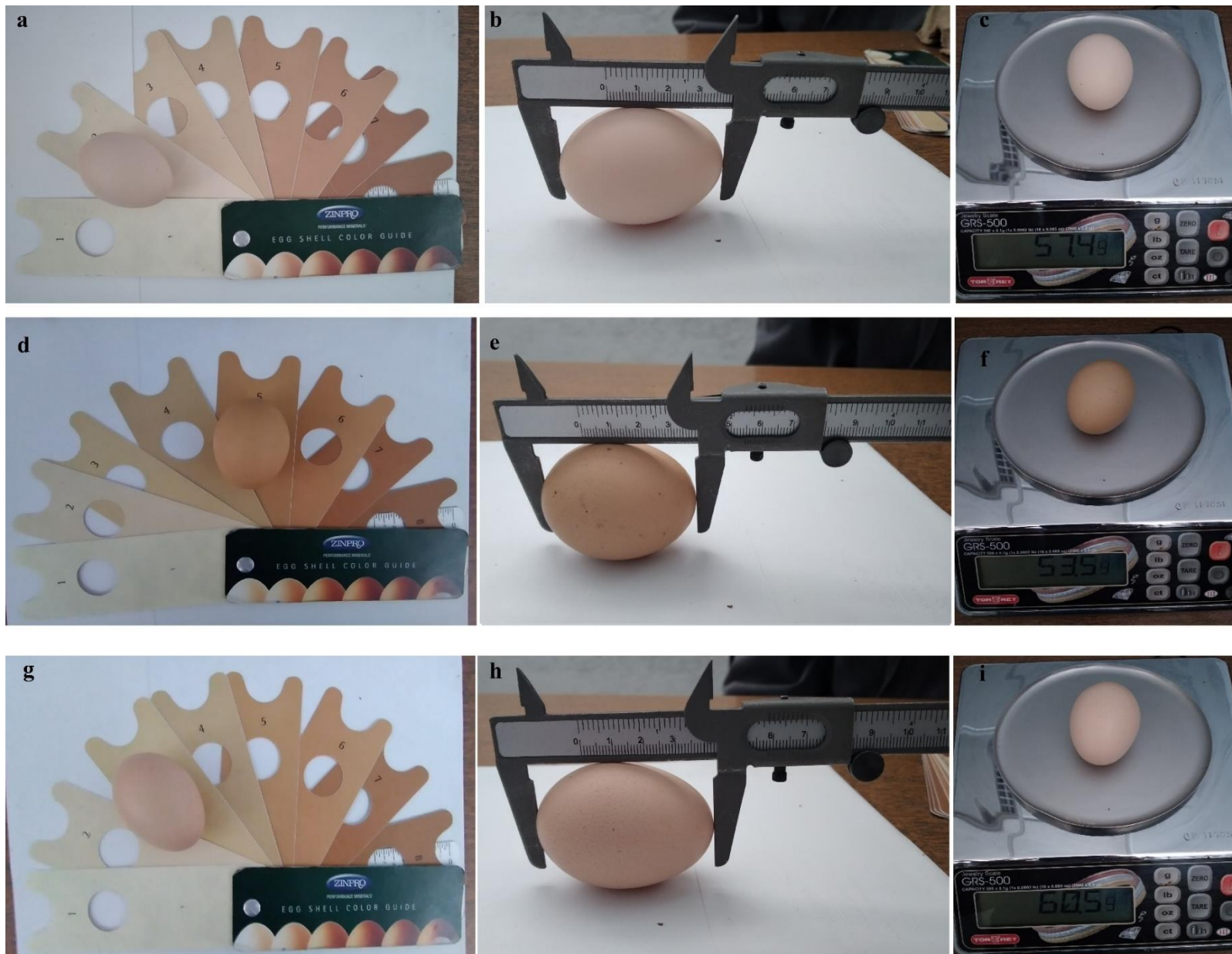


Figura 5. Ejemplo de características de huevos definido por análisis de cluster. **Cluster 1:** a) C = 2, b) L = 5.68 cm, c) P = 57.4 g; **Cluster 2:** d) C = 5, e) L = 5.46 cm, f) P = 53.5 g y **Cluster 3:** g) C = 3, L = 5.86, P = 60.5 g, donde C = Color, L = Largo y P = Peso.

Embriodiagnóstico

Se realizaron ocho bloques de incubación con un total de 2671 huevos a partir del mes de septiembre y culminando en diciembre del año 2020, cada bloque de incubación duró 21 días correspondiente al desarrollo embrionario típico del pollito manteniendo igualdad en los factores de temperatura, humedad y rotación, descartándose únicamente huevos que estuvieran quebrados, con cascarón blando o si su tiempo en almacenamiento hubiera superado los 14 días. En M1 se descartaron los huevos infértiles, así como aquellos donde se observaba muerte embrionaria temprana, los niveles de fertilidad en los distintos bloques estuvieron superando el 60%, el valor menor del índice de muerte temprana se obtuvo durante el bloque 3 con un 19.01%.

El siguiente embriodiagnóstico correspondiente a M2 determino el valor máximo de muerte embrionaria en el primer bloque con un 8.59 %. En M3 del embriodiagnóstico se incluyó además de la contabilización de muerte embrionaria, el éxito de eclosión, donde los valores máximos fueron del 30.56 % en el bloque 6 y un 26.27 % en el bloque 8 correspondientemente (Figura 6).

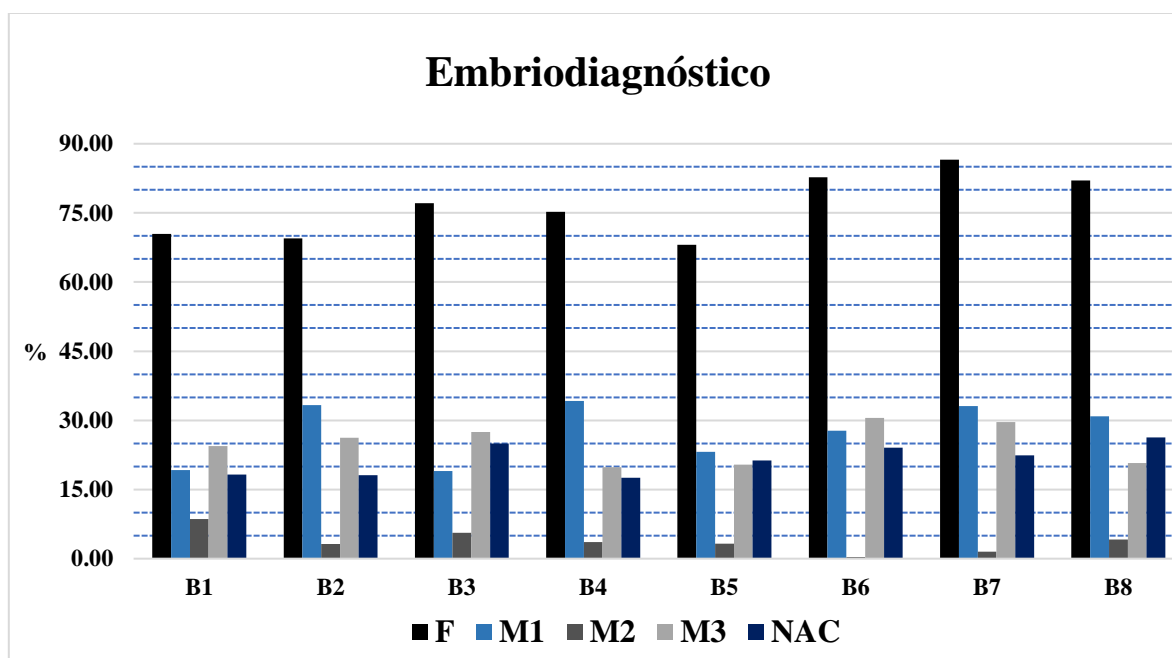


Figura 6. Gráfica del análisis embriodiagnóstico realizado por cada bloque de incubación (B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8) donde F = Porcentaje de fertilidad, M1 = Muerte de embrionaria temprana, M2 = Muerte embrionaria al día 18, M3 = Muerte embrionaria al día 21 y NAC = Porcentaje de nacimiento.

Los porcentajes promedio poblacionales fueron 76.46 % de fertilidad, 27.59 % de muerte embrionaria temprana, 3.78 % muerte embrionaria al día 18, 24.90

% de muerte embrionaria tardía y un 21.61 % en porcentaje de nacimiento (Cuadro 3).

Cuadro 3. Se muestran el número de bloques dispuestos a incubación, N = Número de huevos, F = Índice de fertilidad, M1, M2 y M3 corresponden a muerte embrionaria al día 12, al día 18 y al día 21, NAC = Éxito de nacimiento. En negritas el porcentaje promedio del total de bloques de incubación.

| Bloque | N | F (%) | M1 (%) | M2 (%) | M3 (%) | NAC (%) |
|----------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 1 | 291 | 70.45 | 19.24 | 8.59 | 24.40 | 18.21 |
| 2 | 282 | 69.50 | 33.33 | 3.19 | 26.24 | 18.09 |
| 3 | 284 | 77.11 | 19.01 | 5.63 | 27.46 | 25.00 |
| 4 | 222 | 75.23 | 34.23 | 3.60 | 19.82 | 17.57 |
| 5 | 432 | 68.06 | 23.15 | 3.24 | 20.37 | 21.30 |
| 6 | 324 | 82.72 | 27.78 | 0.31 | 30.56 | 24.07 |
| 7 | 402 | 86.57 | 33.08 | 1.49 | 29.60 | 22.39 |
| 8 | 434 | 82.03 | 30.88 | 4.15 | 20.74 | 26.27 |
| Total = | 2671 | 76.46 | 27.59 | 3.78 | 24.90 | 21.61 |

Pérdida de peso del huevo y peso del pollito al nacer

Se registro la pérdida de peso de cada uno de los 8 bloques de incubación, observando al bloque 3, 5 y 7 fuera del rango óptimo de incubación que es con valores de 11.41, 13.45 y 11.85 %, considerando que el intervalo óptimo se encuentra entre 12 al 13 %. Los bloques restantes 1, 2, 6 y 8 se presentaron dentro del rango óptimo de pérdida de peso (Figura 7).

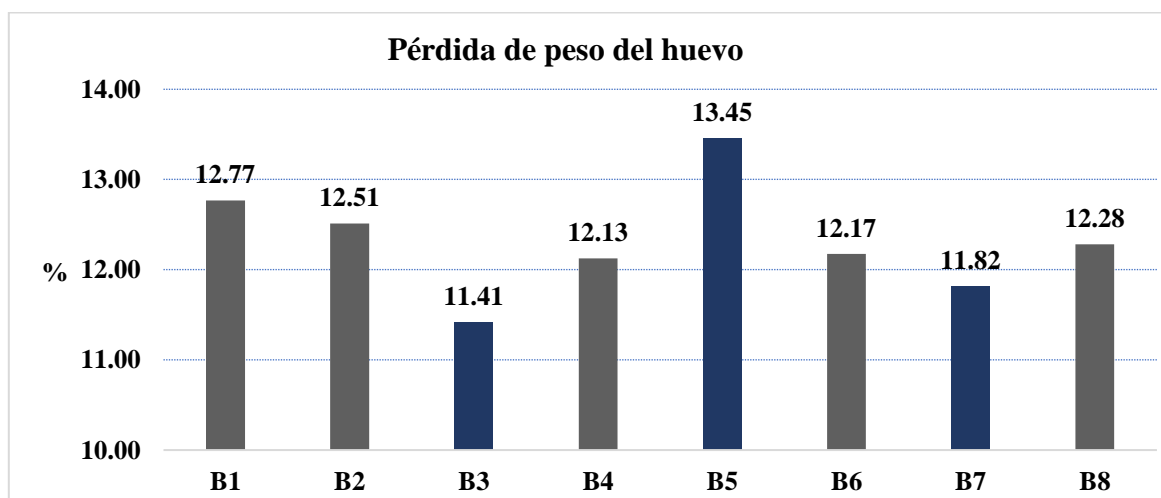


Figura 7. Gráfica de pérdida de peso del huevo promedio por bloque de incubación, realizada al día 18 de incubación. En azul se muestran los bloques que estuvieron fuera del intervalo óptimo de pérdida de peso.

Al término de cada bloque de incubación se pesaron los pollitos al día cero de nacimiento obteniendo el peso promedio por bloque y se referencio con respecto al peso del huevo promedio dispuesto a incubación por bloque, se calculó el

porcentaje de relación (PR) (Cuadro 4). El peso mínimo se registró para el bloque 1 con un valor de 36.53 g, mientras que los mejores pesos se obtuvieron en los bloques 6 y 8 con valores de 38.44 g y 38.54 g correspondientemente (Figura 8).

Cuadro 4. Registro del peso promedio del huevo puesto a incubación (P) por bloque, registro del peso del pollito al día cero de nacimiento (PP) por bloque y relación porcentual (PR) del P con respecto al PP.

| Bloque | P (g) | PP (g) | PR |
|---------------|--------------|---------------|-----------|
| 1 | 56.81 | 36.53 | 64.30 |
| 2 | 56.75 | 36.75 | 64.76 |
| 3 | 57.20 | 37.59 | 65.71 |
| 4 | 57.30 | 37.83 | 66.03 |
| 5 | 57.26 | 37.69 | 65.83 |
| 6 | 57.74 | 38.44 | 66.57 |
| 7 | 57.50 | 37.42 | 65.08 |
| 8 | 57.43 | 38.54 | 67.11 |

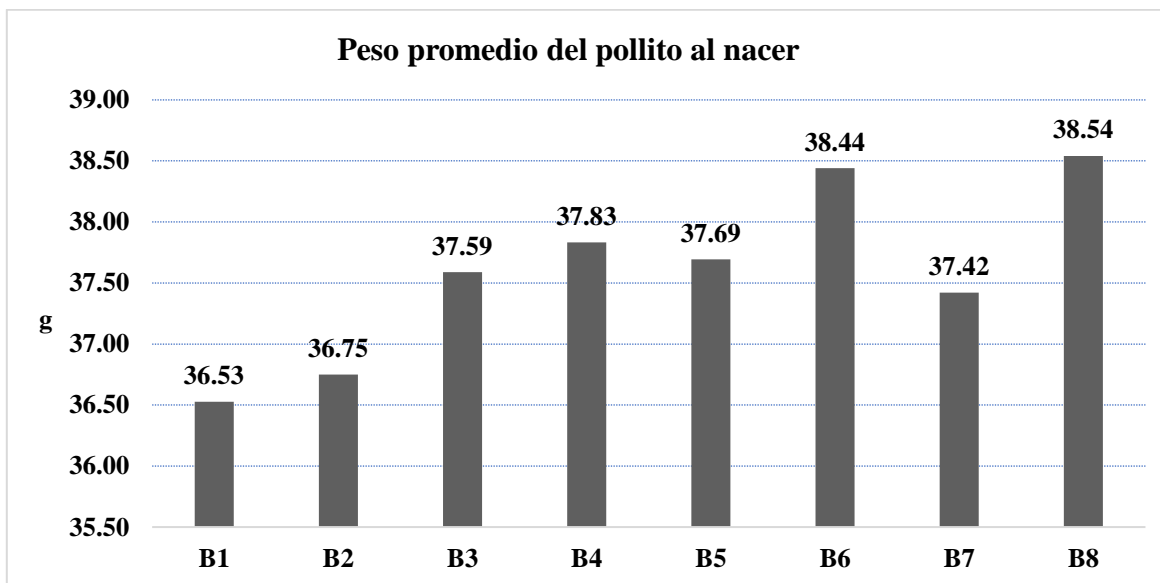


Figura 8. Gráfica del peso promedio de los pollitos registrado al día cero de nacimiento por cada bloque de incubación.

DISCUSIÓN

Con base a las características morfométricas de diámetro longitudinal, diámetro transversal, peso, volumen, masa e índice de forma, así como el color se definieron tres grupos de huevos puestos por gallinas criollas, este es el primer estudio realizado para caracterizar las variantes morfométricas presentes en huevos considerando su alta variabilidad fenotípica. El primer grupo se definió por conglomerar un 27.97% de huevos cuya escala de color Zinpro® fue 1 y 2, esto lo posiciona como un grupo de interés de selección comercial para la producción de huevos de color blanco. Sin embargo, las tonalidades afines al color blanco tienen una menor aceptación como huevos provenientes de gallinas mantenidas a campo abierto y en sistemas sostenibles (Paredes *et al.*, 2019; Rodríguez-Ortega *et al.*, 2020). Otro aspecto por considerar alrededor de la variable de color son las investigaciones relacionadas con respecto a su éxito de incubabilidad en huevos de gallinas Broiler y Guinea donde se reportó que los colores de tonalidades más claras tienen menor tasa de eclosión producto del mayor grosor del cascarón que conlleva una menor pérdida de peso durante la incubación (Şekeroğlu y Duman, 2011; Eleroglu *et al.*, 2016). El peso del huevo promedio del grupo fue de 57.14 g; según la Norma Mexicana los huevos se pueden clasificar con respecto al peso en: a) extragrande > 64 g, b) grande 60 a 63 g, c) mediano 55 a 59 g, d) chico 50 a 54 g y e) canica < 50 g (NMX-FF-127-SCFI, 2016); lo que coloca a los huevos del grupo 1 en la categoría de tamaño mediano. Para selección de huevos a incubación con respecto a peso se recomienda que oscile de 50 a 65 g lo que el peso promedio del grupo no representaría una limitante (Wilson, 1991; Ricarte, 2005).

En el grupo 2 se concentró el mayor porcentaje del total de huevos con un valor del 39.34% cuyas características morfométricas mostraron ser las de menor medida (peso, largo, ancho, volumen y área), contrario a su agrupamiento en escalas de color que contiene huevos con mayor valor (4 – 8) con respecto al abanico Zinpro®. Esto representa una desventaja en términos comerciales para la avicultura sostenible en campo abierto con base a la crianza de gallinas criollas, donde la mejor percepción social de huevos “criollos” es el color es de tonalidades marrón con pesos superiores a los 60 g puestos principalmente por razas y estirpes de gallinas (Rhode Island Red, Isa Brown, Hy Line Brown, etc.) seleccionadas en la producción de estos huevos, pero no precisamente mantenidas en sistemas de traspatio (Rodríguez-Ortega *et al.*, 2020). Con respecto al color y el peso del huevo promedio del grupo que fue de 55.96 g,

posiciona al conjunto en el rango óptimo para seleccionarse a incubación y la obtención de nuevas pollitas.

El grupo 3 agrupo el 32.79 % restante del total de huevos, sus características que definen al grupo son las mayores variables morfométricas (peso, largo, ancho, volumen y área) y con escalas de color Zinpro® 3 y 4. Esto representa que los huevos de mayor tamaño en gallinas criollas mexicanas son de color crema, pero aún se encuentran dentro de la clasificación comercial de huevos medianos para la Norma Mexicana, con respecto a su selección a incubación por tamaño y color los huevos que integran este conjunto son óptimos a ser dispuestos a incubación artificial para la obtención de nuevas pollitas.

Para los tres grupos el índice de forma se registró con un valor promedio de 73, se considera que un valor >76 es un huevo redondo, <72 es un huevo alargado, los huevos dentro de ese intervalo tendrían la forma idónea para el huevo (González, 1999), con respecto a esta variable morfométrica los tres grupos se muestran idóneos para disponerse en incubación artificial.

Se dispusieron 2671 huevos a incubación artificial distribuidos en 8 bloques, el índice de fertilidad aumento en los bloques finales en consideración al inicio del programa reproductivo, en promedio se registró una fertilidad del 76.46 % la cual es menor a la registrada en estudios similares como lo es el 82.4 % obtenido por Juárez-Caratachea y Ortiz (2001) quienes estudiaron el éxito de incubabilidad de gallinas criollas mantenidas a traspatio, Grimal y Gómez (2007) reportaron un índice de fertilidad del 85.1 % en gallinas chulillas, Ruiz y colaboradores en el 2016 reportan un 97.81 % para gallinas araucanas, mientras en el estudio reciente realizado por González-Ariza *et al.* (2020) con respecto a gallinas Utreranas se obtuvo un 90.68 % de fertilidad, este índice está íntimamente ligado a la forma del huevo, la alimentación y la genética de las progenitoras para el presente estudio la alimentación cumplió con los aminoácidos esenciales requeridos por las gallinas y no tuvo restricciones, el índice de forma promedio de todos los bloques fue de 72.97 considerado óptimo para incubación con respecto a lo recomendado por Wilson (1991). Con respecto a la genética de las aves las gallinas no muestran algún indicio de erosión genética ya que estas afectaciones no son propias de gallinas criollas sino de estirpes que mantiene cerrado el flujo genético para preservación del estándar. Sin embargo, en ninguno de los anteriores trabajos mencionados se realizó inseminación artificial proceso en el cual se ejerce cierto nivel de estrés tanto para el macho como para la hembra y pudiera tener alguna relación directa

con el índice de fertilidad, además de que se llevó a cabo en solo una ocasión por semana cuando la monta natural -respetando la proporción sexual adecuada- la lleva a cabo el gallo en varias ocasiones durante el día. Con base a las ovoscopias realizadas al día 12, 18 y 21 se registró mayor porcentaje de muerte embrionaria en al día 12 y al día 21 lo que es equiparable a los trabajos de Ruiz *et al.* (2016) y González-Ariza *et al.* (2020) que reportaron una mayor muerte embrionaria en fases tempranas y posterior al día 18. Ricarte, 2005 menciona que las causas que producen la muerte durante el período de los primeros 12 días están relacionadas con el mal manejo del huevo embrionado, transporte deficiente, almacenamiento inapropiado, temperatura de pre-incubación inadecuada y fumigación incorrecta. La mortalidad durante este período alcanza el 30% aproximadamente de las muertes totales, lo que se refleja con el 27.59 % obtenido en este estudio, aunque se tuvieron los mayores cuidados durante su almacenamiento no se realizó medición de temperatura y humedad en la cámara de almacenamiento y dado que las gallinas criollas no tienen un intervalo continuo de postura hubo huevos que se mantuvieron mayor tiempo en almacenamiento, pero en ningún caso superando los 14 días.

Posteriormente hacia el día 18 las causas de mortalidad en esta fase deben de remitirse a la nutrición en reproductoras, excesos o deficiencias en la temperatura y humedad de incubación, huevos mal colocados e inadecuadamente volteados o problemas bacterianos. La mortalidad durante este período alcanza el 20% aproximadamente de las muertes totales (Ricarte, 2005; González-Cerón, 2011). El valor obtenido en el presente estudio fue del 3.78% lo que indica que el funcionamiento de la incubadora en cuestión de temperatura, humedad y volteo de huevos se realizó de forma correcta.

Hacia el día 19-21 se considera el período más crítico dado que es cuando se produce el cambio en la respiración del embrión, que pasa de ser corioalantoidea a pulmonar, es el momento en que se produce el 50% de las muertes independientemente si los resultados hubieran sido malos o exitosos. El período en el cual el embrión cesa de respirar a través de la membrana para comenzar a hacerlo por medio de sus pulmones dura cerca de 6 horas, de no ocurrir se produce la muerte embrionaria. Aunado a ello las malas posiciones que llegan a tomar los embriones dentro del huevo hacia la cámara de aire dificultarían su picado del cascarón y el éxito de eclosión (Ricarte, 2005; González-Cerón, 2011). Se registro un pico de muerte embrionaria durante esta etapa con un valor del 21.61%.

El análisis embriodiagnóstico realizado en cada bloque permitió identificar los dos picos de muerte embrionaria que se llegan a presentar durante la incubación artificial, la propuesta para reducir la muerte embrionaria durante los primeros 12 días es tomar las medidas correspondientes al almacenamiento y realizar prácticas de preincubación. Con respecto al segundo pico de muerte embrionaria al día 21, se debe de realizar correlaciones con respecto a los grupos obtenidos en la caracterización de macroestructura del huevo para identificar y seleccionar el grupo con mayor tasa de eclosión. Al final del programa reproductivo y en total de los 8 bloques de incubación se obtuvieron 588 pollitos.

En promedio y a fin de obtener un desarrollo óptimo del embrión, un huevo dispuesto a incubación debería de perder durante los primeros 18 días de entre un 12 a 13% de su peso original. Para ello se registró dicha variable por cada bloque de incubación donde el bloque 3 y 7 tuvieron una mayor pérdida de peso del intervalo óptimo con valores del 11.41% y 11.82%, una mayor pérdida de humedad está ligada generalmente al nacimiento de pollitos bajos de peso producto de la deshidratación sin embargo los pesos obtenidos en cada bloque fueron similares. El bloque 5 por el contrario registró una menor pérdida de agua con respecto al intervalo óptimo, aun así, no se observó alguna variación con respecto al éxito de eclosión o peso de los pollitos al nacer con respecto a los demás bloques de incubación. Esta variable está ligada íntimamente con la calidad del huevo, así como su morfología (González-Cerón, 2011) por lo que el registro de valores óptimos en la mayoría de los bloques de incubación infiere en la calidad optima del cascarón del huevo puestos por gallinas criollas y la eficiencia de la maquina incubadora.

El peso promedio de los pollitos al día cero de nacimiento fue de 37.60 g peso similar a los obtenidos por Juárez-Caratachea y Ortiz (2001) y Ruiz *et al.* (2016) con valores de 37.1 g y 39.2 g respectivamente y cerca de 10 g menos que lo reportado por González-Ariza *et al.* (2020) con un peso promedio de 47.20 g, considerando que en todos estos estudios se trabajaron con gallinas locales. Como ya se mencionó anteriormente el peso ideal para un huevo dispuesto a incubación va de los 50 a 65 g y la relación del pollito al nacer idealmente debe de ir de 62 a 76%. Todos los bloques de incubación se presentaron dentro de este intervalo lo que indica el nacimiento de pollitos de buena calidad.

CONCLUSIONES

Con base a las características morfométricas y de color de huevos puestos por gallinas criollas y analizados a través del análisis multivariado de cluster se identificaron tres principales grupos, el grupo uno se define por contener huevos con las tonalidades más bajas de color y medidas promedio de peso = 57.14 g, largo = 5.76 cm y ancho = 4.18 cm. El grupo dos conglomerara los huevos con tonalidades más oscuras, pero de menor medida de peso, largo, volumen y área. Por el contrario, el grupo tres congrega los huevos de mayores medidas de peso, largo, volumen, así como huevos con tonalidades crema de color. Esta organización obtenida por el análisis multivariado refleja la variabilidad que se presenta en huevos de gallinas criollas; así mismo, conlleva y permite seguir realizando investigación más específica sobre su selectividad para disposición a incubación artificial considerando sus atributos morfométricos, de color y su correlación en el futuro éxito de la eclosión.

También, a través del análisis embriodiagnóstico se observó un nivel de fertilidad del 76.46%, y dos picos de muerte embrionaria: M1 y M3. El porcentaje de nacimiento es relativamente bajo, sin embargo, el peso del pollito al día cero de eclosión se encuentra dentro del intervalo óptimo. Por lo anterior se concluye que la incubación artificial es una técnica que permite obtener nuevas pollitas Criollas Mexicanas que ofrecen una alta gama de recursos zoogenéticos en la producción de huevo, pero es necesario seguir realizando mayores estudios con niveles más altos de especificidad, así como de selección a fin de aumentar el porcentaje de nacimientos y poder proponerlas dentro de modelo de industria sostenible.

LITERATURA CITADA

- Aldenderfer, M.S. y R.K. Blashfield (1984). Cluster analysis. Sage University Paper Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, 07-044. Beverly Hills, USA and London, Sage Publications.
- Ángel-Hernández, A., S. Morales-Flores, J. C. Carrillo-Rodríguez, G. Rodríguez-Ortiz, Y. Villegas-Aparicio y M. Jerez (2014). Historia, domesticación y situación actual del guajolote (*Meleagris gallopavo gallopavo*) en México. Revista Mexicana de Agroecosistemas, 2, 132–143. ISSN: 2007-9559.

- Boleli, I.C., V.S. Morita, J. Matos, M. Thimotheo y V.R. Almeida, (2016). Poultry Egg Incubation: Integrating and Optimizing Production Efficiency PHYSICS OF EGG INCUBATION: an integrated process. Revista Brasileira de Ciencia Avícola. 2, 1-16. ISBN: 1806906120.
- Cabarles J.C. (2013). Phenotypic cluster and diversity analysis of native chickens in Western Visayas, Philippines. *Animal Genetic Resources / Ressources génétiques animales / Recursos genéticos animales*, 53, 1-9
- Camacho-Escobar, M.A., P.M. Lezama-Núñez, MP. Jerez-Salas, J. Kollas, M.A. Vásquez-Dávila, J.C. García-López, J. Arrollo-Ledezma, N. Ávila-Serrano y F. Chávez-Cruz. (2011). Avicultura indígena mexicana: Sabiduría milenaria en extinción. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*. 1, 375-379.
- Cerolini, S., M., L. Zaniboni, C. Cassinelli y M.G. Mangiagalli. (2009). Breeding performance in the italian chicken breed mericanel della brianza. *Italian Journal of Animal Science*. 9, 382-385. DOI: 10.4081/ijas.2010.e72.
- Cuca-García, J.M., D. A. Gutiérrez-Arenas y E. López-Pérez. (2015). La avicultura de traspatio en México: Historia y caracterización. *Agroproductividad*, 8, 30-36. ISSN-0188-7394.
- Dobzhansky, T. (1951). *Genetics and origin of species*. 3rd ed. New York, USA, Columbia University Press
- Duman M, S., A. ekerog̃lu, A. Yildirim, H. Elerog̃lu, Ö. Camci. (2016). Relation between egg shape index and egg quality characteristics. *European Poultry Science* 80, 1-9. DOI: 10.1399/eps.2016.117.
- Duran M. y Y. Perucho. (2014). Caracterización Fenotípica de las Gallinas Criollas de la Provincia de Ocaña en los Municipios de Cachira, Villacaro, La Esperanza, El Carmen y Gonzales. Tesis de grado. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.
- Elerog̃lu, H., A. Yildirim, M. Duman, N. Okur. (2016). Effect of Eggshell Color on the Egg Characteristics and Hatchability of Guinea Fowl (*Numida meleagris*) Eggs. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 63, 61-68. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9061-2015-0154>.
- Etches R.J. (1996). *Reproducción aviar*. Acribia. Zaragoza, España. 339p.

- FAO. (2010). La situación de los recursos zoogenéticos mundiales para la alimentación y la agricultura. Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura. ISBN 978-92-5-305762-7.
- FAO. (2012). Phenotypic Characterization of Animal Genetic Resources. FAO Animal Production and Health Guidelines No. 11. Rome.
- FAO. (2013). Revisión del Desarrollo Avícola. Organización De Las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. ISBN 978-92-5-308067-0.
- FAO. (2017). FAO y los ODS, Indicadores: Seguimiento de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. ID. FAO,2017 I6919ES/1/04.17.
- Farrel, D. (2013). The role of poultry in human nutrition. the importance of poultry meat and eggs, especially for children and women David. Poultry development review by Food and agriculture organization oF the united nations. 2, 2-3.
- González, L.J. (1999). Parámetros fisicoquímicos de la cascara de huevo: importancia. Universidad Nacional de Colombia Seccional Medellín. Medellín
- González-Ariza, A., C.J. Barba, J. V. Delgado, J.M. León, A. Arando, F.J. Navas-González, S. Nogales y M. E. Camacho. (2020). Actas Iberoamericanas de Conservación Animal. 4, 14-20.
- González-Cerón F. (2011). Factores que determinan el desempeño en la planta incubadora. En: Producción y manejo de aves domésticas. Cuca-García *et al.* (eds). Universidad Autónoma de Chapingo. México. p. 237.
- Grimal, A. y E. A. Gómez. (2007). Caracterización preliminar de parámetros reproductivos en la gallina de Chulilla. Archivos de zootecnia. 56, 557-560. ISSN: 0004-0592.
- Hernández-Ortega, K.I., O. Carmona-Hernández, M.S. Fernández, J.A. Lozada-García y V. R. Torres. (2017). Caracterización fenotípica de la gallina criolla (*Gallus gallus*) en una microrregión de Veracruz, México. Agroproductividad. 10, 24-30. ISSN: 01887394.
- Hoffmann, I. (2005). Research and investment in poultry genetic resources – challenges and options for sustainable use. World's Poultry Science Journal. 61, 57-70. DOI: 10.1079/WPS200449.

- INAFED (Instituto Nacional para el Federalismo y Desarrollo municipal). (2010). Enciclopedia de los Municipios y delegaciones de México, Estado de México. Secretaria de Gobernación, México. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/municipios/15099a.html>
- Juárez-Caratachea, A., E. Gutiérrez-Vázquez, R. Garcidueñas-Piña y G. Salas-Razo. (2010). Producción de huevos en gallinas criollas Cuello Desnudo (Nana) y con emplume normal (nana) en la región del altiplano mexicano. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 44, 287-290. ISSN: 0034-7485.
- Juárez-Caratachea, A y M. Ortiz (2001). Estudio de la incubabilidad y crianza en aves criollas de traspatio. *Veterinaria México*. 32, 27-32. ISSN: 0301-5092.
- Luis-Chincoya H., J.G. Herrera-Haro, M. Pérez-Salas, A. Santacruz-Varela y A. Hernández-Garay. (2018). Tipología de gallinas criollas en Valles Centrales Oaxaca con base en descriptores morfométricos. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 15, 585-593.
- Montes, V.D., V.J. De la Ossa y H.D. Hernández. (2019). Caracterización morfológica de la gallina criolla de traspatio de la subregión Sabana departamento de Sucre (Colombia). *Revista MVZ Córdoba*. 24, 7218-7224. DOI: 10.21897/rmvz.1646.
- Morita, V.S., I.C. Boleli y A. Cargnelutti. (2009). Hematological values and body, heart and liver weights of male and female broiler embryos of young and old breeder eggs. *Revista Brasileira de Ciencia Avícola*. 11, 7-15. DOI: 10.1590/S1516-635X2009000100002.
- NMX-FF-127-SCFI-2016. (2016) Norma Mexicana Productos Avícolas - Huevo Fresco de Gallina – Especificaciones y Métodos de Prueba. 1-10.
- OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal). (2019). Introducción a las recomendaciones para el bienestar de los animales. Código Sanitario para los Animales Terrestres. 7, 1-3.
- Paredes, M., A. Romero, M. Torres, L. Vallejos y J. Mantilla. (2019). Crecimiento y comportamiento reproductivo de la gallina criolla de huevos con cáscara verde de la provincia de Chota, Cajamarca. *Revista de*

- Investigaciones Veterinarias del Perú. 30, 733-744. DOI: 10.15381/rivep.v30i2.16070.
- Peñuela, A. y A. Hernández. (2018). Characterization of embryonic mortality in broilers. Revista MVZ Córdoba. 23, 6500-6513. DOI: 10.21897/rmvz.1245.
- Pym, R. (2013). Genética y cría de aves de corral en los países en desarrollo en los países en desarrollo, Diversidad genética y conservación de los recursos genéticos. Revisión del desarrollo avícola, FAO. 85-100.
- Ricaurte, S. L. (2005) Embriodiagnosis y ovoscopia. Análisis y control de calidad de los huevos incubables - Revista Electrónica de Veterinaria REDVET ®. 3, 1-25. ISSN 1695-7504.
- Rodríguez-Ortega, L., A. Rodríguez-Ortega, F. Hernández-Guzmán, J. Callejas-Hernández, A. Pro-Martínez y H. Leyva-Jiménez. (2020). Productive performance and egg physical characteristics of Tufted Creole and Marans hens. AgroProductividad. 10, 69-73. DOI: 10.32854/agrop.v13i10.1741.
- RStudio Team. (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Ruiz, N., G. Orrego, M. Reyes y M. Silva (2016). Aumento de la Temperatura de Incubación en Huevos de Gallina Araucana (*Gallus inauris*): Efecto sobre la Mortalidad Embrionaria, Tasa de Eclosión, Peso del Polluelo, Saco Vitelino y de Órganos Internos. Int. J. Morphol. 34, 57-62.
- Salgado, I. H. (2017). Métodos Estadísticos Exploratorios y Confirmatorios para Análisis de Datos Biométricos. FES Zaragoza. UNAM. ISBN: 978-607-02-4231-1.
- Samiullah, S., J. Roberts y K. Chousalkar. (2016). Oviposition time, flock age, and egg position in clutch in relation to brown eggshell color in laying hens. Poultry Science. 95, 2052-2057. DOI: 10.3382/ps/pew197.
- Şekeroğlu, A. y M. Duman. (2011). Effect of Egg Shell Colour of Broiler Parent Stocks on Hatching Results, Chickens Performance, Carcass Characteristics, Internal Organ Weights and Some Stress Indicators. Kafkas Univ Vet Fak Derg. 5, 837-842. DOI:10.9775/kvfd.2011.4630.

- Sossidou, E.N., A. Dal Bosco., H.A. Elson y C.M.G.A. Fontes. (2011). Pasture-based systems for poultry production: Implications and perspectives. *World's Poultry Science Journal*. 67, 47-58. DOI: 10.1017/S0043933911000043.
- Tona, K., F. Bamelis, B. De Ketelaere, V. Bruggeman, V.M.B. Moraes, J. Buyse, O. Onagbesan y E. Decuypere. (2003). Effects of egg storage time on spread of hatch, chick quality, and chick juvenile growth. *Poultry Science*. 82, 736-741. DOI: 10.1093/ps/82.5.736.
- Tullett, S.G. (1990). Science and the art of incubation. *Poultry science*. 69, 1-15. DOI: 10.3382/ps.0690001.
- UNA (Unión Nacional de Avicultores). (2019). Indicadores económicos del sector avícola, 2019. Edición 25. México.
- Van der Pol, C.W., I.A.M. Van Roover-Reijrink, C.M. Maatjens, H. Van den Brand y R. Molenaar. (2013). Effect of relative humidity during incubation at a set eggshell temperature and brooding temperature posthatch on embryonic mortality and chick quality. *Poultry Science*. 92, 2145-2155. DOI: 10.3382/ps.2013-03006.
- Villacís, G., G. Escudero, F. Cueva y A. Luzuriaga. (2016). Características Morfométricas de las Gallinas Criollas de Comunidades Rurales del Sur del Ecuador. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 27, 218-224. ISSN: 1682-3419.
- Wilson H.R. (1991). Interrelationship of egg size, chick size, post hatching growth and hatchability. *World's Poultry Science Journal* 47, 5-20.