

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



Efecto del uso de nano zinc en la dieta alimenticia sobre los parámetros de crecimiento en pollitas Lohmann Brown criadas en piso

Por:

Jozabed Gibran Gorgonio Gallegos

TESIS

Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México

Junio 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Efecto del uso de nano zinc en la dieta alimenticia sobre los parámetros de crecimiento en pollitas Lohmann Brown criadas en piso

Por:

Jozabed Gibran Gorgonio Gallegos

TESIS

Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por:


Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán
Presidente


Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Vocal


MC. Julieta Zimara Ordoñez Morales
Vocal


Dr. Oscar Angel García
Vocal Suplente


MC. José Luis Francisco Sandoval Elías
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México
Junio 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Efecto del uso de nano zinc en la dieta alimenticia sobre los parámetros de crecimiento en pollitas Lohmann Brown criadas en piso

Por:

Jozabed Gibran Gorgonio Gallegos

TESIS


Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA


Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán
Asesor Principal



Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Coasesor



MC. Julieta Ziomara Ordoñez Morales
Coasesor



MC. José Luis Francisco Sandoval Alías
Coordinador de la División Regional de Ciencia Animal



Torreón, Coahuila, México
Junio 2024

AGRADECIMIENTOS

A Dios: Por permitirme estudiar y sobrevivir lejos de mi familia, por que puso en mi camino a las personas correctas, por darme el valor, el coraje y la confianza en mí mismo.

A mi pareja: Dalila Yescas Illescas, por impulsarme en los momentos en el cual quise abandonar mis sueños, por ser mi compañera de confianza y mano derecha.

A mis padres: Cirilo Gorgonio Ramírez y Eva Gallegos Apolonio, por haberme instruido, educado, por haberme dado la oportunidad y apoyarme en lo que pudieron tanto económicamente como emocionalmente, para que yo lograra culminar con mis estudios.

A mis hermanos: Sandra Yadira Gorgonio Gallegos, Salomón Gorgonio Gallegos, Diana Laura Gorgonio Gallegos y Eliseo Gorgonio Gallegos, por nunca reprochar en los momentos que no pude estar con ellos por estar lejos, porque a pesar de la distancia siempre hemos tenido esa unión y buena comunicación como hermanos.

A mis colegas y amigos: Sebastián Haro Lavín y Giovanni Aguilar Valero, que han sido de gran ayuda en todo este trayecto desde el primer semestre y me han servido de ejemplo para querer seguir superándome.

A mis asesoras Leticia Romero Gaytán Alemán, Dalia Ivette Carrillo Moreno y Julieta Ordoñez Morales: por sus atenciones, por la oportunidad que me dieron de poder haber contribuido con ellos y que me tuvieron la paciencia suficiente ya que sin ellas no hubiese sido posible este proyecto de investigación.

Al Médico Veterinario Zootecnista: Fernando Vargas Velázquez y a su familia por haberme dado la oportunidad y confianza de colaborar con él en su clínica veterinaria, que me brindo su apoyo, amistad y siempre tuvo la amabilidad de compartirme sus conocimientos.

DEDICATORIA

A mi familia: Cirilo Gorgonio Ramírez y Eva Gallegos Apolonio; Dalila Yescas Illescas; Sandra Yadira Gorgonio Gallegos, Salomón Gorgonio Gallegos, Diana Laura Gorgonio Gallegos y Eliseo Gorgonio Gallegos; Ana Alonso Yescas y Félix Gallegos Apolonio, que han esperado verme culminar mis estudios, este logro es de ustedes también.

A mis seres queridos que ya no están conmigo (abuela, primo y tío) pero que fueron testigos del inicio de mi carrera y dejaron marca en mi vida con su apoyo y amor, este logro es de ustedes también.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ABREVIATURAS y SÍMBOLOS.....	vii
RESUMEN.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS:.....	3
2.1. Generales:.....	3
2.2. Específico:.....	3
III. HIPÓTESIS:.....	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1. Avicultura.....	4
4.2. Importancia de la avicultura.....	5
4.3. Avances en la industria avícola	6
4.4. Avicultura en México y el mundo	8
4.5. Bienestar animal.....	9
4.6. Sistema digestivo en las aves de corral	11
4.7. Nutrición en aves de corral.....	17
4.8. Importancia de los minerales traza en las aves de corral.....	18
4.9. Importancia del Zn en aves de corral	21
4.10. Recomendaciones de Zn en aves	22
4.11. Efectos de una dieta con deficiencia de Zn en aves	23
4.12. Administración de Zn a la dieta de las aves	24
4.13. Nanotecnología en aves.....	26
4.14. NPs ZnO en aves de postura	27
4.15. NPs ZnO como antibacteriano	30
4.16. Exceso de NPs ZnO en la dieta	31
V. MATERIALES Y MÉTODOS	32
5.1. Lugar de estudio.....	32
5.2. Manejo y alimentación de los animales.....	32

5.3. Variables a evaluar.....	32
5.3.1. Peso promedio semanal	33
5.3.2. Conversión alimenticia.....	33
5.3.3. Consumo de alimento promedio semanal.....	33
5.4. Análisis estadístico.....	34
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
VII. CONCLUSIONES.....	39
VIII. LITERATURA CITADA	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Enzimas digestivas que realizan la degradación de nutrimentos	15
Tabla 2. Sistema digestivo de la gallina y sus funciones	15
Tabla 3. Consumo de alimento promedio, peso promedio semanal e ICA	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes del sistema digestivo de la gallina	16
Figura 2. Porcentaje de rechazo de alimento.	35
Figura 3. Expresa el peso promedio semanal.....	36

ABREVIATURAS y SÍMBOLOS

NPs: Nanopartículas

Zn: Zinc

ZnO: Oxido de Zinc

NPs ZnO: Nanopartículas de óxido de zinc

PFA: Aditivos alimenticios fitogénicos

Cu: Cobre

Fe: Hierro

Mn: Manganeso

Ca: Calcio

P: Fosforo

Cd: Cadmio

aa: aminoácidos

Znaa: Zinc unido a un aminoácido

SO₄: Sulfato

ZnSO₄: Sulfato de zinc

SOD: Superóxido dismutasa

ADN: Ácido desoxirribonucleico

ALT: Alanina aminotransferasa

GGT: Gamma-glutamil transferasa

AST: Aspartato aminotransferasa

NRC: Consejo Nacional de Investigación

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

OMS: Organización Mundial de la Salud

OIE: Organización Mundial de Sanidad Animal

OMC: Organización Mundial de Comercio

pH: Potencial de Hidrógeno

mg: miligramo

g: gramo

kg: kilogramo

mm: milímetro

cm: centímetro

cm²: centímetro cuadrado

km²: kilómetro cuadrado

ml: mililitro

nm: Nanómetro

°C: Grados centígrados

IoT: Internet Of The Things (El internet de las cosas)

GRAS: Generalmente Reconocido como Seguro

GC: Grupo control

G60: Grupo 60

ICA: Índice de Conversión Alimenticia

RESUMEN

El objetivo fue evaluar la inclusión de nanopartículas de óxido de zinc (NPs ZnO), utilizando zeolita como vehículo en una dieta de pollitas Lohmann Brown, sobre los parámetros de crecimiento en un sistema de crianza en piso. Se obtuvo un lote de 200 aves recién nacidas formando 2 grupos al azar ($n=100$) con 25 aves por cada repetición ($r=4$). El Grupo Control (GC) tuvo una dieta basal sin suplementación y el Grupo tratado (G60) fue suplementado con 60 miligramos (mg) de NPs ZnO con tamaño de partícula de 50 nanómetros (nm). Las variables evaluadas fueron el peso promedio semanal, índice de conversión alimenticia (ICA) y consumo de alimento promedio semanal. En los resultados obtenidos se mostró diferencia significativa solo en la semana 11 con respecto al peso promedio, en cuanto al ICA de la semana 8 a la semana 17 de vida resultó ser estadísticamente diferente (GC:4.96 vs G60:3.05; $p<0.05$) y en cuanto al porcentaje de rechazo de alimento promedio a partir de la semana 12 presentaron diferencias estadísticas ($p<0.05$), mientras que para la semana 14 y 16 fueron altamente significativas ($p<0.01$). Se concluye que las NPs ZnO a una dosis de 60 mg beneficia a las aves de postura, ya que en este experimento las aves tratadas consumieron menos alimento, ganando el mismo peso que el grupo control.

Palabras clave: Zinc, Aves de postura, Óxido de zinc, Nanoparticulas

I. INTRODUCCIÓN

Las aves de corral han cobrado gran importancia en los últimos tiempos, esta industria crece años tras año y se ha convertido en una generadora indispensable de proteína animal para la sociedad mundial, además ha experimentado importantes transformaciones en las últimas décadas (Engel *et al.*; 2023). Francisca de Novais (2024), afirma que la avicultura es un sector al alza en el mercado nacional como internacional. Un punto muy importante para la cría de aves de corral son los avances tecnológicos ya que esta se destaca por tener las tecnologías avanzadas más recientes a su alcance lo que la convierte en una actividad global altamente tecnificada mejorando su productividad y eficiencia cada vez más (Valadez, 2020). Las aves productoras de huevo necesitan un cuidado especial enfocado a su alimentación y nutrición, ya que esto les ayudara a suplir sus requerimientos nutrimentales que el organismo le demande para poder brindar los productos proteicos para el consumo humano. Para lograr esto, las tecnologías más recientes se han venido aplicando a este sector, uno de ellos y más novedoso es la nanotecnología, ésta se está aplicando en medicina humana, en plantas y en animales como las aves. La nanotecnología experimenta recientemente gran desarrollo en diversos campos científicos (Mohd *et al.*, 2023), como la nutrición animal, donde se trabajó con Nanoparticulas de Oxido de Zinc (NPs ZnO) ya que como se mencionó anteriormente la nutrición en aves de corral es de suma importancia y que mejor suplir los requerimientos nutricionales más razonablemente sin dañar el ambiente, por eso se emplea la forma nanométrica del Zinc (Zn), es importante mencionar que este mineral traza es esencial para la salud del ganado y desempeña un papel crucial en diversos procesos fisiológicos, incluyendo el crecimiento, la reproducción, la función inmunológica y la actividad enzimática (Geetha *et al.*, 2020). La biodisponibilidad del Zn puede ser más eficaz cambiando su tamaño en lugar de administrarlo en grandes cantidades sin poder ser aprovechado por el ave y ser excretado al medio ambiente causando contaminación por metales pesados (Mohd *et al.*, 2023; Younas *et al.*, 2023). Hay diversos estudios donde se aplica el Zn en forma nano, donde diferentes autores destacan que esto es muy beneficioso para el

organismo de las aves, que les ayuda más que la forma de Zn convencional, sin embargo, hacen falta investigaciones más detalladas enfocadas a líneas de aves de postura, que resalten los beneficios de estas NPs durante el desarrollo de las aves hasta llegar a su término de producción, por ello, se realizó este trabajo de investigación en pollitas ponedoras.

II. OBJETIVOS:

2.1. Generales:

Evaluar la inclusión de nano partículas de óxido de zinc (NPs ZnO), más zeolita como vehículo en una dieta de pollitas Lohmann Brown, sobre los parámetros de crecimiento, alojadas en un sistema de crianza en piso.

2.2. Específico:

- Demostrar la efectividad de las NPs ZnO sobre la dieta de pollitas para producción de huevo de plato, sobre los parámetros de crianza, respecto al GC.

III. HIPÓTESIS:

La dieta con inclusión de las NPs ZnO mejorará los parámetros de crianza de pollitas de postura de la línea Lohmann Brown comparado con el GC, criadas en piso.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Avicultura

La avicultura hace referencia a toda actividad asociada o vinculada con la cría y el cuidado de las aves, así también a todas las acciones que se llevan a cabo para el desarrollo y la explotación comercial de estas; también se puede describir como una rama de la zootecnia responsable de la crianza, el mejoramiento en cuestión de la rentabilidad en la industria, incluyendo las técnicas y conocimientos en estos animales para el provecho de sus productos; este campo quizás sea el de mayor progresión y el más bondadoso de todas las áreas en la ganadería, potenciado por una gran demanda; se ha extendido, consolidado y universalizado en los últimos 15 años en países de todos los niveles de ingreso (FAO, 2013).

Ray y Pradhan (2011), indican que la avicultura implica la cría de ganado en confinamiento a alta densidad para la producción de carne y huevo; y distingue que este sector se ha transformado rápidamente de una empresa de traspatio a una agroindustria dinámica. Esto se asemeja con lo que cita Engel *et al.* (2023), describiendo que la avicultura se ha mostrado años tras año como una generadora indispensable de proteína animal para la sociedad mundial y que ha experimentado importantes transformaciones en las últimas décadas.

Se dice que las aves fueron introducidas al nuevo mundo por los españoles y desde entonces la crianza de estos animales se volvió un evento extensivo; posterior a esto a partir del siglo XX esta actividad se intensificó dando el surgimiento de la avicultura como actualmente la conocemos (Sarmiento-Franco y Sánchez-Casanova, 2019).

Este sector se ha vuelto una industria que comprende diversas etapas, entre ellas la mejora genética, obtención individuos progenitores, elaboración de raciones con diversos nutrimentos, incubación, desarrollo, crianza de pollitas, y la distribución del producto ya sea carne o huevos; por ello a este oficio se le ha reconocido como una cadena agroindustrial primaria; referente a lo genético, en las aves de producción se consideran líneas genéticas ya que los individuos son

el resultado de diversos cruces con distintas razas y su linaje están sinmentados en los entrecruzamientos híbridos y retoman los nombres de las empresas que los origina (Vargas, 2016).

4.2. Importancia de la avicultura

El ámbito de las aves, forma parte de las producciones de gran incremento en el contexto económico internacional, tanto en países industrializados como en desarrollo (Goretta, 2019). Podemos reconocer la importancia de este sector ya que en todo el mundo es considerada una de las actividades agroalimentarias más fuertes, dinámicas y de vanguardia (Valadez, 2020).

La industria avícola cobra importancia desde el punto de vista alimentario, tanto así que no para de producir ante cualquier situación, la reafirmación fue durante la pandemia ya que uno de los alimentos básicos para el consumidor es el huevo por la calidad de su proteína, versatilidad, accesibilidad; es decir, se puede adquirir prácticamente en cualquier sitio, por lo que es claro que su demanda por los consumidores no cesará en ningún caso adverso (Valadez, 2020). El huevo fue uno de los alimentos sobre demandados durante la pandemia por las cuestiones antes mencionadas he aquí la importancia de la avicultura. Además, el huevo es la proteína más igualitaria, incluso más que la carne de pollo (Ruiz, 2018).

Así también su importancia es muy notable en la industria agrícola, ya que la avicultura es la industria ganadera básica que desempeña un rol de suma importancia en el fomento de la ampliación económica asegurando el suministro del mercado y aumentando los ingresos de los agricultores.

Diversos estudios mencionan que en México tiene mucha importancia la avicultura a pequeña escala en el ámbito rural, ya que se desempeñan dos funciones muy importantes con las aves, la primera es que estos animales aportan la seguridad alimentaria y por otro lado generan ingresos económicos para los productores (Romero-López, 2021).

4.3. Avances en la industria avícola

Actualmente la avicultura está en un amplio crecimiento, tanto a nivel mundial como nacional. Álvarez (2022), menciona que la producción avícola ha demostrado un crecimiento considerable a nivel mundial desde 1970. La avicultura es una de las áreas de la ganadería con crecimiento muy dinámico en la sociedad; en el intervalo de los años 1961 y 2001 la población avícola aumento de un 621 por ciento (Nicol y Davies, 2018). Dato semejante con lo que redacta Ruiz (2018), donde informa que las cifras del intercambio mundial del pollo han aumentado 600 por ciento entre los años 1990 y 2020, y continua prácticamente en aumento, por lo que Francisca de Novais (2024), recalca que la avicultura es un sector en rápida subida en ambos mercados, nacional como internacional.

Hans (2019), destaca que la producción avícola es una actividad global y altamente tecnificada. Debido a sus procesos productivos que contienen los desarrollos tecnológicos más avanzados que le permiten mantener su productividad y eficiencia (Valadez, 2020).

Una de las herramientas muy importante con las que cuenta el área de la ganadería es la nutrición, que se basa en proporcionar a los animales los requerimientos que necesitan con el objetivo clave de obtener el potencial productivo y reproductivo de las aves teniendo en cuenta una buena rentabilidad económica (Hans, 2019).

Adicionar una buena nutrición a las aves afecta positivamente su salud, producción y crecimiento; para ello se toma en cuenta los requerimientos nutricionales en cada etapa fisiológica del individuo y en este punto, la industria avícola trabaja arduamente (Hans, 2019).

Prado-Rebolledo y García-Casillas (2024), destacan un punto muy importante en los avances que ha tenido la producción avícola en el aspecto de la nutrición y alimentación de las aves, donde distinguen que las aplicaciones en exceso de los antibióticos en la industria animal ha contribuido al aumento y la propagación de bacterias multirresistentes; debido a este hallazgo, como respuestas el 01 de enero del año 2006, la Unión Europea realizo una prohibición total en el empleo

de antimicrobianos en las raciones comestibles de las aves de corral. Para contrarrestar esta problemática, diversos países han restringido el uso de antimicrobianos como promotores del crecimiento y han promovido el desarrollo de alternativas en la producción avícola, utilizando los Promotores de Crecimiento de Origen Estándar los cuales se pueden utilizar como suplementos alimenticios ya que son compuestos nutritivos o no nutritivos que regulan la biodisponibilidad de los nutrientes del alimento, lo que posteriormente reduce el costo de la nutrición; el interés por estas sustancias es para subsanar la productividad desfavorables y que eviten problemas sanitarios, mejoren la productividad avícola y no desarrollen resistencia bacteriana contra los antimicrobianos. Un ejemplo de estas sustancias son los probióticos, oligosacáridos como prebióticos, ácidos orgánicos, enzimas dietéticas, aceites esenciales y oleorresinas como fitogénicos (Prado-Rebolledo y García-Casillas, 2024).

La avicultura es una de las áreas con un avance muy creciente, un ejemplo de ello son las medidas de bioseguridad, comparando con la pandemia del 2019 causada por el virus SARS-CoV-2 que tubo afectación y rápida propagación del coronavirus y ocasionó que en el mes de marzo del año 2020 la Organización Mundial de la Salud (OMS), la reconociera como pandemia global (Valadez, 2020). Surgieron variedad de medidas para evitar el contagio entre individuos, para las personas que ignoran el ámbito de la avicultura fue algo novedoso, mientras que en la industria avícola la aplicación de estas medidas de bioseguridad no es un tema nuevo, ya que desde siempre estas prácticas se han llevado a cabo de manera habitual (Valadez, 2020).

El argumento más valido para confirmar el avance de la avicultura es el siguiente ejemplo: al finalizar cada ciclo de producción es importante lavar y desinfectar la caseta y en caso de que se requiera usar un insecticida para controlar los vectores contaminantes, esto se hace con todos los objetos móviles dentro de la caceta, por lo regular las industrias avícolas utilizan un sistema de bioseguridad que lleva por nombre sistema todo dentro - todo afuera (Hans, 2019).

La avicultura es un área tan prometedora en el ámbito tecnológico, ya que se destaca por tener los avances más recientes de la tecnología, se habla de que en un futuro se llegue a integrar a esta industria la Agricultura 4.0 o también llamada agricultura inteligente que es uno de los principales dominios de investigación en tecnologías de internet de las cosas (IoT) (González *et al.*, 2023). González *et al.* (2023), distingue que la industria avícola se destaca como una de las principales beneficiarias de este tipo de estrategias de desarrollo tecnológico, especialmente en la facilitación de actividades de supervisión en sistemas de producción extensivos, tales como avicultura al aire libre y pastoreo donde se crían aves a campos abiertos, considerando la importancia que tienen los productos avícolas para los países en crecimiento y de los demandantes estándares que el público espera de esta industria para asegurar las adecuadas condiciones de crianza y bienestar de las aves comercializadas.

4.4. Avicultura en México y el mundo

A medida de la progresión que tiene la avicultura a nivel mundial, el alimento (huevo y carne) producido por este sector sigue siendo el de mayor consumo, se comercializa en distintos medios con una productividad de 2.94 millones de toneladas en México para 2018; en distintas zonas de México y a nivel global la industria avícola igualmente produce rendimiento de huevo marrón (Sarmiento-Franco y Sánchez-Casanova, 2019). México se posiciona en el primer lugar como consumidor per cápita del mundo y cuarto lugar en producir huevo para plato (Villanueva-Sánchez *et al.*, 2020).

Las aves criadas en corral o aves de corral se encuentran entre los principales animales utilizados en la producción ganadera industrial; la producción avícola predominante es el pollo y en menor grado son el pavo, pato, gansos y otros, estos representan hasta el 98% para la carne y el 92% para huevos de la producción avícola mundial; en general la producción avícola mundial ha tenido un crecimiento constante durante la década anterior, con un crecimiento del 1,32% en 2021 (Gržinić *et al.*, 2023).

4.5. Bienestar animal

Según el léxico del habla de la Real Academia Española describe al bienestar animal como la agrupación de cosas imprescindibles para tener una vida plena. Esto no solo aplica en los seres humanos, sino que también hace referencia a los animales e incluso existe un apartado que lleva por nombre las cinco libertades dentro del bienestar animal, estas libertades son indispensables para que un animal de producción como lo son las aves de corral puedan cumplir con su fin zootécnico; la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE), designa al concepto bienestar animal como el modo el cual el individuo enfrenta la naturaleza del medio en el cual habita (Nicol y Davies, 2018).

En la industria de las aves se han empleado muchas tecnologías y cuidados específicos, en este caso el bienestar animal tiene mucha relevancia desde épocas anteriores. De tiempo atrás se noto que diferentes conformaciones internacionales, tales como la (OIE) y la Organización Mundial de Comercio (OMC), reflexionaban con más intensidad interrogantes asociados con el buen trato a los animales (Gallard y Menichelli, 2021).

Villanueva-Sánchez *et al.* (2020), indican que con el paso del tiempo la curiosidad por el confort de las aves de postura ha aumentado, ya que la opinión pública y los grupos activistas han influido, más que por la evidencia científica, en su mayoría por la legislación Europea reciente referente al bien de las gallinas ponedoras, mencionan también que dichas masas de personas dieron una propuesta la cual es que la Unión Europea prohibiera la manera de albergar a las aves en jaulas y que fuera sustituido por un método de jaula enriquecida de espacio con 750 cm² de superficie por individuo, y que estos contaran con perchas y espacio donde pudieran anidar.

Con respecto a lo anterior se espera que en Estados Unidos de América en un intervalo al año 2025 arriba del 90% de la productividad de blanquillo para consumo humano se realice en régimen al aire libre, más aún se siguen utilizando el cómo alojamiento las jaulas para las gallinas en la mayoría de las producciones a nivel global, aunque se ha criticado por impedir las capacidades de estos

animales para expresar ciertos comportamientos (Villanueva-Sánchez *et al.*, 2020).

Las aves de corral difieren mucho de las personas, pero eso no impide que puedan experimentar estados emocionales como el estrés, por ello es necesario aplicar consideraciones éticas a la producción avícola que puedan asegurar la comodidad a poblaciones masivas de animales (Goretta, 2019; Nicol y Davies, 2018).

La opinión de los consumidores de productos avícolas cambia hacia la búsqueda de que estos sean inocuos, por ello las industrias encargadas de la producción están inmersas en programas de bienestar animal y de transparencia (Hans, 2019).

Referente a lo antes citado, esto se está reflejando cada vez más ya que las posibilidades de comercialización ya sea de huevo o carne involucran día a día y cada vez con más fuerzas e importancia el bienestar animal como exigencia para concretar las transacciones de estos productos (Gallard y Menichelli, 2021).

En la república mexicana, así como en diversos países de Latino América la obtención de huevo sigue practicándose mediante el sistema de gallinas en jaulas, cuya regulación se permite y se rige en un procedimiento en el cual las aves permanecen enjauladas en pequeños espacios por animal (400 cm²), ofreciendo alimento y agua ad libitum (Sarmiento-Franco y Sánchez-Casanova, 2019).

Para evitar inconvenientes con los demandantes del producto y como parte de la ética profesional; los médicos veterinarios zootecnistas deben asegurar que los animales ya sean de compañía o de producción como es el caso de las aves de corral en aves de postura que están destinados a producir huevo como alimentos para satisfacer las necesidades de los seres humanos, también se debe prevenir las enfermedades y administrar tratamientos veterinarios correctamente según sea el caso, procurar que se les proteja, maneje, alimente y sacrifique de manera compasiva, ya que si estos animales van a dar la vida en producción al beneficio de la sociedad.

Dentro de las libertades de los animales las cuales son cinco, es muy importante que se lleve a cabo por ellos el poder manifestarse de manera innata a su comportamiento, para ello se recomienda tener a las aves en un espacio que sea equivalente a su etapa fisiológica y libre de jaulas (Nicol y Davies, 2018). Por otro lado, algunos propietarios de compañías avícolas proponen que habría una mayor producción de las aves si fuesen alojadas en piso liberándolas de las jaulas y en parte es coherente, ya que se ha reportado que las gallinas alojadas en piso tienen una mayor expresión de comportamiento (Villanueva-Sánchez et al., 2020). Con todo esto se estima que la producción avícola es una de las que más viene trabajando la implementación de programas que favorezcan el bienestar animal (Goretta, 2019).

4.6. Sistema digestivo en las aves de corral

Distintamente a los mamíferos, el sistema digestivo de un ave es más corto, pero tiene un tránsito más rápido, que consta de 3 a 4 horas, cuya digestibilidad es principalmente llevada a cabo por enzimas con una baja fermentación microbiana; por esa razón su consumo de alimento está ajustado a la predilección de nutrimentos como el almidón, las proteínas, grasas, vitaminas, minerales y cantidades bajamente moderada de fibra. Ya que la capacidad de ingestión está limitada, suelen comer varias veces en un día (Abad-Guamán et al., 2017; Barroeta et al., 2020; Nuñez y Vargas, 2021).

Las gallinas son aves consumidoras de granos y monogástricas, se mencionan las partes del sistema digestivo de estos animales:

Cavidad oral u orofaringe, la cual está constituida por el pico, lengua, paladar duro y glándulas salivales que contribuyen a la secreción de enzimas como la amilasa salival la cual tiende a degradar el almidón (Vázquez, 2022). Las glándulas salivales secretan relativamente de 7 a 25 ml de saliva en ayuno durante 24 horas con un color lechoso a claro (Nuñez y Vargas, 2021). La gallina a diferencia de otras especies no mastica su alimento solo la traga y esta baja por el tubo esofágico mediante el peristaltismo del mismo (Vázquez, 2022). Las

aves toman su comida con el pico la cual es equivalente a los dientes en caso de un mamífero, el pico es fundamentalmente óseo, pero se encuentra recubierto por una estructura cornea que puede ser de consistencia dura, es curva en las gallinas y le sirve como una estructura prenatal, así como también para la prensión del alimento el cual solo tiene un corto recorrido en dicha estructura. Dentro de la boca se encuentra la lengua, esta tiene una forma puntiaguda con muy poca movilidad, en la parte posterior se encuentran unas papilas llamadas papilas filiformes que están direccionadas reversivamente para impedir que el alimento pueda retornar (Nuñez y Vargas, 2021). La lengua presenta pocas papilas gustativas (350 a diferencia de los humanos que tenemos 9000) aunque esto es compensado con otras habilidades, por ejemplo, ya que la lengua cuenta con receptores táctiles muy sensibles esto les ayuda a que clasifiquen y tengan predilección por sus alimentos mediante la consistencia que tengan, ya sea de textura dura o blanda (Barroeta *et al.*, 2020).

El esófago, que se localiza por encima de la tráquea, órgano tubular que puede aumentar su tamaño para el paso de alimento (Nuñez y Vargas, 2021). Tiene la función de transportar el alimento mediante importantes movimientos peristálticos, una vez que el alimento es tragado pasa por esta sección, el alimento es almacenado en el buche (Barroeta *et al.*, 2020; Vázquez, 2022).

El buche, realiza el trabajo de almacenamiento o reserva del alimento, esto es de suma importancia para aves migrantes, aquí la ingesta se humecta y se ablanda al tener contacto con la secreción salival y mucus, además lleva a cabo el control del llenado proventricular (Barroeta *et al.*, 2020; Vázquez, 2022). Aquí no se realiza ningún tipo de absorción estando el alimento en esta sección por un tiempo máximo de 2 horas y con un pH de 5 (Nuñez y Vargas, 2021).

El proventrículo o estomago glandular, es una estructura ovoide el cual tiene unión estrecha con la molleja, en su mucosa interna presenta glándulas que secreta el jugo digestivo, ácido clorhídrico y pepsina enzima encargada de degradar las proteínas y polipéptidos; la digestión de los alimentos e las aves se

lleva a cabo principalmente entre el proventrículo y la molleja (Barroeta *et al.*, 2020; Vázquez, 2022).

La molleja o estomago muscular, tiene una forma redonda, el cual no realiza secreción enzimática, pero si la trituración del alimento (Vázquez, 2022). Aquí se lleva a cabo la reducción de las partículas del alimento ingerido por el retroperistaltismo o reflujo que se produce entre el duodeno, proventrículo, molleja y el buche, con esto se agiliza el proceso de mezclado de las enzimas digestivas y el alimento, en algunos casos las gallinas consumen partículas duras como piedras que le sirven de ayuda en el procedimiento de trituración llevada a cabo en la molleja (Barroeta *et al.*, 2020).

Intestino delgado, inicia en la fracción posterior de la molleja terminando al inicio de los sacos ciegos y está fraccionado en tres secciones (Nuñez y Vargas, 2021). Realiza la captación y absorción de nutrimentos y agua, también en esta parte se vierten las secreciones pancreáticas y la bilis (Vázquez, 2022). Las tres secciones del intestino delgado de craneal a caudal son el duodeno, yeyuno e íleon. La parte duodenal, tiene forma de U, a este segmento se halla muy unido el páncreas, órgano que libera secreción acida la cual contribuye en el proceso de digestión ya que tiene un pH de 6.3 y se estima que en esta parte del intestino delgado el jugo gástrico manifiesta su mayor concentración; yeyuno esta parte tiene unas asas que lo adhieren al mesenterio, tiene un pH de 7.0 y el íleon, este último tiene una forma más longitudinal y tiene un pH de 7.5 finalizando al inicio del intestino grueso (Nuñez y Vargas, 2021). El rol de las sales biliares y de las secreciones pancreáticas son de suma importancia en el procedimiento de la digestión y la absorción de los nutrientes, las distintas enzimas del páncreas se encargan de la reducción del tamaño de las partículas que componen el alimento, todo esto ayuda a que los nutrientes sean bien absorbidos por el epitelio digestivo y posteriormente sean transferido por vía portal y lleguen al sitio blanco requerido, el restante de nutrientes no absorbidos, es utilizado por los microorganismos que se alojan en los sacos ciegos (Barroeta *et al.*, 2020).

Sacos ciegos, son dos estructuras de forma tubular que inician en la unión del intestino delgado, el ciego que se encuentra en la parte derecha presenta un pH de 7.0 a diferencia del ciego izquierdo que su pH es mayor, correspondiente a un valor de 7.1, en la parte final del ciego se ensancha y se estima que aquí se llevan a cabo los procesos de digestión de la celulosa (Nuñez y Vargas, 2021). En los ciegos se lleva a cabo la fermentación bacteriana de nutrientes (Vázquez, 2022). También conocidos como asas cecales, en este lugar se realiza gran parte de la fermentación por bacterias, el vaciado de los ciegos se realiza una vez al día ya que es algo escaso la producción de estas, que es lo que se puede observar en las heces con un color de tono masomenos marrón (Barroeta *et al.*, 2020).

Intestino grueso, esta fracción realiza la absorción proteica y de agua, consta de un pH de 7.3 y termina en la cloaca, donde convergen las terminaciones de los aparatos urinarios o urodeo, reproductor o proctodeo y digestivo o croprodeo; por tanto tenemos que en la cloaca se unen y se mezclan los productos desechados por los distintos sistemas y forman la excreta, la fracción de color blancuzca en las heces se debe a la eliminación de nitrógeno en forma de ácido úrico (Barroeta *et al.*, 2020; Vázquez, 2022). Aproximadamente las gallinas evacuan unas seis veces al día, de la cual cuatro de estas expulsiones provienen del intestino y se aprecian de un color verdoso, las dos que restan tienen un color marrón chocolate y provienen de los sacos ciegos (Vázquez, 2022).

Glándulas anexas (hígado y páncreas). El páncreas secreta enzimas digestivas (secreción pancreática) como la amilasa, lipasa, tripsina, quimotripsina, el cual vierte su contenido a través de conductos al duodeno. Por su parte el hígado posee dos conductos biliares, (dos colédocos) que vuelcan sales biliares, estas sales degradan la grasa (Vázquez, 2022). Otras funciones son la digestión, eliminación de toxinas y con una acción directa en la síntesis de grasas, proteínas e hidratos de carbono (Nuñez y Vargas, 2021). La vesícula biliar es una bolsa de almacenamiento del líquido procedente del hígado y se

libera para la degradación de las grasas, por lo general la bilis se secreta en el duodeno (Nuñez y Vargas, 2021).

Tabla 1. Enzimas digestivas que realizan la degradación de nutrimentos

Nombre de la enzima	Función
Amilasa salival	Degradación de almidón
Pepsina	Degradación de proteínas a polipéptidos
Amilasa	Degradación de polisacáridos
Tripsina	Degradación de proteínas a péptidos
Lipasa	Degradación de la grasa coloidal a ácidos grasos
Sales biliares	degrada la grasa

(Vázquez, 2022).

Tabla 2. Sistema digestivo de la gallina y sus funciones

Estructura	Función
Boca (orofaringe)	Secreción de la enzima amilasa salival
Esófago	Paso del alimento
Buche	Almacenar alimento, control del llenado proventricular
Proventrículo o estomago glandular	Secreción de la enzima pepsina y ácido clorhídrico
Molleja o estomago muscular	Trituración del alimento
Intestino delgado	Absorbe nutrimentos y agua, recibe las secreciones enzimáticas del páncreas y vesícula biliar

Ciegos	Fermentación bacteriana de nutrientes
Intestino grueso	Absorción de agua
Cloaca	Depósito de excreta antes de salir al exterior
Glándulas anexas	
Hígado, vesícula biliar	Dos colédocos que vuelcan las sales biliares
Páncreas	Secreción de enzimas (amilasa, lipasa, tripsina, quimotripsina)

(Vázquez, 2022).

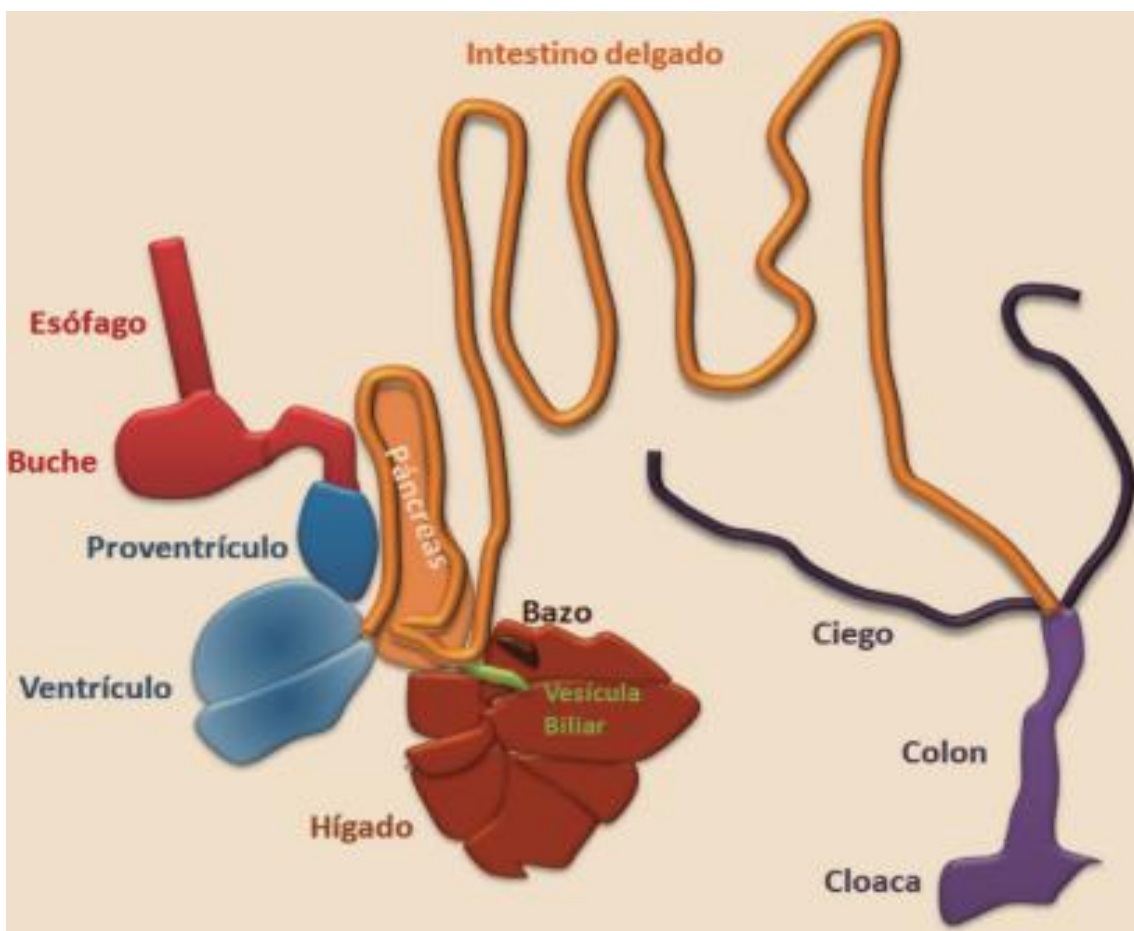


Figura 1. Partes del sistema digestivo de la gallina (Rodríguez *et al.*, 2017).

El hígado de los pollos es un órgano esencial que realiza diversas actividades, como el metabolismo de lípidos, hidratos de carbono, proteínas, vitaminas y minerales, la desintoxicación y la expulsión de sustancias innecesarias del alimento; además el hígado también sirve como el sitio de almacenamiento primario de vitaminas y algunos minerales en el cuerpo (Mohd *et al.*, 2023).

Con respecto a lo descrito en los apartados anteriores tenemos que la función del tracto digestivo es realizar la hidrólisis de macromoléculas como los hidratos de carbono, proteínas y grasas, también se encarga de llevar a cabo la absorción de sustancias nutrimentales que circulan en el lumen intestinal las cuales posteriormente alcanzaran a llegar a circulación sistémica (Gómez *et al.*, 2010).

4.7. Nutrición en aves de corral

Para cumplir con los requerimientos de las aves dependiendo de la etapa fisiológica en el cual se encuentra se formulan dietas, estas actualmente están constituidas por alimentos energéticos, vitaminas y minerales; en general los ingredientes que muchas veces constituyen una dieta para aves son: maíz, soja, semillas, leguminosas, sorgo, trigo harina de vegetales, harina de pescado entre otros; existen etapas en los cuales el organismo requiere mayor aporte de algún nutriente un ejemplo es cuando las gallinas están en la etapa de postura, tiene una alta demanda de proteína, ya que el producto que aporta contiene mucha cantidad de dicho nutriente, por eso en la dieta se debe adicionar una correcta cantidad de este nutrimento (Tovar *et al.*, 2020).

Algunas veces también se utilizan hierbas y extractos de plantas en la alimentación animal, se conocen como aditivos alimenticios fitogénicos (PFAs), por sus siglas en inglés, son de origen vegetal y se añaden para mejorar la productividad mediante el aumento de la digestibilidad, la absorción de nutrientes y la eliminación de residuos patógenos en el intestino animal (Bhagwat *et al.*, 2021).

4.8. Importancia de los minerales traza en las aves de corral

Los elementos nutricionales agregados a la dieta de animales de producción y compañía en cantidades microscópicas son llamados minerales traza; estos están involucrados en diversas funciones del organismo animal, por ejemplo, funciones estructurales, fisiológicas, catalíticas y regulatorias (Byrne y Murphy, 2022).

Los minerales como el cobre (Cu), el hierro (Fe), el manganeso (Mn) y el zinc (Zn) son esenciales para el crecimiento y desarrollo de los pollos, ya que participan en diversos procesos fisiológicos; participan en muchas vías metabólicas en animales y tienen funciones que son muy importantes para el mantenimiento de los tejidos como por ejemplo la reproducción, el crecimiento, la inmunidad, la formación ósea y el metabolismo energético. El Consejo Nacional de Investigación (NRC, 1994) recomienda requisitos de minerales traza para las aves de corral, pero estos valores se determinaron hace décadas o bien se establecieron de acuerdo a los datos de la década de 1950, que, en la actualidad debido a los avances genéticos de los pollos y los sistemas de producción modernos tan distintos, los nutricionistas incluyen niveles de minerales en el alimento basándose en su conocimiento práctico actualizado (Vieira *et al.*, 2020).

Vieira *et al.* (2020), relata que a pesar de que normalmente no se considera que los oligoelementos desempeñen un papel en el desarrollo óseo, esta depende de la disponibilidad de estos nutrientes y que además existe evidencia de que tanto los minerales óseos como la matriz orgánica son responsable de la resistencia ósea; además la presencia de oligoelementos Mn, Zn y Cu desempeñan un papel particularmente importante para la formación de tejidos especialmente estructuras dérmicas, así la correcta suplementación de estos minerales puede conferir una mayor resistencia de la piel; también destaca que estos tres minerales intervienen en el mantenimiento de la antioxidación en los tejidos, ya que se cree que la oxidación de lípidos es uno de los principales factores en el deterioro de la carne durante el proceso de enfriamiento; la carne de pollo de engorde tienen un alto potencial de oxidación debido a su contenido

de ácidos grasos poliinsaturados, la síntesis de enzimas antioxidantes como la superóxido dismutasa (SOD), es importante en términos de respuesta animal a condiciones de estrés oxidativo, sin embargo esta respuesta será efectiva solo si cofactores como el Cu, Zn y Mn para la SOD están disponibles, a medida que aumenta el Mn, la actividad de la enzima SOD especialmente de las mitocondrias puede reducir la oxidación degenerativa de la carne.

En la alimentación de las aves de corral se añaden minerales traza en forma inorgánica (sales de sulfato u óxido) y también en forma orgánica, ya que estos elementos son vitales para el bienestar físicos y mental; son componentes de todas las células, incluida la sangre, las hormonas, los nervios, los músculos, los huesos, los dientes y los tejidos blandos; algunos minerales son componentes integrales de enzimas que catalizan reacciones bioquímicas, incluida la producción de energía, el metabolismo, la transmisión de impulsos nerviosos, la contracción muscular y la permeabilidad celular; algunas literatura indican que la adición de minerales traza en la dieta de las aves de corral mejora los parámetros de rendimiento, la salud de las aves y los rasgos de calidad de la carne, también mejora el rendimiento de las gallinas ponedoras y la calidad de la cascara de huevo (Bhagwat *et al.*, 2021).

Algunas funciones de los minerales trazan son:

Cobre: está involucrado en reacciones metabólicas, incluida la respiración celular, la pigmentación de tejidos, la formación de hemoglobina (caeruloplasmina) y el desarrollo de tejido conectivo, también es componente esencial de varias metaloenzimas y protege contra el estrés oxidativo; cuando existe la deficiencia de este micro mineral, el organismo animal puede mostrar signos como debilidad muscular, anemia por deficiencia de hierro, hipopigmentación, cambios óseos similares al escorbuto, síntesis defectuosa de tejido conectivo, anomalías capilares, mineralización defectuosa de los tejidos nerviosos y defectos neurológicos, metabolismo lipídico alterado y mal funcionamiento cardíaco.

Hierro: importante para la función (fisiológica - hemoglobina), en la que la porción hemo funciona para transportar oxígeno desde los pulmones a los tejidos, enzimas mitocondriales de Fe esenciales para la producción oxidativa de mioglobina a células y tejido muscular, también es importante para la función inmunológica y el metabolismo de lípidos; los signos de deficiencia son crecimiento suprimido y volumen sanguíneo bajo, disminución del rendimiento animal, pérdida de apetito y peso, respiración espasmódica y en ocasiones se puede llegar a la muerte.

Manganeso: es constituyentes de múltiples enzimas, es componente de la matriz orgánica del hueso y esencial para el desarrollo del cartílago, está involucrado en el metabolismo del calcio y los carbohidratos, es necesario para la utilización de biotina, vitamina B1 y vitamina C. tiene asociación metabólica entre manganeso y colina que afecta el metabolismo de grasas en el hígado; los signos de deficiencia son el crecimiento deteriorado, anomalías esqueléticas, función reproductiva anormal, ataxia en recién nacidos, metabolismo de carbohidratos y lípidos alterados y síntesis de mucopolisacáridos afectado; existen problemas específicos en aves de corral los cuales incluyen: perosis (tendón deslizado) cascara de huevo delgada, condrodistrofia en pollitos embrionados, reducción de la producción de huevo y capacidad de incubación.

Zinc: tiene la función de activar diversas enzimas, es componente de muchas metaloenzimas importantes, esta críticamente involucrado en la replicación celular, en el desarrollo del cartílago y el huevo, se ve involucrado en la síntesis de proteínas, en el metabolismo de carbohidratos y muchas otras reacciones bioquímicas; los signos de deficiencia de este mineral traza es el crecimiento retardado, disminución de la ingesta de alimento, formación esquelética anormal, alopecia, dermatitis, crecimiento anormal de (lana, pelo, plumas) e impotencia reproductiva, anomalías fetales, reducción de la capacidad de incubación de los huevos, paraqueratosis, diarrea y atrofia del timo (Byrne y Murphy, 2022).

4.9. Importancia del Zn en aves de corral

El Zn es un mineral esencial para la salud del ganado y desempeña un papel crucial en diversos procesos fisiológicos, incluyendo el crecimiento, la reproducción, la función inmunológica y la actividad enzimática (Geetha *et al.*, 2020).

De los cuatro oligoelementos estudiados (cobre, hierro, manganeso y zinc), el Zn es el que tiene más influencia en el crecimiento de los pollos, esto se debe a las diversas funciones fisiológicas que tiene, como la catálisis, el soporte estructural, el soporte regulador y como componente integral de numerosas estructuras enzimáticas y metaloenzimas (Mohd *et al.*, 2023).

El músculo esquelético y el hueso contienen más del 90% del Zn corporal total en humanos, pero solo el 55% en pollos, mientras que la piel y las plumas representan alrededor del 31% del Zn corporal total; los tejidos corporales ricos en Zn incluyen el hueso, el hígado, el riñón y el páncreas, el Zn puede redistribuirse a través de los tejidos corporales como el músculo (músculo de la pechuga), que está influenciado por el nivel de suplementación de Zn en la dieta animal (Mohd *et al.*, 2023).

Este es un oligoelemento esencial que juega un papel fundamental en la mejora de la absorción y asimilación de nutrientes, la defensa antioxidante y el estado endocrino en la nutrición avícola (Hafez *et al.*, 2020). Contribuye al crecimiento adecuado, el mantenimiento de la formación normal del emplume y huesos, la producción de hormonas que contribuyen al crecimiento, la resistencia ósea, la síntesis de proteínas, la síntesis de ADN (ácidos nucleicos), el rendimiento reproductivo y el metabolismo óptimo de las enzimas; además el Zn es necesario en las aves de corral para la homeostasis mineral ósea (Mohd *et al.*, 2023; El-Sawy *et al.*, 2021; Younas *et al.*, 2023).

Los organismos vivos se ven afectados positivamente por este compuesto, ya que también influye en el sistema inmunitario, la proliferación celular, el metabolismo de proteínas y carbohidratos; en el hígado, el zinc es un cofactor de

las enzimas que producen la alanina aminotransferasa (ALT), la gamma-glutamyl transferasa (GGT) y la aspartato aminotransferasa (AST) (Younas *et al.*, 2023).

El Zn es un mineral traza que desempeña múltiples funciones fisiológicas en los distintos procesos biológicos del organismo, los cuales son esenciales para el crecimiento y desarrollo óptimo; la principal función del zinc en el organismo es la asociación que tiene con enzimas y proteínas, tanto como parte de su estructura molecular, actuando como coenzimas y activadores (Nguyen *et al.*, 2021).

Este mineral juega un papel importante en la cicatrización de las heridas, la restauración de la integridad de los tejidos dañados, tiene efectos antioxidantes, ya que es un cofactor del superóxido de Cu/Zn que juega un papel crucial en la protección de las células frente a los radicales de oxígeno, asegura el crecimiento, la salud, la fertilidad normal, el desarrollo de huesos y plumas, y regula el apetito en los pollos (De Grande *et al.*, 2020).

El Zn es un oligoelemento necesario para todos los seres vivos; los alimentos de origen animal y muchas plantas contienen zinc, pero también suelen tener cantidades sustanciales de fitato; los seis iones de zinc se unen fuertemente a los fitatos, impidiendo su digestión en el tracto digestivo, el zinc puede encontrarse en los piensos para aves de corral ya sea en forma de zinc inorgánico apto para piensos, cloruro de zinc, óxido de zinc o en formas quelatadas de ácidos orgánicos y aminoácidos (Younas *et al.*, 2023).

4.10. Recomendaciones de Zn en aves

Se ha comprobado que la administración de Zn tiene un efecto positivo ante la formación ósea a través de sus impactos directos en la síntesis de proteínas y su actividad como mediadores del crecimiento hormonal y que también tiene impacto a nivel digestivo, ya que una deficiencia de este afecta negativamente a la integridad intestinal al comprometer su permeabilidad, la integridad del tejido epitelial, estructura y función de las barreras intestinales; por otro lado tiene

influencia en la microbiota intestinal y la regulación de los niveles de expresión de varios genes (Nguyen *et al.*, 2021).

Se recomienda la suplementación de Zn adicional a la ración de pollos para cumplir con los requisitos dietéticos, ya que una dieta sin Zn suplementario proporciona un déficit de este, por lo tanto, complementar la alimentación de los pollos con tal mineral es una práctica común en la industria (De Grande *et al.*, 2020). Así pues, es necesario suplementar con Zn la dieta de los pollos, ya que el Zn de los piensos de origen vegetal es insuficiente para satisfacer las necesidades corporales del ave (Mohd *et al.*, 2023).

Mohd *et al.* (2023), menciona que la NRC dicta que las necesidades recomendadas de Zn para pollos de engorda es de 40 mg/kg para favorecer el crecimiento y la producción; esto deja algo de dudas, ya que las recomendaciones de la NRC se basaron en líneas de pollos de engorde anteriores y pueden ser obsoletos para las líneas de pollos actuales.

Geetha *et al.* (2020), menciona que el nivel de Zn recomendado en varias dietas para aves oscila entre 40 y 75 ppm.

4.11. Efectos de una dieta con deficiencia de Zn en aves

La deficiencia de Zn puede provocar un crecimiento reducido, función inmunológica deteriorada, un bajo rendimiento productivo y reproductivo (Geetha *et al.*, 2020).

Una dieta suplementada sin Zn afecta negativamente el desarrollo óseo óptimo y la salud intestinal en pollos. Los niveles más altos de Zn suplementario en la dieta alteran la población de microbiota cecal a favor de *Lactobacillus* y pueden disminuir la carga bacteriana total (Nguyen *et al.*, 2021).

En los pollos se sabe que la deficiencia de Zn puede dar lugar a una serie de anomalías, incluyendo una disminución de la ingesta de alimentos, crecimiento lento, patas acortadas y engrosadas con corvejones agrandados,

deficiencia de la función inmune, discapacidad de los huesos y articulaciones, emplume deficiente (plumas encrespadas) y la muerte (Mohd *et al.*, 2023; Younas *et al.*, 2023).

4.12. Administración de Zn a la dieta de las aves

Tradicionalmente el zinc se ha estado suministrado a la dieta de las aves para cubrir sus requerimientos en forma de sales inorgánicas como sulfato (ZnSO_4) y óxido (ZnO) debido a su bajo coste y disponibilidad comercial, pero la baja eficiencia de utilización de las fuentes inorgánicas de Zn presenta riesgos tanto para la producción avícola así como para el medio ambiente; en el caso de la producción avícola este se ve afectado por su baja biodisponibilidad y retención debido a sus débiles enlaces iónicos, que permiten que el ion metálico se disocie completamente de la molécula de sulfato u óxido una vez que entra en contacto con el agua, lo que hace que no esté disponible para su absorción a través del intestino delgado (Hafez *et al.*, 2020; Mohd *et al.*, 2023).

La fuente de Zn en la alimentación afecta la tasa de absorción del mismo, ya que se adiciona principalmente zinc inorgánico como (ZnO y ZnSO_4) (De Grande *et al.*, 2020).

Los enlaces iónicos en las sales inorgánicas son muy débiles, lo que permite que el ion metálico se disocie por completo de la molécula de sulfato u óxido una vez que entra en contacto con el agua, la molécula disociada libera el ion zinc, que luego pueden unirse y antagonizar una cantidad de componentes de la dieta como otros minerales, vitaminas, enzimas o moléculas de fitato, lo que perjudica no solo a la absorción de zinc si no también la de otros minerales y nutrientes; el sulfato de zinc es altamente soluble en agua lo que lleva a la descomposición de vitaminas y la oxidación de las grasas, mientras que el ZnO es menos reactivo pero también menos biodisponible para las aves de corral (Hafez *et al.*, 2020; Mohd *et al.*, 2023; Nguyen *et al.*, 2021).

La biodisponibilidad de los suplementos de zinc se ve afectada por la competencia con otros minerales o la inhibición de los antagonistas presentes en

la dieta, por lo que es importante suministrar una fuente de zinc que se absorba por una ruta que no esté inhibida o saturada por Zn y otros metales traza (De Grande *et al.*, 2020).

En consecuencia, los fabricantes de piensos utilizan dosis de Zn superiores a las recomendadas por el NRC, de 80 a 120mg/kg por lo que se ha vuelto una práctica común la formulación de dietas con mayor suplementación de Zn con el fin de lograr un rendimiento óptimo (Mohd *et al.*, 2023).

El aumento de zinc provoca incrementos en los costes de producción de piensos y la excreción de Zn no digerido en las heces, lo que contribuye a la contaminación del medio ambiente por metales pesados; además puede afectar al desequilibrio de otros oligoelementos como el calcio (Ca), el fósforo (P), el cobre (Cu), el hierro (Fe) y el cadmio (Cd), y reducir las vitaminas debido a la actividad de unión del ión Zn con componentes de la dieta que son antagonistas de los primeros y restringen su absorción (Mohd *et al.*, 2023; Younas *et al.*, 2023). Pero la disminución de los niveles de zinc en el plasma ha provocado alteraciones en los procesos fisiológicos y diversas enfermedades hepáticas, como la cirrosis y la hepatitis (Younas *et al.*, 2023). De ahí que la mejora de la biodisponibilidad del Zn mediante el uso de fuentes de Zn con mejor absorción y disponibilidad sea un elemento clave para resolver este problema (Mohd *et al.*, 2023).

Además, bajo condiciones de estrés para poder obtener un buen rendimiento de la producción, se requieren niveles más altos de suplementos de Zn, lo que puede ocasionar el aumento de la excreción de Zn en las heces (Hafez *et al.*, 2020).

En las fuentes de zinc orgánico, el zinc se acopla a un ligando orgánico, generalmente a un aminoácido, péptido o proteína, y estos tienen una mayor biodisponibilidad que las fuentes de zinc inorgánicos (De Grande *et al.*, 2020).

La suplementación con zinc orgánico en la dieta de pollos es responsable de una menor excreta de Zn en las heces a comparación de una dieta suplementada con Zn inorgánico, esto debido a la biodisponibilidad mejorada; además la composición microbiana en el ilion no influye en diversidad o riqueza bacteriana,

pero muestra una composición microbiana cambiante, los géneros individuales pertenecientes al filo firmicutes se redujeron al suplementar Zn orgánico ZnAA sin afectar la abundancia relativa general del filo (De Grande *et al.*, 2020).

Se ha demostrado que las fuentes de Zn orgánico, es decir, la metionina de Zn y el proteinato de Zn tienen una mayor biodisponibilidad que las fuentes de Zn inorgánico y pueden reemplazarlas en dosis iguales e incluso más bajas sin impacto negativo en la producción avícola o al medio ambiente (Hafez *et al.*, 2020).

La suplementación con complejo de ZnAA que es el Zn en forma orgánica unido a un aminoácido, da como resultado una mayor longitud de las vellosidades y la profundidad de las criptas lo que indica una morfología intestinal mejorada (De Grande *et al.*, 2020).

4.13. Nanotecnología en aves

Actualmente los minerales trazas, incluido el zinc (Zn) se producen comercialmente en forma de nanopartículas (NPs) con la afirmación de tener una mayor biodisponibilidad y ejercer una eficacia superior en comparación con las formas inorgánicas y orgánicas (Hafez *et al.*, 2020).

La nanotecnología ha experimentado recientemente un gran desarrollo en diversos campos científicos, entre ellos la nutrición animal; muchos estudios han indicado que el Zn en forma NPs es un oligoelemento eficaz para el ganado y aves de corral (Mohd *et al.*, 2023).

En los últimos años las NPs metálicas han obtenido mucha influencia, esto se debe a su tamaño diminuto de partícula, la cual las hace más reactivas; la síntesis de NPs puede realizarse por medios químicos, físicos o biológicos, a diferencia de los dos primeros que consumen energía o requieren disolventes tóxicos, la síntesis biológica es segura, limpia, biocompatible y ecológica, que permite reducir rápidamente los iones metálicos a temperatura ambiente (Younas *et al.*, 2023).

Las NPs ZnO demostró una mejora en la eficiencia de la alimentación y minimizo la excreción de Zn al medio ambiente, sus novedosas propiedades incluyen un tamaño de partícula extremadamente pequeño con una elevada área superficial y una alta estabilidad química, lo que permite una excelente eficacia de absorción y reactividad química, a la vez que las distingue de sus homologas más voluminosas (Mohd *et al.*, 2023).

4.14. NPs ZnO en aves de postura

La biodisponibilidad del Zn puede mejorarse cambiando el efecto del tamaño, ya que el tamaño reducido del ZnO mejora la biodisponibilidad mediante una mayor ionización de zinc (Geetha *et al.*, 2020).

El ZnO es un compuesto inorgánico con dimensiones distintivas como semiconductor, un amplio espectro de absorción de radicales, piezoelectricidad, piroelectricidad y alta actividad catalítica; debido a sus cualidades no toxicas, el ZnO ha sido designado como “Generalmente Reconocido como Seguro” (GRAS) por la Administración de Alimentos y Medicamentos de EE.UU. Por esto se estima que su uso en animales y humanos es seguro (Windiaستی *et al.*, 2019; Younas *et al.*, 2023).

Las NPs ZnO en cuanto a tamaño poseen propiedades multifuncionales y físicas, y pueden sintetizarse fácilmente. Las NPs ZnO afectan positivamente al crecimiento, al estado fisiológico del ganado y a las aves de corral en función de la dosis; pueden tener el potencial de suministrar eficazmente oligoelementos a los animales, aumentando la biodisponibilidad mineral. Debido al tamaño de estas partículas, así como a su elevada relación superficie/volumen se ha demostrado que mejoran la disponibilidad, además de ofrecer grandes superficies, las nanoparticulas tienen una elevada actividad catalítica y una fuerte capacidad de adsorción (El-Sawy *et al.*, 2021; Younas *et al.*, 2023).

El tamaño de partícula más pequeño proporciona una plataforma de entrega única, que permite que las partículas de menos de 5000 nm atraviesen las membranas endocíticas y linfáticas sin interrupción, y las partículas de menos

de 500 nm atraviesen las membranas celulares (Geetha *et al.*, 2020; Mohd *et al.*, 2023). Esto concuerda con lo que nos dice Windiasti *et al.* (2019), que las NPs ZnO de pequeño tamaño pueden penetrar en la membrana celular y causar daños posteriores; también menciona que una gran superficie de nanopartículas generalmente acompañaba a la alta actividad antimicrobiana debido a la mayor exposición del plano de la superficie polar a la membrana celular bacteriana.

Además, las NPs ZnO al ser más biodisponibles y ser más bioactivas que el ZnO convencional, pueden usarse en dosis más bajas y conferir efectos más beneficiosos tanto para el ganado como para el medio ambiente (Geetha *et al.*, 2020; Hafez *et al.*, 2020).

Mohd *et al.* (2023), nos dice que las NPs ZnO tienen una tasa de utilización mucho mejor debido a su penetración directa en el cuerpo del animal, su distribución en la sangre y los órganos para rápida utilización.

Las NPs ZnO pueden favorecer el crecimiento y la mineralización de los huesos (Younas *et al.*, 2023). De acuerdo con Mohd *et al.* (2023), los huesos han sido evaluados como el índice más sensible para la biodisponibilidad del Zn en pollos de engorde, independientemente del suministro o dosis de Zn debido a su función como reservorio de este micromineral en el cuerpo; este mismo autor y sus colaboradores mencionan el resultado de uno de sus experimentos donde nos dice que las cenizas de la tibia de los pollos de engorde alimentados con ZnO mostraron una menor concentración de Zn en comparación con los pollos alimentados con NPs de ZnO a dosis bajas y que además el suplemento de NPs ZnO a 100 mg/kg a la dieta, retuvo más Zn en la ceniza de la tibia que el ZnO, lo que indica una mayor deposición de Zn en el hueso.

Mohd *et al.* (2023), menciona los resultados de otros autores en sus experimentos donde las NPs ZnO tienen mejores resultados sobre el ZnO o ZnSO; también demostraron que la suplementación de pollos de engorde con NPs ZnO aumentaba la concentración de Zn en las cenizas de la tibia más que el ZnSO convencional.

Estos beneficios se deben a que al Zn más de 300 enzimas lo utilizan para catálisis, roles estructurales y funciones reguladoras como el metabolismo de sustancias, incluyendo carbohidratos, energía, proteínas y ácidos nucleicos; tienen baja toxicidad, dotan de buena biocompatibilidad y estabilidad química, además de satisfacer todas las necesidades del organismo, éstas nanopartículas son respetuosas con el medio ambiente; como suplemento alimentario NPs ZnO aumentan la ganancia de peso corporal, el índice de conversión alimenticia, la calidad de la carne y la cantidad de huevos (Younas *et al.*, 2023).

Mohd *et al.* (2023), menciona en su experimento que las aves alimentadas con NPs ZnO a 40, 70 y 100 mg/kg mostraron un mayor contenido de Zn que el ZnO, lo que indica que las NPs ZnO son fácilmente absorbidas, entregadas a los tejidos musculares; el resultado de lo anteriormente descrito nos da una visión de como las NPs ZnO están íntimamente relacionada a contribuir a la ganancia de peso en los pollos.

Las NPs ZnO presentan inmensas propiedades, antibacterianas, antifúngicas, anticancerígenas y antioxidantes, pero estas propiedades se ven afectadas principalmente por el tamaño, la morfología y las condiciones de su síntesis (Younas *et al.*, 2023). Las NPs ZnO se han identificado como materiales antimicrobianos efectivos, estudios indicaron que el tamaño y la forma de estas tienen una estrecha relación con su actividad antimicrobiana (Windiaستی *et al.*, 2019).

En los pollos las NPs ZnO tienen funciones variables, por mencionar los siguientes: actividad antioxidante (son responsables de la conversión de los radicales libres en radicales reducidos), actividad anticancerígena (detienen o ralentizan la producción de células enfermas), actividad hepatoprotectora (de hígado enfermo a hígado sano), actividad antibacteriana (contra infecciones bacterianas), administración de fármacos en función de la dosis, manipulación genética (aumento del peso corporal) e imagen médica (para obtener una vista pectoral de la célula o tejido animal objetivo) (Younas *et al.*, 2023).

En varios estudios se ha indicado que NPs ZnO supero las fuentes de Zn convencionales en dosis más altas, iguales e incluso más bajas, en términos de rendimientos de producción, defensa antioxidante, sistema inmunitario y salud intestinal; lo que las convierte en candidatas ideales para sustituir al ZnO convencional (Hafez *et al.*, 2020; Mohd *et al.*, 2023).

En un estudio realizado por Mohd *et al.* (2023), menciona que la concentración de Zn de las NPs ZnO en la dieta de pollos donde se suministró a la dieta 40 y 70 mg/kg fue numéricamente mayor que la del grupo control donde se les administro a la dieta 100 mg/kg de ZnO y dichos resultados concordaron con otros estudios que el mismos autor destaca, donde mencionaron de una mayor concentración de Zn en el tejido hepático del pollo alimentado con NPs ZnO en comparación con el Zn Convencional y descubrieron que las NPs de ZnO dietéticas aumentaban el contenido de Zn en los tejidos hepáticos y cerebral de codornices japonesas en comparación con el control y que el tejido hepático tenía una mayor concentración de Zn que el tejido cerebral; esto puede atribuirse a la capacidad de las NPs de ZnO para penetrar en las células hepáticas a través de la sangre o del espacio intersticial e indica que el organismo del pollo absorbe eficazmente las NPs ZnO.

Con estos mismos datos podemos concluir que es evidente que la concentración de Zn en el suero sanguíneo, la ceniza de la tibia, la pechuga y el tejido hepático de los pollos de engorde alimentados con NPs ZnO en la dieta a 100 mg/kg es dos veces superior a la de los pollos de engorde alimentados con ZnO en la dieta a 100 mg/kg, lo que indica que las NPs ZnO tienen una mejor eficiencia de la absorción que sus homologas más voluminosas (Mohd *et al.*, 2023).

4.15. NPs ZnO como antibacteriano

El ZnO es el suplemento de Zn más utilizado con alta actividad antibacteriana, antifúngica y capacidad promotora del crecimiento; el ZnO genera peróxido de

hidrogeno que es capaz de atravesar la pared celular e interrumpir el proceso metabólico y a su vez inhibir el crecimiento microbiano; la afinidad del ZnO hacia la célula bacteriana es el factor más importante para la actividad antibacteriana (Geetha *et al.*, 2020).

En un estudio realizado por Windiasti *et al.* (2019), se observó el efecto de las NPs ZnO y el carvacrol contra *Campylobacter jejuni*, y los resultados mostraron que el tratamiento de carvacrol o NPs ZnO a baja concentración solo genero un efecto bacteriostático. Por el contrario, la combinación del carvacrol y NPs ZnO resulto en un efecto bactericida que mejoro significativamente la eficacia antimicrobiana; el carvacrol fue el factor inductor para dañar la membrana celular y aumentar la susceptibilidad de *Campylobacter jejuni*, seguido por el tratamiento del factor activo NPs ZnO para inducir la fuga celular.

4.16. Exceso de NPs ZnO en la dieta

El ZnO en forma de NPs tiene muchos beneficios para las aves de postura siempre y cuando sean aplicadas a las dosis adecuadas según Al-Mosawy y Al-Hassani (2022), demostraron como resultado de un experimento utilizando NPs ZnO a dosis altas los cuales correspondían a 10, 15 y 20 g/kg de alimento para desencadenar el proceso de muda forzada; donde la acción del compuesto nano oxido de zinc en este proceso es principalmente inhibir el centro de saciedad en el cerebro, lo que conduce a la pérdida de apetito y una disminución significativa en las cantidades de ingesta de alimento que conducen a una disminución del peso corporal vivo que oscilan entre el 25% y el 30%. La mayor parte de la pérdida de peso ocurrió en los órganos reproductores femeninos (ovarios y oviductos); esto provoco atrofia tanto de los ovarios como de los oviductos, inhibiendo así la secreción de las hormonas gonadales como: progesterona, estrógeno, hormona luteinizante (LH) y la hormona folículo estimulante (FSH) lo que provoca la detención de la producción de óvulos (Al-Mosawy y Al-Hassani, 2022).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Lugar de estudio

El presente estudio se realizó en la caseta avícola situada dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, municipio de Torreón perteneciente al estado de Coahuila México, que se encuentra con las coordenadas 25°32'19"N 103°27'44"O, con una altitud de 1124 msnm, cuenta con una superficie de 140 Km², tiene un clima seco con temperatura anual promedio de 22.3°C y temperaturas extremas de 40°C en verano y de -3°C en invierno a la intemperie y una precipitación pluvial promedio anual de 225 mm. (Cepeda, 2008).

5.2. Manejo y alimentación de los animales

Se obtuvo un lote de 200 aves recién nacidas de la línea Lohmann Brown que se criaron bajo las mismas condiciones de vida, posteriormente en la tercera semana de vida lo cual corresponde al 09/04/2023 se separaron al azar formando 2 grupos (n=100) con 25 aves por cada repetición (r=4). Los grupos que se tuvieron fueron: el Grupo Control (**GC**) tuvieron una dieta basal sin suplementación y el Grupo **G 60** (suplementada con 60 miligramos (mg) de Nanopartículas de Óxido de zinc: NPs ZnO con tamaño de partícula de 50 nanómetro (nm). Las aves tuvieron libre acceso al agua y alimento de acuerdo a sus requerimientos; antes y en el transcurso del experimento las aves fueron desparasitadas, vitaminadas y vacunadas. El experimento se llevó a cabo durante los meses de abril a julio del 2023.

5.3. Variables a evaluar

En este estudio las variables que se evaluaron fueron, el peso promedio semanal, consumo de alimento e ICA.

5.3.1. Peso promedio semanal

Se calculo a partir de la tercera semana equivalente al término del periodo de adaptación de las aves, utilizando la siguiente formula realizándose semanalmente:

$$P S = P.F.S. - P.I.S.$$

Donde:

P.S.= Peso semanal

P.F.S.= Peso final semanal

P.I.S.= Peso inicial semanal (Arieta-Román *et al.*, 2018).

5.3.2. Conversión alimenticia

Se llevo a cabo mediante la siguiente fórmula

-Conversión de alimento semanal= consumo acumulado de ave/total de kg de producto (huevo o carne)

(Díaz, 2016).

5.3.3. Consumo de alimento promedio semanal

Se calculo mediante la siguiente fórmula:

Consumo de alimento promedio semanal = (Total de alimento ofrecido – el rechazo)

(Itza, 2020).

Análisis estadístico

5.4. Análisis estadístico

En este trabajo se utilizó un diseño experimental completamente al azar con submuestreos. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete SPSS 28.0 (IBM), para la comparación de medias se utilizó prueba de T Student.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. RECHAZO DE ALIMENTO PROMEDIO

De acuerdo con los resultados en este trabajo de investigación, el porcentaje promedio en el rechazo de alimento de la semana 5 a la semana 11 no presentaron diferencias estadísticamente significativas. En la figura 2 se muestra el porcentaje de rechazo a partir de la semana 12, es importante mencionar que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en la semana 12 y altamente significativas ($p < 0.01$), la semana 14 y 16.

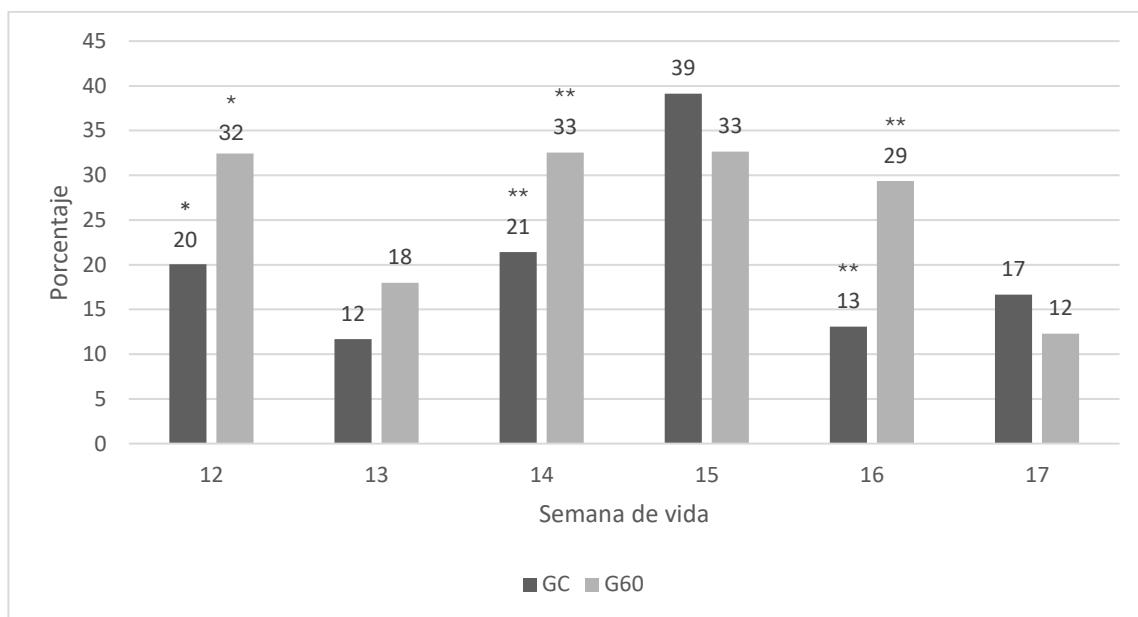


Figura 2. Porcentaje de rechazo de alimento.

Se muestran porcentajes. * diferencia estadística ($p < 0.05$), ** diferencia estadística ($p < 0.01$). Se realizó una comparación de medias con T-Student en el paquete estadístico SPSS 28.0 (IBM).

En la semana 13 se obtuvo una tendencia ($p > 0.05$). En la semana 15 y 17 el porcentaje de rechazo fue mayor en el grupo control, aunque sin ser estadísticamente diferente; este último hallazgo tiene similitud con lo que dicta Abd El-Hack *et al.* (2020), donde dicen que la adición de 75 mg de ZnO a la dieta de gallinas elevó la ingesta diaria de alimento, en comparación con el grupo control cual consumía una dieta sin inclusión de zinc. Sin embargo, Al-Mosawy y

Al-Hassani (2022), mencionan que un exceso de ZnO nano a 20 g inhibe el centro de saciedad en el cerebro, lo que conduce a la pérdida de apetito, esto puede explicar el por qué en este experimento en ambos grupos hay diferencias estadísticamente significativas, donde el G60 tuvo mayor rechazo de alimento que el GC.

6.2. PESO PROMEDIO SEMANAL, CONSUMO DE ALIMENTO PROMEDIO SEMANAL E ÍNDICE DE CONVERSION ALIMENTICIA (ICA) PROMEDIO.

Con respecto al peso promedio semanal, tenemos que en la semana 11 existe una diferencia estadística de 0.022 (figura 2). tendencia que no se observó en el resto de las semanas analizadas.

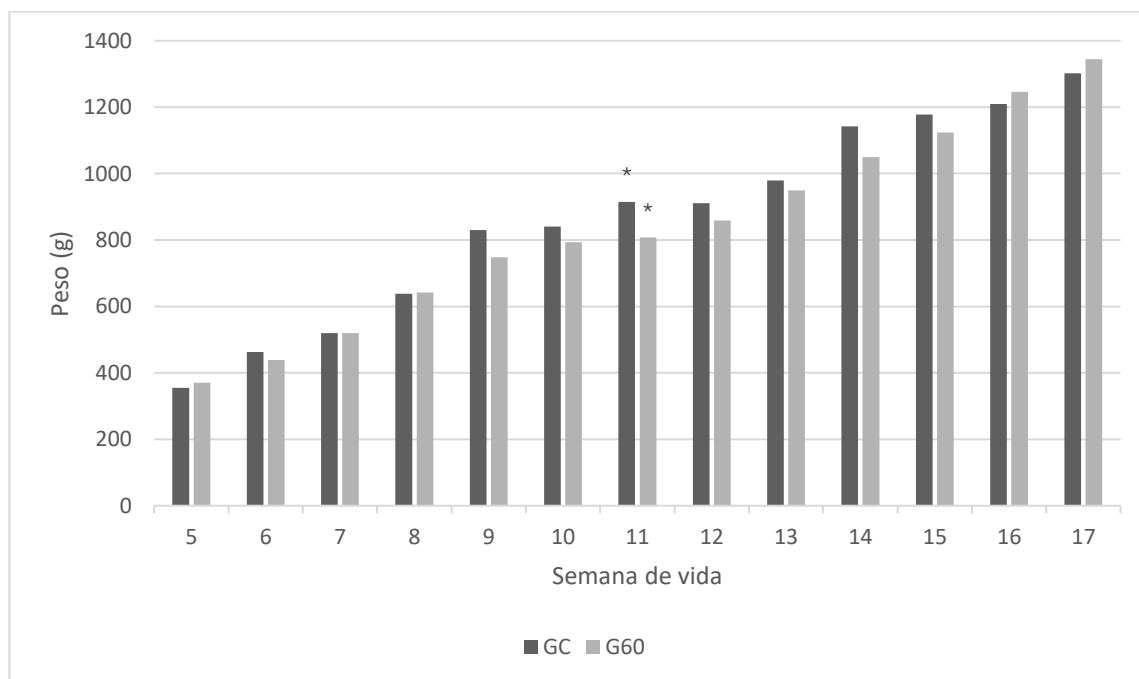


Figura 3. Expresa el peso promedio semanal.

* diferencia estadística ($p < 0.05$).

Meteoblue (2024), redacta de acuerdo con diversos medios y al Archivo meteorológico de Torreón 2024, que el 19 de junio de 2023 fue el día más caluroso registrándose una temperatura máxima de 45.7 grados centígrados al

abrigo, dicha fecha se incluye dentro de la semana 11 del proyecto. Resaltando que en este periodo fue la onda de calor más prolongada con 22 días seguidos de 40 grados o más.

El estrés calórico conduce a una baja digestibilidad de la dieta y una disminución del nivel de proteínas plasmáticas, altera el estado oxidativo, aumenta la excreción de minerales, disminuye las vitaminas, disminuye la insulina en suero, aumenta las concentraciones séricas de glucosa, colesterol y corticosterona en sangre; un dato muy importante sobre el estrés calórico es que impide que las aves de corral puedan sintetizar vitamina C, ya que a diferencia de los humanos ellas producen su propia vitamina, pero con el estrés se ha informado que se dificulta la producción de esta (Karami, 2018).

En la tabla 3 se muestra el consumo de alimento promedio, el peso promedio semanal y el índice de conversión alimenticia de ambos grupos.

Tabla 3. Consumo de alimento promedio, peso promedio semanal e ICA

Semana de vida	GC			G60		
	Peso (g)	DE	Consumo (g)	Peso (g)	DE	Consumo (g)
5	354.93	33.72	228.00 ^a	370.05	31.27	227.24 ^a
6	462.78	67.57	257.78 ^a	438.48	75.10	271.64 ^a
7	519.83	40.46	311.50 ^a	551.50	81.70	268.48 ^a
8	638.38	78.18	340.64 ^a	641.65	79.86	259.87 ^b
9	829.78	148.28	355.99 ^a	748.43	196.25	244.32 ^b
10	840.63	110.83	339.22 ^a	793.25	87.78	233.14 ^b
11	914.25	174.07	300.38 ^a	807.50	97.50	132.57 ^b
12	910.73	267.55	398.86 ^a	858.70	129.00	207.55 ^b
13	978.83	118.11	426.41 ^a	949.13	73.54	242.93 ^b
14	1142.05	264.11	423.55 ^a	1049.85	93.33	207.25 ^b
15	1177.43	206.24	394.11 ^a	1124.15	102.20	207.02 ^b
16	1209.68	278.15	464.93 ^a	1246.00	214.64	215.07 ^b
17	1302.45	161.76	463.18 ^a	1344.03	161.76	256.84 ^b
		ICA=4.96 ^a			ICA=3.05 ^b	

Superíndices diferentes (a, b) indican diferencias estadísticamente significativas $p < 0.05$

Los hallazgos de Abdel-Wareth *et al.* (2022) describen que el zinc conlleva un papel relevante como el cofactor esencial para la actividad de más de 300 enzimas y funciones biológicas del cuerpo; también Younas *et al.* (2023) cita que el Zn es utilizado por más de 300 enzimas como coactivador para la catálisis, roles estructurales y funciones reguladoras como el metabolismo de sustancias, las cuales son carbohidratos, energía, proteínas y ácidos nucleicos. Por lo cual, puede que al ave le sea suficiente una menor cantidad de alimento ya que los nutrientes presentes en la ración son más fácilmente digeridos, satisfaciendo sus necesidades nutrimentales. Se ha descrito que el nano Zn que es más biodisponible y eso puede explicar el rechazo de alimento del G60. En este trabajo el rechazo de alimento no afectó el peso de las aves, en la tabla

Las aves del GC consumieron más alimento, incluso casi el doble que el G60 y obtuvieron el mismo peso, cabe mencionar que de la semana 8 a la semana 17 de vida, el consumo de alimento promedio g/día fue estadísticamente significativo y el ICA.

Nuestros datos concuerdan con los resultados obtenidos por Abdel-Wareth *et al.* (2022), donde afirma que la suplementación dietética con NPs ZnO a razón de 20, 40 y 60 ppm mejoró significativamente el peso corporal y la tasa de conversión alimenticia en comparación con el testigo en condiciones climáticas cálidas que es una característica muy similar al clima que se presentó en el mes de junio de 2023; de igual manera Mahmoud *et al.* (2020), menciona en sus resultados que 10 ppm de NPs ZnO mejoraron significativamente el peso corporal de las aves; en contra parte, Al-Mosawy y Al-Hassani (2022), en su experimento con gallinas ponedoras donde aumento la dosis de NPs ZnO a razón de 10, 15, y 20 g/kg, obtuvo la resultante que el peso corporal de estos animales disminuyó aproximadamente el 25 %; esto nos indica que una dosis muy alta puede resultar dañino para el organismo. Referente al ICA. Hussan *et al.* (2022) mencionan que la suplementación de NPs ZnO a 2.5 ppm registro un ICA significativamente mayor en comparación con los demás grupos.

VII. CONCLUSIONES

En conclusión, este estudio sugiere que una inclusión a la dieta de las aves de postura durante la etapa de crianza con Zn en forma de nanopartículas a una dosis equivalente 60 mg genera una disminución considerable en el consumo de alimento sin afectar el peso de las aves. Sin embargo, es necesario realizar más investigaciones con inclusión de NPs ZnO a diferentes dosis para poder establecer hasta que nivel es favorable y poder fijar la dosis idónea para este tipo de aves de postura.

VIII. LITERATURA CITADA

- Abad-Guamán, R., Capa-Morocho, M., Herrera-Yunga, V., Herrera-Herrera, R. y Escudero-Sanchez, G. 2017. Poultry gut microbiota changes and their implications. *Centro de Biotecnología* (6): 98–108.
- Abd El-Hack, M.E., Alagawany, M., Chaudhry, M.T., Saeed, M., Ahmad, E.A.M. y El-Sayed, S.A.A. 2020. Does the gradual increase in dietary zinc oxide supplementation can affect egg quality, serum indices, and productive performance of laying hens?. *Tropical Animal Health and Production*. 52:525-531.
- Abdel-Wareth, A.A.A., Hussein, K.R.A., Ismail, Z.S.H. y Lohakare, J. 2022. Effects of Zinc Oxide Nanoparticles on the Performance of Broiler Chickens Under Hot Climatic Conditions. *Biological Trace Element Research*. 200 (12): 5218-5225. <https://doi.org/10.1007/s12011-022-03095-9>
- Al-Mosawy, H.A. y Al-Hassani, D.H. 2022. Effect of force molting using high levels of dietary nano zinc oxide on productive performance of laying hens. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences* 53(1): 230–236.
- Álvarez, M.D.M. 2022. Aplicaciones y perspectivas del monitoreo de la salud intestinal en avicultura. *Rev Med Vet Zoot*. 69(3): 234–235. <https://fenavi.org/estadisticas/>
- Arieta-Román, R. J., Graillet-Juárez, E. M., Alvarado-Gómez, L. C., Martínez-Martínez, M. y Gómez-Alor, J. G. 2018. Evaluación de ganancia de peso en dos líneas de pollos (*gallus gallus domesticus* L.) bajo un manejo en casetas con ambiente natural. *Agroproductividad* 11(6): 79–84.
- Barroeta, A. C., Verge-Mérida, G. y Ciria, N. 2020. Alimentación de las gallinas ponedoras. *Servicio de Nutrición y Bienestar Animal SNI BA* 1–11.
- Bhagwat, V. G., Balamurugan, E. y Rangesh, P. 2021. Cocktail of chelated minerals and phytogetic feed additives in the poultry industry: A review. *Veterinary World* 14(2): 364–371. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.364-371>.
- Byrne, L. y Murphy, R. A. 2022. Relative Bioavailability of Trace Minerals in Production Animal Nutrition: A Review. *Animals* 12(198): 1-34. MDPI. <https://doi.org/10.3390/ani12151981>
- Cepeda, E.M.H. 2008. PARÁMETROS REPRODUCTIVOS EN CABRAS SEMIESTABILADAS Y MORTALIDAD PERINATAL EN CABRITOS DE LA COMARCA LAGUNERA. Tesis. 26-27.
- De Grande, A., Leleu, S., Delezie, E., Rapp, C., De Smet, S., Goossens, E., Haesebrouck, F., Van Immerseel, F. y Ducatelle, R. 2020. Dietary zinc source

- impacts intestinal morphology and oxidative stress in young broilers. *Poultry Science* 99: 441–451. <https://doi.org/10.3382/ps/pez525>
- Díaz, T.J. 2016. Una herramienta útil para el avicultor. Plantilla pollo engorde pronavícola. Webinar No 15. 1–28.
- El-Sawy, A.F., El-Maddawy, Z.K., Awad, A.A. y Mashalla, A.A. 2021. The Growth Promoting and Immuno-Stimulant Effects of Nano Zinc Oxide of Broiler Chicks. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences* 69(2): 16-28. <https://doi.org/10.5455/ajvs.63645>
- Engel, W., De Paula, G., Knaul, E. y Hanel, S.N. 2023. Estudo de caso de custos de produção da avicultura: integrado e integradora na região oeste do Paraná. *Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)* 14(6): 8802–8823. <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i6.2267>
- FAO. 2013. Revisión del desarrollo avícola. Aves de corral y productos avícolas: riesgos para la salud humana. www.fao.org/publications
- Francisca de Novais, S. 2024. A territorialização da avicultura industrial e os produtores integrados no município de Pires do Rio (GO). *Rev. NERA* 27(1): 1–25. <https://doi.org/10.47946/rnera.v27i1.9160>
- Gallard, E.A. y Menichelli, M.L. 2021. Avances del bienestar animal en la avicultura comercial. *Voces y ecos* (42): 11-13.
- Geetha, K., Chellapandian, M., Arulnathan, N. y Ramanathan, A. 2020. Nano zinc oxide - An alternate zinc supplement for livestock. *Veterinary World* 13(1): 121–126. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.121-126>
- Gómez, V.G., López, C. C., Maldonado, B.C. y Ávila, G.E. 2010. El sistema inmune digestivo en las aves. *Investigación y Ciencia* 18(48): 9–16. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67413203003>
- González, G.J.A., Villarreal, C.V. y Muñoz, A.L.E. 2023. Microservice architecture for a remote management platform for pastured poultry farming using Amazon Web Services and wireless mesh sensor networks. *Ingeniería Solidaria* 19(1): 1–22. <https://doi.org/10.16925/2357-6014.2023.01.02>
- Goretta, J. 2019. Bienestar en aves de corral, una conjunción entre el cuidado animal y la productividad. *UNNE*. 16–18.
- Gržinić, G., Piotrowicz-Cieślak, A., Klimkowicz-Pawlas, A., Górný, R.L., Ławniczek-Wałczyk, A., Piechowicz, L., Olkowska, E., Potrykus, M., Tankiewicz, M., Krupka, M., Siebielec, G. y Wolska, L. 2023. Intensive poultry farming: A review of the impact on the environment and human health. *Science of the Total Environment* 858: 1–28. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160014>

- Hafez, A., Nassef, E., Fahmy, M., Elsabagh, M., Bakr, A. y Hegazi, E. 2020. Impact of dietary nano-zinc oxide on immune response and antioxidant defense of broiler chickens. *Environmental Science and Pollution Research* 27(16): 19108–19114. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04344-6>
- Hans, M. 2019. El ABC del manejo de las granjas avícolas de hoy en día. *Industria Avícola* 32-34. <https://trouwnutritionlatam.com/contacto/>.
- Hussan, F., Krishna, D., Preetam, V.C., Reddy, P.B., y Gurram, S. 2022. Dietary supplementation of nano zinc oxide on performance, carcass, serum and meat quality parameters of commercial broilers. *Biological Trace Element Research*, 200(1): 348-353.
- Itza, O.M.F. y Ciro, G.J.A. 2020. Parámetros productivos importancia en producción avícola. <https://bmeditores.mx/avicultura/parametros-productivos-importancia-en-produccion-avicola/>
- Karami, M., Torki, M. y Mohammadi, H. 2018. Effects of dietary supplemental chromium methionine, zinc oxide, and ascorbic acid on performance, egg quality traits, and blood parameters of laying hens subjected to heat stress. *Journal of applied animal research*. 46(1): 1174-1184. DOI: 10.1080/09712119.2018.1481411
- Mahmoud, U.T., Abdel-Mohsein, H.S., Mahmoud, M.A.M., Amen, O.A., Hassan, R.I.M., Abd-El-Malek, A.M., Rageb, S.M.M., Waly, H.S.A., Othman, A.A. y Osman, M. A. 2020. Effect of zinc oxide nanoparticles on broilers' performance and health status. *Tropical animal health and production*. 52: 2043-2054. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02229-2>
- Mohd, Y.H., Abdul, R.N.A., Mohamad, R., Zaidan, U.H. y Samsudin, A. A. (2023). Influence of Dietary Biosynthesized Zinc Oxide Nanoparticles on Broiler Zinc Uptake, Bone Quality, and Antioxidative Status. *Animals* 13(115): 1-18. <https://doi.org/10.3390/ani13010115>
- Meteoblue. 2024. Archivo meteorológico Torreón. https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/weatherarchive/torre%C3%B3n_m%C3%A9xico_3981254
- Nguyen, H.T.T., Morgan, N., Roberts, J.R., Wu, S.B., Swick, R.A. y Toghyani, M. 2021. Zinc hydroxychloride supplementation improves tibia bone development and intestinal health of broiler chickens. *Poultry Science* 100(8): 1-31. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101254>

- Nicol, C.J. y Davies, A. 2018. Bienestar de las aves de corral en los países en desarrollo. School of Veterinary Science. 1-5. www.fao.org/ag/againfo/programmes/animal-welfare/en/.
- Nuñez, C.J.S. y Vargas, G.O.N. 2021. Estudio de las diferencias morfo fisiológicas entre gallinas y patos, y su adaptación a los sistemas intensivos de producción. Facultad de ciencias agropecuarias carrera de medicina veterinaria y zootecnia machala.
- Prado-Rebolledo, O.F. y García-Casillas, A.C. 2024. Vista de Promotores de crecimiento de origen estándar en la producción avícola. Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP 10(19): 1–6.
- Ray, A. y Pradhan, R.K. 2011. Avicultura: descripción general. Research J. Science and Tech 3(3): 1-9. https://rjstonline.com/HTML_Papers/Research
- Romero-López, A.R. 2021. Las funciones de las aves en la producción avícola de pequeña escala: el caso de una comunidad rural en Hidalgo, México. Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias 12(1): 217-237. <https://doi.org/10.22319/RMCP.V12I1.5088>
- Rodríguez, F.C., Waxman, S. y de Lucas, B.J.J. 2017. Particularidades anatómicas, fisiológicas y etológicas con repercusión terapéutica, en medicina aviar (II): aparato digestivo, aparato cardiovascular, sistema músculo esquelético, tegumento y otras características. Panorama Actual del Medicamento. 41(401): 224-225.
- Ruiz, B. 2018. Industria avícola: el negocio correcto. Industria Avícola 6-10. <https://www.industriaavicola.net/mercados-y-negocios/industria-avicola-el-negocio-correcto/>
- Sarmiento-Franco, L. y Sánchez-Casanova, R. 2019. Producción de aves con acceso al exterior: Contribución a la salud pública y al bienestar animal. Bioagrobiencias 12(1): 42-50.
- Tovar, R.M.M., García, T.J.F., Nieto, R.M.I., Parra, P.B., Oviedo, O.M.V. y Feregrino, P.A.A. 2020. Study of implementation of flours microalgae and black soldier fly larvae as a supplement in poultry feeding. Emprennova. 1(2): 163-170.
- Valadez, R. 2020. ¿Está preparada la industria avícola para el nuevo entorno?. Industria Avícola. 20-22. https://www.industriaavicola-digital.com/industriaavicola/july_2020/MobilePagedArticle.action?articleId=1596752#articleId1596752

- Vargas, G.O.N. 2016. Avicultura. Machala, Ecuador: Universidad Técnica de Machala. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/6846>
- Vázquez, M.A. 2022. Cátedra de producción de aves, guía de anatomía y fisiología de la especie *gallus gallus* para la cursada de aves I. UBAVETERINARIA 1-24.
- Vieira, R., Ferket, P., Malheiros, R., Hannas, M., Crivellari, R., Moraes, V. y Elliott, S. 2020. Feeding low dietary levels of organic trace minerals improves broiler performance and reduces excretion of minerals in litter. *British Poultry Science* 61(5): 1-26. <https://doi.org/10.1080/00071668.2020.1764908>
- Villanueva-Sánchez, O., Carrillo-Dominguez, S., Chavira-Ramírez, R., Martínez-Marcial, M., Miranda-de-la-Lama, G. y Ávila-González, E. 2020. Animal welfare evaluation in Bovans White laying hens on floor housing. *Abanico Veterinario* 10(1): 1-11. <https://doi.org/10.21929/abavet2020.5>
- Windiasti, G., Feng, J., Ma, L., Hu, Y., Hakeem, M. J., Amoako, K., Delaquis, P. y Lu, X. 2019. Investigating the synergistic antimicrobial effect of carvacrol and zinc oxide nanoparticles against *Campylobacter jejuni*. *Food Control* 96: 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.08.028>
- Younas, Z., Mashwani, Z.U.R., Ahmad, I., Khan, M., Zaman, S., Sawati, L. y Sohail. 2023. Mechanistic Approaches to the Application of Nano-Zinc in the Poultry and Biomedical Industries: A Comprehensive Review of Future Perspectives and Challenges. *Molecules* 28(3): 1-24. <https://doi.org/10.3390/molecules28031064>