

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFECTO DE ZEOLITA CON NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC EN
DIETA DE AVES DE POSTURA EN PISO, SOBRE PARÁMETROS
PRODUCTIVOS

Tesis

Que presenta ADRIANA MONSERRAT LÓPEZ MORALES
como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

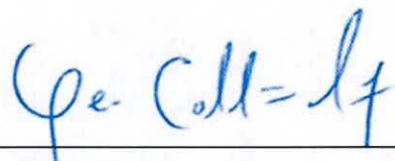
Torreón, Coahuila

Octubre 2025

EFFECTO DE ZEOLITA CON NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ZINC EN
DIETA DE AVES DE POSTURA EN PISO, SOBRE PARÁMETROS
PRODUCTIVOS

Tesis

Elaborada por ADRIANA MONSERRAT LÓPEZ MORALES como requisito
parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Producción
Agropecuaria con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dra. Ma. Guadalupe Calderón Leyva

Director de Tesis



Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno

Asesor



Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán

Asesor



Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Jefe del departamento de Postgrado



Dr. Antonio Flores Nevada
Subdirector de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por permitirme lograr un objetivo más en mi vida.

A mi familia, que estuvo en todo momento impulsándome y compartiendo cada momento para desarrollar con éxito mi trabajo de investigación

Al departamento de Posgrado de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna por darme la oportunidad para continuar mis estudios y lograr desarrollarme en el campo de la investigación científica.

A mi asesora de tesis la Dra. Ma Guadalupe Calderón Leyva, quien estuvo al pendiente del desarrollo de la información, así como de apoyarme en cualquier circunstancia.

A la M.C. Julieta Ziomara Ordoñez Morales, por darme la oportunidad de realizar mi investigación en la unidad académica de producción avícola, así como por la asesoría diaria y por ser un gran aporte de conocimiento con respecto a diversos temas relacionados con aves y nutrición animal.

A los estudiantes tesistas y de servicio social de Licenciatura, que estuvieron al pendiente y dedicando tiempo para aprendizaje y apoyo de la investigación.

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo con gran amor a toda mi familia por el apoyo incondicional, por el tiempo y por siempre impulsarme a ser mejor y lograr con éxito mis objetivos.

Índice

Índice de figuras.....	v
Índice de cuadros.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Situación actual de la avicultura en México.....	3
2.2 Sistemas de producción en aves de postura	4
2.3 Los minerales en la producción de aves de postura.....	6
2.3.1 Fortificación con Zinc (Zn) en la dieta de aves de postura.....	7
2.3.2 El calcio en la nutrición de aves de postura	8
2.3.3 Fósforo en dieta de aves de postura.....	10
2.3.4 Triglicéridos y colesterol en aves de postura.....	11
2.3.5 Glucosa en aves de postura.....	12
2.4 Calidad del huevo.....	12
2.5 Aditivos en la dieta de aves de postura.....	15
2.5.1 Nanopartículas en la producción avícola.....	16
2.5.2 Zeolita en la dieta de aves	17
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1 Ubicación y condiciones ambientales.....	19
3.2 Animales y grupos experimentales.....	19
3.3 Variables evaluadas	22
3.3.1 Peso de las aves	22
3.3.2 Biometría hemática y química sanguínea.....	22
3.1.3 Porcentaje de postura	24
3.1.4 Evaluación física del huevo	24
3.2 Análisis estadístico	26
4 RESULTADOS	26
5 DISCUSIÓN	30
6 CONCLUSIÓN.....	34
7 LITERATURA CITADA.....	35

Cuadro de símbolos y abreviaturas

Símbolo/Abreviatura	Español
HP	Peso huevo
IF	Índice forma
CG	Grosor del cascarón
CP	Peso del cascarón
YC	Color de la yema
YP	Peso yema
AALT	Alto de la albúmina
ALAR	Largo de la albúmina
AAN	Ancho de la albúmina
UH	Unidades Haugh
NPs	Nanopartículas
ZnO	Óxido de Zinc
G90	Grupo 90
G60	Grupo 60
G30	Grupo 30
GZ	Grupo zeolita
GT	Grupo testigo
Ca	Calcio
P	Fósforo
COL	Colesterol
TG	Triglicéridos
PT	Proteínas totales
GLC	Glucosa
kg	Kilogramos
mm	Milímetros

Índice de figuras

Figura	Descripción	Página
Figura 1	Producción pecuaria a nivel nacional	4
Figura 2	Sistema de producción avícola en postura	4
Figura 3	Calidad física del huevo	13
Figura 4	Ubicación	20
Figura 5	Instalaciones	20
Figura 6	Distribución de aves	21
Figura 7	Tratamiento	22
Figura 8	Manejo	22
Figura 9	Pesaje de aves	23
Figura 10	Evaluación sanguínea con Analayzer 2000	23
Figura 11	Análisis de nuestras sanguíneas con H-100	24
Figura 12	Bitácora de registro diario y porcentaje de postura	24
Figura 13	Recolección y pesaje de huevo	25
Figura 14	Evaluación física externa del huevo	25
Figura 15	Evaluación física interna del huevo	26
Figura 16	Peso de aves promedio en g obtenido de gallinas Rhode Island Red (<i>Gallus gallus domesticus</i>) en sistema de piso de acuerdo al tratamiento establecido, Torreón Coahuila México 2023.	27
Figura 17	Porcentaje de postura promedio obtenida de gallinas Rhode Island Red (<i>Gallus gallus domesticus</i>) en sistema de piso de acuerdo al tratamiento establecido, Torreón Coahuila México 2023.	28
Figura 18.	Representación en porcentaje del efecto de los tratamientos en el comportamiento de postura promedio obtenido de gallinas Rhode Island Red (<i>Gallus gallus domesticus</i>) en sistema de piso de acuerdo al tratamiento adicionado, Torreón, Coahuila, México 2023.	29

Índice de cuadros

Figura	Descripción	Página
Cuadro 1	Valores óptimos, funciones y unidades de metabolitos sanguíneos en gallinas ponedoras	12
Cuadro 2	Metabolitos sanguíneos obtenidos de gallinas Rhode Island Red (<i>Gallus gallus domesticus</i>) en sistema de piso de acuerdo al tratamiento establecido, Torreón Coahuila México 2023.	27
Cuadro 3	Calidad física del huevo obtenida de gallinas Rhode Island Red (<i>Gallus gallus domesticus</i>) en sistema de piso de acuerdo al tratamiento establecido, Torreón Coahuila México 2023.	30

RESUMEN

Efecto de zeolita con nanopartículas de óxido de zinc en dieta de aves de postura en piso, sobre parámetros metabólicos y productivos

Adriana Monserrat López Morales

Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dra. Ma. Guadalupe Calderón Leyva

Director de tesis

En aves de postura libres de jaula una de las alternativas, es implementar componentes en la dieta que mejoren el producto final; tal es el caso de las nanopartículas y la zeolita. El objetivo de la presente investigación fue identificar el efecto de la inclusión de zeolita (4% clinoptilolita) combinado con nanopartículas de óxido de zinc sobre los parámetros productivos de aves de postura en un sistema de producción libre de jaula. La investigación se llevó a cabo entre los meses de agosto del 2023 y enero del 2024, en la unidad académica de producción avícola ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, con gallinas de línea genética Rhode Island Red a partir de las 20 semanas de edad y hasta las 40 semanas, en un sistema libre de jaula. Se separaron en 5 grupos. Se registró el peso de las aves, se evaluó la morfología externa e interna del huevo, los metabolitos sanguíneos y porcentaje de postura en gallinas de diferentes repeticiones. La adición de los tratamientos no tuvo una influencia estadísticamente significativa sobre las variables evaluadas. La combinación de nanopartículas de óxido de zinc con zeolita no marca un cambio en los parámetros productivos y metabólicos en aves de postura libres de jaula.

Palabras clave: Cinoptilolita, Libre de jaula, Unidades Haugh, Calidad de huevo, Zinc.

ABSTRACT

Effect of zeolite with zinc oxide nanoparticles in the diet of floor-laying poultry on productive parameters.

Adriana Monserrat López Morales

Maestro en Ciencias en Producción Agropecuaria

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dra. Ma. Guadalupe Calderón Leyva

Director de tesis

In cage-free layers, one of the alternatives is to implement components in the diet that improve the final product; such is the case of nanoparticles and zeolite. The objective of this research was to identify the effect on the productive parameters of laying hens in a cage-free production system, through the inclusion in the diet of 4% zeolite (clinoptilolite) combined with zinc oxide nanoparticles. The research was carried out between August 2023 and January 2024, in the academic unit of poultry production located within the facilities of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, with hens of the Rhode Island Red genetic line from 20 weeks of age to 40 weeks, in a cage-free system. Five groups were compared, of which there were four treatments and a control group. The variables to be evaluated were external and internal egg morphology, bird weight, blood metabolites and laying percentage in hens of different replicates. The results of the addition of the treatments did not have a statistically significant influence on the variables evaluated. In conclusion, the combination of zinc oxide nanoparticles with zeolite does not show a change in the productive parameters compared to a commercial feed diet in cage-free layers.

Keywords: Clinoptilolite, Cage-free, Haug units, Egg quality, Zinc

1. INTRODUCCIÓN

La producción avícola es un sector crucial que proporciona una fuente fiable de proteínas y otros nutrientes esenciales para el consumo humano. Según el informe de la industria, el consumo de huevos en México es de alrededor de 345 huevos al año (INEGI 2024) posicionando al país en el cuarto lugar a nivel mundial como productor de huevo, lo que determina que en la actualidad se han mejorado aspectos tanto económicos como de calidad en los sistemas de producción avícola, llevando a buscar diversas alternativas para obtener mayores beneficios con costos reducidos (Torrejano and Molina-Jaimes 2023).

Además recientemente se han desarrollado con mayor preferencia los sistemas al aire libre, como el pastoreado, en donde las gallinas pueden tomar decisiones de acuerdo con sus necesidades y deseos, lo que está de acuerdo con la mayoría de las definiciones de bienestar animal y corresponde a las preferencias de los consumidores con respecto a los sistemas de cría (Bonnefous et al. 2022). Dicha preferencia va relacionada con el control del consumo de pienso de las gallinas pues no sólo ahorrará costes de producción gracias a una mayor eficiencia en la conversión del alimento, sino que también puede aumentar la calidad de la albúmina (Anene et al. 2023), factor que es importante mantener estratégicamente para que los nutrientes no se vean afectados y así el uso específico de aditivos para piensos, como el zinc, pueda mejorar los beneficios para la salud asociados con el consumo de productos fortificados. (Afshar Bakeshlo et al. 2024). En este contexto, diversos aditivos han sido implementados en aves de postura como es el caso de las zeolitas y nanopartículas, las cuales han ganado una atención significativa por su potencial para mejorar el rendimiento y el bienestar de las gallinas ponedoras.

La zeolita (específicamente la variedad clinoptilolita), es un mineral de origen volcánico que además de mejorar la salud de los animales, también puede mejorar la calidad de los productos animales. Por ejemplo, en la avicultura, se ha demostrado que la adición de zeolita clinoptilolita a la dieta de las aves mejora la calidad de la cáscara del huevo (Rizzi et al. 2003). En el caso de las nanopartículas en las ciencias veterinarias son consideradas una herramienta

revolucionaria e innovadora, que permiten entrar a una nueva era en la transformación de los vehículos de medicamentos y vacunas, en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades infecciosas y degenerativas, además de mejorar los aspectos zootécnicos de crianza y reproducción de los animales e innovar las herramientas en la vigilancia de la inocuidad de los alimentos de origen animal (Ortiz Arana et al. 2021).

Tomando en consideración estos hallazgos se plantearon dos hipótesis; la primera que sugiere que la combinación de nanopartículas de óxido de zinc con zeolita tendrá mejor rendimiento en los parámetros productivos de aves de postura en piso, y la segunda que la adición de la dosis más baja de nanopartículas de óxido de zinc tendrá mejores efectos sobre los parámetros productivos. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la adición de nanopartículas de óxido de zinc con zeolita en la dieta de gallinas ponedoras en piso sobre los parámetros metabólicos y productivos durante las primeras 20 semanas de postura.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Situación actual de la avicultura en México

La industria avícola nacional representa uno de los sectores estratégicos para la alimentación en México, al significar 28.5 por ciento de la producción nacional pecuaria, con un consumo per cápita anual de 34.2 kilogramos de pollo, 23 kilogramos de huevo y 1.3 kilogramos de pavo (SADER 2022).

México se ha consolidado como el principal consumidor de huevo fresco ocupando el cuarto lugar a nivel mundial con un consumo per cápita que oscila entre 23 y 24 kilogramos anuales, equivalentes a aproximadamente 395 huevos por persona, representando más del 60% de producción pecuaria a nivel nacional (figura 1). Este alto consumo refleja la importancia del huevo en la dieta mexicana, siendo una fuente accesible y rica en proteínas de alta calidad, vitaminas y minerales esenciales para todas las etapas de la vida.

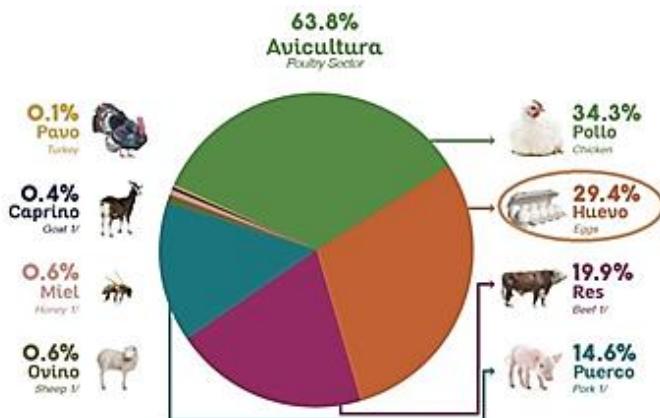


Figura 1. Producción pecuaria a nivel nacional

En los últimos 10 años, la industria avícola ha registrado un crecimiento superior al 26 por ciento y, actualmente, lleva a la mesa de los mexicanos más de 6.67 millones de toneladas de carne de ave y huevo. Para 2023, se calculaba que la producción lograra 3 millones 200 mil toneladas, 2.4% más que lo obtenido en 2022; las importaciones se proyectaban en 60 mil toneladas, 29.4% menos que lo adquirido en el año previo (SADER 2022).

En los estados de Coahuila y Durango en La Laguna, principalmente los municipios de Torreón, Gómez Palacio y Lerdo, se posicionan en el cuarto sitio en producción de huevo en México con 5.0% (Hernández 2024).

2.2 Sistemas de producción en aves de postura

La industria avícola ha mejorado la producción mediante tasas de crecimiento rápido en pollos de engorde y una mayor productividad de huevos en ponedoras (Kleyn and Ciacciariello 2021).

Los cambios en las preferencias de los consumidores están influyendo en la industria avícola, ya que los compradores buscan productos más saludables, éticos y sostenibles. Los productores están adaptando sus prácticas y estrategias de marketing para satisfacer estas demandas, ofreciendo productos con atributos específicos, como carne y huevos de animales criados en libertad, sin hormonas, sin antibióticos y con certificaciones de bienestar animal. Para evaluar el bienestar animal, es fundamental comprender el comportamiento natural de una especie de ave de corral (Wright et al. 2020).

La transición a la producción sin jaulas (figura 2) representa un paso importante hacia la creación de un futuro más ético y sostenible para la producción de huevos (Rokade et al. 2024).

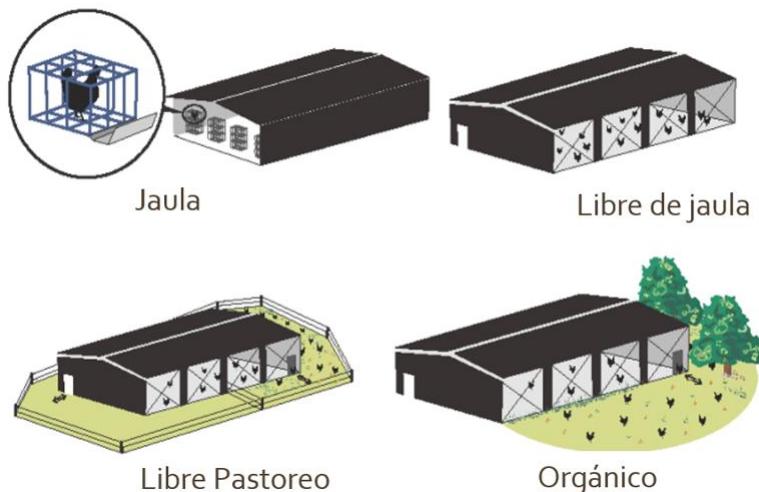


Figura 2. Sistemas de Producción avícola en postura

Las aves necesitan actividad física para mantener su salud y bienestar. El comportamiento inactivo o sedentario durante períodos prolongados puede

provocar problemas de salud en las aves (Abbas et al. 2022). Hay mayor interés de los consumidores por los huevos producidos en sistemas fuera de jaulas (Petek and Kahraman 2025).

Se encontró que los consumidores están dispuestos a pagar más por huevos que provengan de sistemas donde el bienestar animal sea considerado. Esta tendencia también fue encontrada al comparar la adquisición de huevos orgánicos y de los sistemas libres de jaulas, con los provenientes de jaula convencional (WingChing-Jones, zamora sanabria, and Chavarria 2023).

En general, se ha demostrado que la calidad del huevo puede verse significativamente influenciada por el entorno de la vivienda, ya que muchos investigadores teorizan que el cambio en el enriquecimiento, el espacio de movimiento o el acceso a un área de pastoreo (con mayor acceso a la luz solar, forraje, insectos y más espacio para el ejercicio) o virutas de madera puede generar diferencias (Ghanima et al. 2020; Philippe et al. 2020)

La avicultura de traspatio contribuye al desarrollo equilibrado del territorio y de las comunidades rurales mediante la preservación de las especies, la cultura y la tradición; sus productos tienen potencial de integración en mercados especializados, como resultado de sistemas agrícolas familiares sostenibles. Los huevos de aves de corral son la fuente más económica de proteínas animales y calorías para las personas de todo el mundo (Petek and Kahraman 2025). Sin embargo, su permanencia en estos mercados está condicionada a la superación de los problemas de producción, higiene y sanidad relacionados con el manejo avícola tradicional (Hotúa-López et al. 2021).

Actualmente se están explorando formas de mejorar el rendimiento de la producción de huevos teniendo en cuenta las preocupaciones por el bienestar de los animales (Li et al. 2024). Las funciones de las aves pueden ser estrategias que los productores definen para alcanzar el bienestar en cinco diferentes esferas: seguridad alimentaria, disponibilidad de recursos económicos, reforzamiento de relaciones sociales, vinculación al mercado y transmisión de conocimientos (Romero-López 2021). Una baja de precios en el alimento balanceado estimula la producción (Rivera-Gómez et al. 2023).

2.3 Los minerales en la producción de aves de postura

La capacidad de producción de huevos a lo largo de la vida de las gallinas ponedoras (es decir, la persistencia de la puesta) ha aumentado enormemente en los últimos 50 años, de 220 huevos en 1960 a 500 huevos en 2019. Para mejorar y apoyar la persistencia de la puesta, la nutrición de la gallina es crucial para proporcionar los elementos necesarios para la formación de los huevos (van Eck et al. 2023).

Los minerales son nutrientes inorgánicos que los animales suelen necesitar en pequeñas cantidades y desempeñan un papel importante en los procesos metabólicos, enzimáticos y bioquímicos. Los minerales tienen efectos beneficiosos o perjudiciales sobre el bienestar fisiológico de los animales, dependiendo de su equilibrio. Todos los alimentos naturales contienen algunos minerales, pero en la producción animal intensiva, especialmente aves de corral, se proporcionan minerales suplementarios (Ogbuewu and Mbajorgu 2022).

Las dietas de las gallinas ponedoras suelen suministrarse con minerales traza en forma de compuestos inorgánicos, como óxidos, sulfatos, etc. Sin embargo, las fuentes inorgánicas interactúan con los componentes de la dieta formando complejos insolubles y reduciendo la disponibilidad de minerales (Palanisamy et al. 2023).

Los oligoelementos como el zinc (Zn), el hierro (Fe), el cobre (Cu), el manganeso (Mn) y el selenio (Se) desempeñan papeles muy esenciales en la nutrición y la fisiología de los animales, estos cinco oligoelementos participan en el metabolismo y el transporte de sustancias in vivo, como activadores de varias enzimas, incluido el aumento de la estabilidad de la estructura de la membrana, la reacción antioxidante, el metabolismo de defensa inmunitaria, los procesos de reproducción, la síntesis de hormonas y el crecimiento óseo (Yang et al. 2021).

El rendimiento de las gallinas ponedoras está mediado por varios factores, incluido el metabolismo de proteínas, carbohidratos y energía en células, tejidos y órganos que están directa o indirectamente involucrados en Zn, Fe, Cu, Mn y Se (Saleh et al. 2020).

A medida que se abordan con urgencia los problemas de protección del medio ambiente, se pueden utilizar dosis bajas de proteinatos de oligoelementos en la alimentación de las aves de corral, lo que reduce el riesgo de contaminación ambiental por minerales fecales sin afectar el rendimiento y el estado metabólico de los animales (Jialing et al. 2020).

2.3.1 Fortificación con Zinc (Zn) en la dieta de aves de postura

El proceso de agregar uno o más nutrientes esenciales a los alimentos a niveles superiores a su contenido natural se conoce como fortificación. La fortificación desempeña un papel crucial en el tratamiento de las deficiencias de nutrientes y la mejora de la calidad nutricional de los alimentos al complementar estratégicamente nutrientes específicos, como el zinc, podemos mejorar los beneficios para la salud asociados con el consumo de productos fortificados (Afshar Bakeshlo et al. 2024).

El Zn es necesario para varios procesos biológicos, como el crecimiento, el metabolismo, la reproducción, la cicatrización de heridas y el desarrollo de huesos y plumas (Fatima et al. 2024).

Algunos órganos son reconocidos como indicadores para evaluar la biodisponibilidad de minerales específicos. Por ejemplo, el contenido de zinc en los huesos puede considerarse como un criterio de respuesta para la biodisponibilidad de Zn (Boerboom et al. 2020).

La suplementación con zinc es eficaz para aumentar el contenido de zinc en los huevos y mejorar la capacidad antioxidante de las gallinas ponedoras (Yu et al. 2020). La razón de la mejora podría atribuirse al efecto del zinc en la deposición de albúmina durante la formación de la cáscara uterina (región del istmo y el magno) y a su efecto en la potenciación de las hormonas FSH y LH, la progesterona y los estrógenos, la secreción de hormonas reproductivas se refleja en la mejora en la producción de óvulos (Niknia et al. 2022).

El zinc (Zn) es un componente necesario conocido y factor activador de más de 200 especies de enzimas dentro de los animales, que aumentan la estabilidad de la estructura de la membrana, participan en una serie de reacciones químicas en

el cuerpo, mantienen el metabolismo normal y la homeostasis (Jialing et al. 2020), sin embargo, el zinc tiene una biodisponibilidad limitada en el cuerpo animal, por lo que el consumo dietético debe ser constante. Al ser un mineral esencial en el organismo, funciona como catalizador o como cofactor en varias enzimas, como la superóxido dismutasa (SOD). La actividad de la SOD refleja indirectamente la capacidad del organismo para eliminar los radicales libres de oxígeno (Nie et al. 2018). Por lo tanto, el aumento de la biodisponibilidad del Zn en el cuerpo tiene un efecto regulador positivo sobre ciertas enzimas (Fatima et al. 2024).

Aunque los productos animales como la carne de res, cerdo y ostras son ricas en zinc, estas fuentes son caras (Afshar Bakeshlo et al. 2024). En las aves de postura, la adaptación de las estrategias de suplementación con zinc considerando las necesidades específicas de las aves puede ayudar a mitigar la disminución del rendimiento asociada con el envejecimiento, mejorando en última instancia la viabilidad económica de la avicultura (Alirezaei Shahraki et al. 2024).

2.3.2 El calcio en la nutrición de aves de postura

El calcio es uno de los minerales traza más relevantes en la nutrición aviar, particularmente en aves de postura, debido a su papel fundamental en la formación de la cáscara del huevo, la contracción muscular, la coagulación sanguínea y la integridad ósea. Las gallinas ponedoras requieren grandes cantidades de calcio, especialmente durante el pico de producción, ya que cerca del 90-95% del calcio depositado en la cáscara proviene directamente de la dieta (Kang et al., 2022).

Esta demanda fisiológica convierte al calcio no solo en un nutriente esencial, sino en un factor crítico para asegurar la salud del ave y la calidad del huevo. Un aspecto central en el estudio del calcio es la biodisponibilidad, que varía según la fuente empleada, siendo el carbonato de calcio la forma más común. Sin embargo, investigaciones recientes han explorado fuentes alternativas como las nanopartículas de calcio, que mejoran la absorción intestinal y reducen la excreción, aportando beneficios tanto productivos como ambientales (Zhang et al. 2022).

El calcio se consideraba el elemento mineral más importante para la mineralización de la cáscara de huevo y por afectar directamente su calidad (Shao, Liu, and Tong 2025). El calcio sigue siendo un componente crítico en la nutrición de las gallinas ponedoras, y su disponibilidad depende de la absorción intestinal de la dieta. Aun así, los huesos son una fuente esencial de Ca durante la noche cuando la absorción intestinal ha cesado (Attia, Al-Harthi, and Abo El-Maaty 2020).

Los requerimientos de Ca para las gallinas ponedoras dependen de la edad, la fase de producción, la temperatura ambiental, la cepa y las concentraciones de Ca, P y vitamina D (VD) en la dieta (Saunders-Blades et al. 2009).

La gallina tiene que exportar dos gramos de calcio (Ca) diariamente a la cáscara del huevo que está compuesta principalmente de carbonato de calcio (95%). Parte de este elemento es proporcionada en la dieta (60-75%), pero debido a una compensación de la ingesta durante el período de luz y el requerimiento de para producir la cáscara del huevo durante el período de oscuridad, otra parte del Ca se moviliza del hueso, especialmente del hueso medular (Hervo et al. 2022).

En la última década las directrices recientes de las empresas de cría recomiendan una ingesta diaria de Ca de 4,10 g durante la fase temprana de producción de huevos (19 semanas de edad), y esta aumenta gradualmente con la edad hasta alcanzar el 4,4% para las ponedoras Lohaman Brown-Classic en la fase tardía de producción a las 65 semanas o más tarde (Geng et al. 2018).

Por otro lado, el NRC (Council 1994), recomienda una ingesta diaria de 3,75 g de Ca para ponedoras de cáscara de huevo blanca y marrón.

Además, se ha demostrado que una adecuada relación calcio-fósforo, así como el momento de administración del mineral, influye de manera significativa en la eficiencia de absorción y el rendimiento productivo (Li et al., 2020).

Desde un enfoque más práctico, las deficiencias de calcio pueden conducir a huevos con cáscaras frágiles, menor tasa de postura, debilidad esquelética y mayor incidencia de enfermedades metabólicas como la osteoporosis aviar (Shini et al., 2021). Por ello, no solo es importante la cantidad de calcio en la dieta, sino

también su interacción con otros minerales y vitaminas, en especial la vitamina D3, la cual facilita la movilización y absorción intestinal de este nutriente.

2.3.3 Fósforo en dieta de aves de postura

El fósforo (P) es un mineral esencial y costoso en la producción avícola debido a su expresiva participación en la calidad de la cáscara del huevo, la función metabólica y estructural en la formación del hueso y la cáscara del huevo. El P es un componente crítico de las membranas celulares y está involucrado en la glucólisis y otras vías metabólicas (Hill et al. 2008).

El metabolismo del P en las gallinas ponedoras es un proceso altamente dinámico a lo largo del ciclo de postura de 24 h. Ajustar el régimen de alimentación de fósforo según el ciclo diario de postura puede ayudar a mejorar la eficiencia de su utilización (Liao et al. 2022).

Las gallinas ponedoras dependen del suministro continuo de P en sus dietas; sin embargo, hay diferentes perspectivas sobre los requerimientos dietéticos de P para esta especie, así como las asignaciones dietéticas óptimas de P. Los fosfatos alimentarios son costosos, los que se derivan de las rocas son escasos y los de las proteínas animales ricas en P no están aprobados en varias regiones a nivel mundial (Rodehutscord et al. 2023).

Aproximadamente el 80% del P se almacena en el esqueleto en forma de hidroxiapatita. Se libera durante la reabsorción ósea durante la calcificación de la cáscara de huevo, y este exceso de fósforo debe excretarse para contrarrestar los efectos tóxicos (Sinclair-Black, Garcia, and Ellestad 2023).

El aumento del fósforo en sangre induce la secreción del factor de crecimiento de fibroblastos 23 (FGF23), una hormona de origen óseo que estimula fuertemente la pérdida de fósforo corporal, por lo tanto la gallina ponedora se encuentra en un estado de eflujo de fósforo durante el período de calcificación de la cáscara del huevo. Tras completarse la formación de la cáscara del huevo a primera hora de la mañana, cesa la resorción ósea medular y se produce la reconstrucción (Hernando, Gagnon, and Lederer 2021).

2.3.4 Triglicéridos y colesterol en aves de postura

En las aves, la digestión y transporte hasta el hígado de los lípidos difiere en gran medida con los mamíferos; los triglicéridos se almacenan especialmente en los hepatocitos, la yema de huevo o en el tejido adiposo; asimismo, son fuente de energía para el embrión (Osorio and Flórez 2011). La deposición excesiva de grasa debido al metabolismo de grasa deteriorado en pollos es un problema importante en la industria avícola (Zhang et al. 2024). El metabolismo de los lípidos es una parte indispensable de la formación de los huevos, y también está estrechamente relacionado con su papel molecular y características fisiológicas en el hígado, el principal órgano metabólico de los lípidos de las gallinas ponedoras (Gloux et al. 2019).

La presencia de lípidos en la dieta de aves de postura es crucial para mantener un rendimiento óptimo, favorecer la síntesis de hormonas, la formación de la yema y otros procesos reproductivos clave (Ricke et al. 2022).

Los lípidos simples son ésteres de ácidos grasos con glicerol, esteroles o alcoholes monohídricos de cadena larga. Son los más abundantes y se subdividen en triglicéridos, esteroides y ceras. Con una estructura básica de tres ácidos grasos y un monoacilglicerol, los triglicéridos constituyen la mayor parte de los lípidos consumidos por los no rumiantes (Oketch et al. 2023).

Tras la hidrólisis, los triglicéridos se descomponen en unidades absorbibles de grasa: dos ácidos grasos y un monoglicérido. Ambos lípidos circulan en el plasma aviar unidos a lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) y lipoproteínas de alta densidad (HDL), las cuales participan en el transporte de lípidos desde el hígado hacia tejidos periféricos, incluidos el ovario y el folículo en desarrollo (Xiao et al. 2020).

Los componentes bioquímicos de la sangre, como el colesterol, los triglicéridos y las enzimas hepáticas, son indicadores del metabolismo de los lípidos y la función hepática. Los cambios en estos parámetros pueden reflejar el impacto de las intervenciones dietéticas en el metabolismo y el bienestar de las gallinas (Aikpitanyi and Imasuen 2024).

El colesterol es una parte estructural de las membranas lipídicas que se utiliza como precursor para la biosíntesis de los ácidos biliares (Ogbuewu, Mabelebele, and Mbajiorgu 2024).

2.3.5 Glucosa en aves de postura

El metabolismo de la glucosa en las aves de corral llama mucho la atención debido a que tienen casi el doble de glucosa en sangre en ayunas que la de los mamíferos (Du et al. 2023).

Los requerimientos minerales de los animales pueden indicarse por la concentración de minerales en los tejidos y la sangre. Aún se desconoce si la suplementación de oligoelementos en las dietas de las gallinas ponedoras en la misma proporción en sangre es beneficiosa o no (Yang et al. 2021).

Cuadro 1. Valores óptimos, funciones y unidades de metabolitos sanguíneos en gallinas ponedoras.

Metabolito	Valores óptimos	Funciones principales
Calcio (Ca)	4 – 4.5 % dieta	Formación de cáscara, contracción muscular.
Fósforo (P)	Relación Ca:P = 2:1	Mineralización ósea y metabolismo energético.
Triglicéridos (TG)	0.2 – 1.2 mmol/L	Energía y formación de vitelo.
Colesterol (COL)	2.3 – 4.1 mmol/L	Precursor hormonal y estructura celular.
Proteínas totales (PT)	25 – 37 g/L	Estado nutricional e inmunitario.
Glucosa (GLC)	5.8 – 15.1 mmol/L	Sustrato energético principal.

2.4 Calidad del huevo

La producción avícola no solo es rentable, sino que también ofrece proteínas de alta calidad (Ahmad et al. 2022). El huevo es una buena fuente de nutrientes como las vitaminas A, D, E y K, B2, B6, B12, así como de minerales como calcio, fósforo, selenio, zinc, hierro y magnesio (Elnesr et al. 2024). En comparación con otras fuentes de proteínas los huevos son relativamente rentables (Puglisi and Fernandez 2022).

Debido a que los consumidores prestan cada vez más atención no solo al peso del huevo y la calidad de la cáscara, sino también a su sabor, frescura, color de la yema y la cáscara, valor nutricional, es necesario investigar las características internas y externas (figura 3) de la calidad del huevo (Petek and Kahraman 2025).

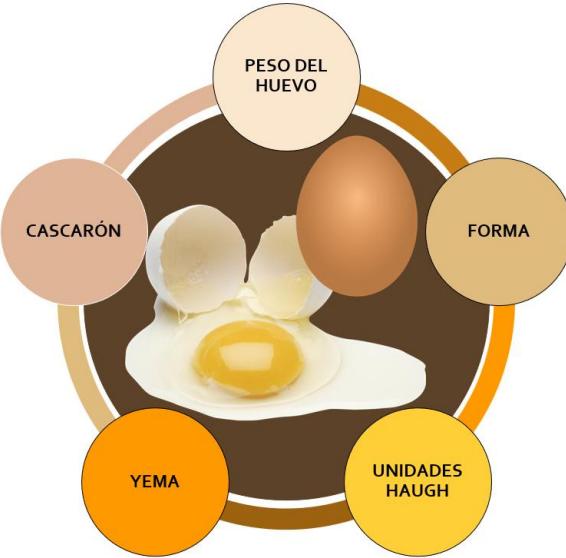


Figura 3. Evaluación física del huevo

Uno de los desafíos más significativos que enfrenta actualmente la industria de las gallinas ponedoras es la disminución de la calidad de los huevos (Túmová et al. 2017).

La influencia de la crianza, la edad, la alimentación y la especie de las aves, además del almacenamiento de los huevos después de la puesta, pueden influir directamente en aspectos de las cualidades y características como el peso, la forma, el grosor de la cáscara y el contenido interno, la resistencia y la composición nutricional de los ácidos grasos, la albúmina y otros nutrientes presentes en los huevos (Nasri et al. 2020).

La calidad del huevo es un criterio clave para los productores de huevos de todo el mundo y tiene importantes ramificaciones económicas (Elnesr et al. 2024); sin embargo, en sistemas sin jaulas, las gallinas pueden poner huevos en áreas fuera del nido, como esquinas del gallinero y ambientes oscuros (Li et al. 2022).

La transición a sistemas libres de jaula ha generado debates sobre la calidad del huevo. Los huevos de corral al aire libre presentaban menor limpieza y calidad

en comparación con los producidos en jaulas, especialmente después de 15 días de almacenamiento. Estos hallazgos sugieren la necesidad de mejorar las prácticas de manejo y las condiciones ambientales en los sistemas libres de jaula para garantizar la calidad del producto (Romo et al. 2022).

En las parvadas productoras de huevos, se ha demostrado que el aumento del peso corporal se asocia con un menor índice de conversión alimenticia (FCR) y una menor calidad de la albúmina (Anene et al. 2021).

El control del consumo de alimento de las gallinas no solo ahorrará costos de producción a través de una mejor eficiencia en la conversión alimenticia, sino que también puede aumentar la calidad de la albúmina (Anene et al. 2023).

La calidad de los huevos evaluada por la Unidad Haugh, es indicativa de la frescura y se determina considerando el espesor y la altura del albumen, siendo expresada por una escala de valores superiores a 72 unidades Haugh los cuales corresponden a la mejor calidad (Natividade et al. 2022).

Los parámetros físicos de calidad del huevo, como la cáscara y la resistencia de la membrana vitelina, el color de la cáscara, la unidad Haugh, el color de la yema y la masa seca del huevo, pueden afectar las percepciones del consumidor, así como las especificaciones del producto de la industria y la uniformidad tanto de los huevos de mesa como de los productos de huevo roto (Berkhoff et al. 2020).

La calidad de la cáscara es la principal preocupación de la industria avícola debido a las pérdidas económicas causadas por las alteraciones en este componente del huevo (Almeida et al. 2021).

El peso del huevo se correlaciona tanto con el tamaño comercializable del huevo como con la cantidad de producto para huevos de procesamiento posterior (Alig, Malheiros, and Anderson 2023).

Los rasgos internos y externos de la calidad del huevo tienen una base genética, pero también se ven afectados por la edad de las gallinas ponedoras y por el sistema de alojamiento de las gallinas, el seguimiento médico, la alimentación, la calidad del agua, las enfermedades, la temperatura, el tiempo de oviposición, el tiempo de almacenamiento y el entorno (Ulbad et al. 2021).

2.5 Aditivos en la dieta de aves de postura

En los últimos años, los investigadores han mostrado interés en explorar los efectos de los aditivos naturales en los componentes bioquímicos de la sangre y el perfil lipídico de las yemas de huevo de las gallinas ponedoras (Aikpitanyi and Imasuen 2024).

Se han propuesto aditivos alimenticios con propiedades nutracéuticas manteniendo los beneficios reportados y garantizando una producción sustentable (Ortiz Arana et al. 2021).

Últimamente se han desarrollado muchos aditivos alimentarios para mejorar el bienestar físico y metabólico del ganado de granja y para aumentar su productividad y capacidad de reproducción (Elsherbeni et al. 2024).

Para mejorar la calidad de la cáscara, se han explorado diversas estrategias nutricionales que incluyen oligoelementos orgánicos, extractos de plantas y otros aditivos en la dieta, con resultados prometedores (Lu et al. 2024).

La suplementación con aditivos sintéticos o naturales procedentes de diferentes fuentes de piensos es una práctica común y muy extendida para mejorar la utilización de los nutrientes (Abd El-Hack et al. 2020).

Para satisfacer los requerimientos de elementos minerales para las aves de corral, se deben agregar elementos aditivos minerales adicionales a la dieta (Lin et al. 2020). Por lo tanto, se necesitan investigaciones para determinar la proporción óptima de minerales en las dietas de los animales para establecer el patrón ideal (Yang et al. 2021).

Los desafíos en la producción avícola incluyen garantizar la inocuidad alimentaria y mantener bajos los costos de producción. Los gastos relacionados con la alimentación, el mantenimiento y el equipo constituyen los costos fundamentales, pero las pérdidas de producción también impactan significativamente las operaciones agrícolas (Hafez and Attia 2020).

La alta humedad en la cama también supone un problema importante para la salud y el bienestar de la parvada (Özentürk et al. 2024).

Cuando la recolección de huevos del suelo se convierte en una tarea diaria, aumentan los costos de mano de obra. Además, si los huevos se dejan en el

suelo pueden romperse o ser comidos por las aves. También los huevos deben recogerse rápidamente, sino pueden mezclarse con la cama y el estiércol, lo que aumenta el riesgo de contaminación y afecta negativamente la calidad y la seguridad de los alimentos (Li et al. 2020).

Por lo tanto, la cama debe supervisarse periódicamente y gestionarse eficazmente durante todo el ciclo de producción (Sakamoto et al. 2020).

2.5.1 Nanopartículas en la producción avícola

Con la introducción y el avance de la nanotecnología, el uso de nanopartículas ha cobrado relevancia en numerosas industrias. Una de las aplicaciones de la nanotecnología en la industria alimentaria es la producción de aditivos alimentarios (Abedini et al. 2017).

La nanotecnología puede ser utilizada para preparar alimentos innovadores e incorporar nuevos ingredientes y aditivos con funcionalidad determinada ya sea como antimicrobianos, antioxidantes, mejoradores de textura y/o enmascaradores de sabor (Ojeda, Arias Gorman, and Sgroppo 2019). El área de superficie de los minerales de tamaño nanométrico es 1250 veces menor que la de los minerales de tamaño macro. Por tanto, reducir el tamaño del material a nano escala puede aumentar su absorción y uso. Las nanopartículas (NPs) utilizados en alimentos se clasifican en 3 grupos diferentes (Peters et al. 2014):

- a. NPs orgánicos: tales como los lípidos, proteínas y polisacáridos, utilizados para encapsular vitaminas, antioxidantes, colorantes, saborizantes y preservadores, formando micelas, liposomas o nano esferas, etc. Tienen la ventaja de permitir mayor ingestión, absorción, biodisponibilidad y estabilidad en el organismo.
- b. NPs combinados orgánico/inorgánico: son llamados NPs funcionalizados de superficie, son agregados a una matriz por funcionalidad específica (antimicrobianos, antioxidantes, reguladores de permeabilidad y rigidez).
- c. NPs inorgánicos: son metales y óxido de metales, NPs de Ag, Fe, Se, TiO₂, utilizados como aditivos, suplementos alimentarios o en el envasado.

Las NPs ofrecen una liberación controlada de nutrientes a lo largo del tiempo debido a su mayor área superficial, lo que proporciona más sitios de contacto para la absorción de nutrientes (Abd El-Azeim et al. 2020). Tienen un gran potencial para ser utilizados como agente antibacteriano alternativo (nanobiótico) en la producción avícola para controlar la carga intestinal de patógenos transmitidos por los alimentos asociados a las aves (Mohd Yusof et al. 2021).

Es por ello que el uso de nanopartículas en aves de postura promete ser un buen aditivo en combinación con minerales necesarios en la salud y bienestar de las aves, así como en el producto generado. De acuerdo con estudios previos, su uso mejora la tasa de utilización de Zn en el cuerpo y minimiza el impacto ambiental al reducir el Zn no digerido en los excrementos. Las ZnO-NP se han justificado por su doble uso en la industria avícola para mejorar la biodisponibilidad del zinc y proporcionar beneficios antibacterianos (Shabbir et al. 2024).

Las NP de ZnO tienen características potenciales que las hacen lo suficientemente competentes para su uso en el sector avícola. La suplementación nutricional de NPs de ZnO por sí sola tiene mayores beneficios para mejorar la morfología intestinal. Presentan un gran potencial para ser utilizados como suplemento alimenticio debido a su pequeño tamaño, mayor biodisponibilidad y fuerte tasa de absorción en comparación con las fuentes inorgánicas tradicionales de Zn, junto con la reducción de la cantidad necesaria (Fatima et al. 2024).

Dosis menores de NPs de ZnO tienen mejor efecto terapéutico en animales, buena actividad química, participación en reacciones oxidativas, además de que, estas partículas son respetuosas con el medio ambiente debido a su alta biodisponibilidad y buenas actividades farmacológicas que el óxido de zinc tradicional (Lail et al. 2023).

2.5.2 Zeolita en la dieta de aves

La zeolita es un mineral de silicato de aluminio con poros microscópicos (Mondal et al. 2021). La evaluación de zeolitas naturales para la alimentación de especies

aviares se inició en la década de 1980 (Rodríguez, Valera, and Castro 2024b). La zeolita se utiliza ampliamente en la industria avícola como aditivo tanto para piensos como para la cama (Juzaitis-Boelter et al. 2021).

Se han demostrado efectos beneficiosos de la suplementación dietética de zeolita en la salud, el crecimiento y el rendimiento reproductivo en animales además se ha informado que las zeolitas poseen actividades antioxidantes, antihumorales, antivirales e inmunomoduladores (Hossein-Nia et al. 2018).

En la actualidad, la zeolita se sigue utilizando en el sector avícola para prolongar la vida económica del material de cama, para eliminar el mal olor del estiércol y reducir las heridas en patas y pechugas y los defectos de las canales.

En el caso particular de la clinoptilolita (CTL), las dosis efectivas para monogástricos son conocidas y en la industria avícola es común incluirlas en la dieta de las aves de postura y pollos de engorda (Hcini et al. 2018). La integración y el desarrollo de ingredientes alimentarios eficaces y de bajo coste es un tema candente en este momento en la cría de pollos, y la zeolita es uno de esos ingredientes (Elnesr et al. 2024).

En la alimentación de aves de postura, se ha demostrado que la zeolita puede tener varios efectos beneficiosos, como la mejora de la absorción de nutrientes y la reducción de la contaminación ambiental, además de ser capaz de adsorber gases y vapores, micotoxinas, amoníaco, agua, metales pesados y elementos radiactivos (Rodríguez, Valera, and Castro 2024a). Ayuda al cuerpo a absorber y eliminar los desechos intestinales perjudiciales y las toxinas alimentarias, lo que a su vez ayuda a estabilizar el pH del jugo gástrico, además de mejorar la absorción de minerales como el calcio, el fósforo y los oligoelementos (Larina et al. 2020).

La suplementación con zeolita mejora la producción de huevos y la calidad de los huevos en gallinas ponedoras. Las propiedades de este mineral, que participa en procesos bioquímicos que incluyen alta capacidad de intercambio catiónico, absorción, catálisis y procesos de rehidratación-deshidratación (Rodríguez, Valera, and Castro 2024a).

Una de las soluciones para reducir las deficiencias de la calidad de la cáscara del huevo y la resistencia ósea con el envejecimiento es aumentar el uso de partículas de piedra caliza gruesa (es decir, >0,8 mm. Sin embargo, a menudo se utiliza una proporción de 75% gruesa: 25% fina en gallinas viejas (Hervo et al. 2022). Las partículas gruesas de caliza mejoran la calidad de la cáscara del huevo independientemente de la edad de las gallinas, mientras que su efecto sobre la resistencia ósea depende de la edad. Por lo tanto, las partículas gruesas de caliza ayudan a prevenir la debilidad ósea en las aves ponedoras (Hervo et al. 2022).

La zeolita y las nanopartículas de óxido de zinc son aditivos que han sido estudiados en la alimentación de aves de postura y engorda, debido a sus potenciales beneficios para la salud y el rendimiento de las aves.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación y condiciones ambientales

La investigación se desarrolló en el galpón situado dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, ubicada en la ciudad de Torreón, Coahuila México ($25^{\circ}33' \text{ LN}$ y $103^{\circ}22' \text{ LO}$), con clima cálido y una temperatura promedio anual de 28.3°C .



Figura 4. Ubicación del área de estudio

3.2 Animales y grupos experimentales

La investigación se llevó a cabo en un sistema de piso en el cual se utilizaron un total de 500 gallinas de postura de la línea Rhode Island Red de 20 semanas de edad, las cuales se distribuyeron de forma proporcional desde el inicio del

experimento, en cinco grupos cada uno con cuatro repeticiones, cada repetición estuvo separada en corrales divididos con malla ciclonica donde se les puso cama de viruta de madera, con una densidad de 7 aves/m²., conformado por 25 gallinas por repetición, durante 20 semanas un grupo (GT) se alimentó solo con alimento comercial postura y a los otros cuatro grupos además del alimento comercial se les agregó uno de los siguientes tratamientos a cada grupo:



Figura 5. Instalaciones donde se alojaron las aves para llevar a cabo el experimento

1. Zeolita al 4% con 90ppm de NPZnO (G90)
2. Zeolita al 4% con 60ppm de NPZnO (G60)
3. Zeolita al 4% con 30ppm de NPZnO (G30)
4. Zeolita al 4% (GZ)



Figura 6. Distribución de aves por tratamiento

Los tratamientos se prepararon de la siguiente manera: se pesaron 90, 60 y 30 ppm de nanopartículas de óxido de zinc (NPZnO) y cada una de las dosis se diluyó en un litro de agua destilada hasta lograr una mezcla homogénea para luego verter la mezcla en 10 litros de agua destilada, los cuales se agregaron a 20 kg de zeolita natural, posteriormente se secó la zeolita a la interperie y una vez seca se integrara al alimento comercial postura en proporción al 4% del total de la ración diaria por ave.

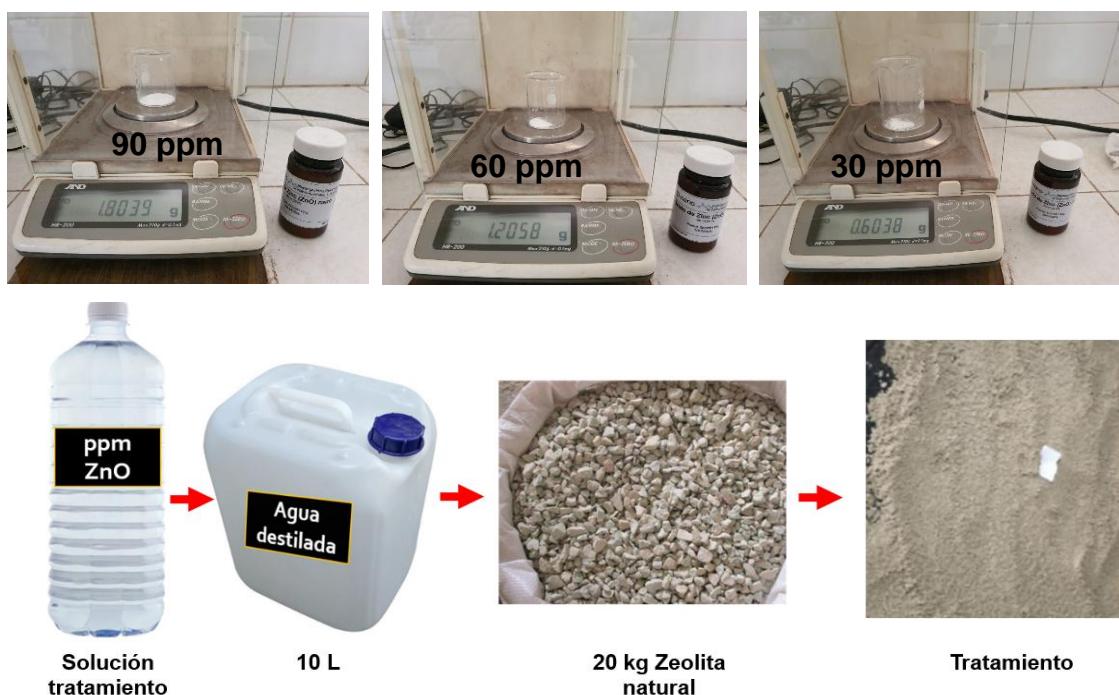


Figura 7. Procedimiento de preparación del tratamiento

El alimento y agua se suministró *ad libitum* dos veces al día (8 de la mañana y 5 de la tarde), en comederos tipo tolva y bebederos de campana.

El sistema de iluminación fue artificial y se suministró 16 horas luz por día. La temperatura y la ventilación dentro del galpón se controló mediante manejo de cortinas y ventiladores.



Figura 8. Manejo diario

3.3 Variables evaluadas

3.3.1 Peso de las aves

Las aves se pesaron cada semana de forma aleatoria en una báscula de piso con capacidad de máximo 40kg, se consideraron cinco aves por repetición, dando un total de 20 aves por grupo.



Figura 9. Pesaje de aves

3.3.2 Biometría hemática y química sanguínea

Para determinar la condición de salud de las aves, se analizó la biometría hemática y química sanguínea, de forma aleatoria se colectaron muestras de sangre de 8 aves por grupo tratado (dos por repetición) a través de la vena cubital, cada dos semanas. La mitad de muestras sanguíneas por grupo se recolectaron en tubos sin anticoagulante (tapa roja) para evaluar metabolitos

sanguíneos y la otra mitad en tubos con EDTA (tapa lila) para pruebas de química sanguínea.

Para analizar los metabolitos sanguíneos, las muestras de sangre se centrifugaron a 3500 rpm durante 15 minutos para separar el suero y analizar la cantidad de proteína total, calcio, fósforo, triglicéridos, colesterol y glucosa.

Para determinar la cantidad de proteína total se colocó con una pipeta 1 ml de suero sanguíneo en un refractómetro. Se cuantificó el contenido de calcio, fósforo, triglicéridos, colesterol y glucosa a través del equipo H-100.



Figura 11. Análisis de metabolitos sanguíneos con el equipo H-100

Dentro de las pruebas de química sanguínea, se contabilizaron el total de glóbulos blancos y glóbulos rojos mediante el equipo Analyzer 2000.

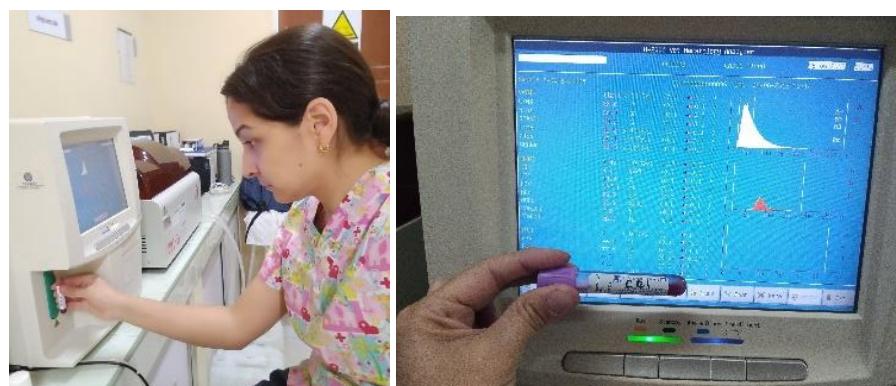


Figura 10. Evaluación de química sanguínea con equipo Analyzer 2000

3.1.3 Porcentaje de postura

Se calculó diariamente el *porcentaje de postura*, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{% Postura} = (\text{huevos puestos/número de gallinas}) * 100$$

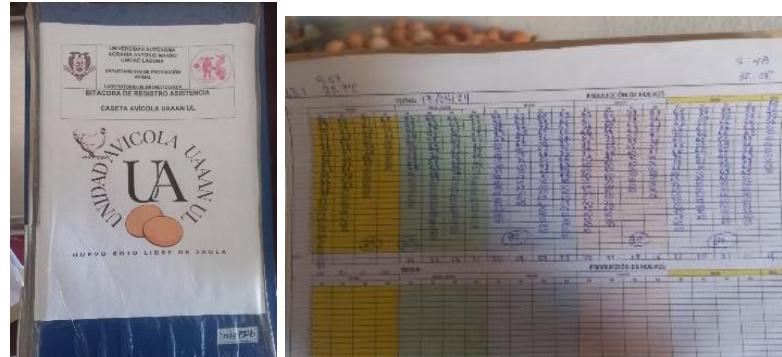


Figura 12. Bitacora de registro y porcentaje de postura

El *peso del huevo* se realizó de forma individual durante los 20 días que duró el experimento, se empleó una balanza digital de precisión 0.001g.

La *conversión alimenticia* se calculó mediante la fórmula:

$$\text{CV}=\text{cantidad de huevo/cantidad de aves al inicio del experimento}$$



Figura 13. Recolección y pesaje de huevo

3.1.4 Evaluación física del huevo

Se seleccionaron al azar 10 huevos de cada grupo cada cuatro semanas hasta completar 40 semanas, la *medición* de extremo a extremo y del ecuador del huevo (mm) se realizó con un pie de rey.

El *índice de forma* se calculó utilizando la metodología de López *et al.* (1997) en función de la expresión:

$$IF = (\text{diámetro menor/diámetro mayor}) / 100$$



Figura 14. Evaluación física externa del huevo

Para medir *el grosor del cascarón* (mm), se quebró el huevo por la mitad y en la zona del ecuador del huevo se posiciona el pie de rey y se ajusta para registrar la medida.

El tamaño de la *albúmina* (mm), se midió mediante el uso de pie de rey, determinando ancho, largo y alto. Las *unidades Haugh* se determinaron mediante la fórmula:

$$UH = 100 / \log (h - 1.7 w^{0.37} + 7.6)$$



Figura 15. Evaluación física interna del huevo

El tamaño (mm) de la *yema* se determinó mediante el uso de pie de rey, así como la valoración de color se realizó mediante el uso del abanico de Roche.

3.2 Análisis estadístico

Después de digitalizar la base de datos se realizó un análisis de varianza para cada una de las variables evaluadas. En el análisis de los efectos a través del tiempo y la interacción del tratamiento x tiempo cuando el ANOVA reflejaba alguna diferencia estadística se procedió a realizar la comparación de medias mediante la prueba de Duncan. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico SAS (versión 9.0) y la diferencia estadística se consideró a $P<0.05$.

4 RESULTADOS

En la figura 16, se muestra el peso promedio (g) obtenido de gallinas Rhode Island Red de los tratamientos (GT, G90, G60, G30 y GZ) adicionados en la dieta, se mostraron diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$) entre los tratamientos G90 y GZ en comparación con el G30 ($1687.1 \pm$ vs 1642.3).

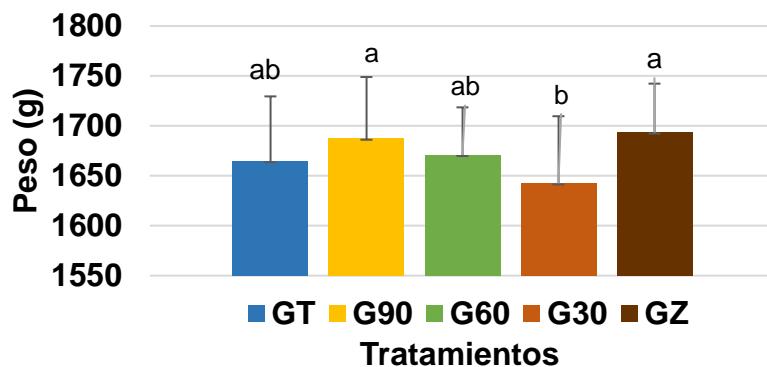


Figura 16.

Peso promedio (g) obtenido de gallinas Rhode Island Red producidas sistema de piso y alimentadas con una dieta en base a alimento comercial postura (GT) y adicionando Zeolita al 4% con 90ppm de NPZnO (G90), Zeolita al 4% con 60ppm de NPZnO (G60), Zeolita al 4% con 30ppm de NPZnO (G30) y Zeolita al 4% (GZ).

En la composición de metabolitos sanguíneos como glucosa, triglicericos, calcio, fosforo, colesterol y proteína total no se observó diferencia significativa ($p>0.05$) entre los grupos tratados () y el grupo testigo (GT) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Metabolitos sanguíneos promedio (\pm ee) obtenidos de gallinas Rhode Island Red producidas sistema de piso y alimentadas con una dieta en base a alimento comercial postura (GT) y adicionando Zeolita al 4% con 90ppm de NPZnO (G90), Zeolita al 4% con 60ppm de NPZnO (G60), Zeolita al 4% con 30ppm de NPZnO (G30) y Zeolita al 4% (GZ).

	GT	G90	G60	G30	GZ	valor - P
GLC (mg/dl)	116.38 \pm 58.23	99.14 \pm 51.97	103.3 \pm 55.58	122.48 \pm 70.65	121.9 \pm 64.37	0.7293
TG (mg/dl)	1202.09 \pm 407.12	1283.4 \pm 343.45	1136.9 \pm 373.51	1154.58 \pm 344.51	1153.3 \pm 325.1	0.8148
Ca (mg/dl)	14.47 \pm 4.65	17.17 \pm 3.62	17.12 \pm 4.295	16.83 \pm 3.849	17.48 \pm 4.06	0.4532
P (mg/dl)	6.25 \pm 1.13	8.43 \pm 2.7	6.53 \pm 1.43	7.85 \pm 2.73	7.95 \pm 3.9	0.2018
COL (mg/dl)	172.85 \pm 58.60	213.7 \pm 60.1	195.2 \pm 51.42	191.05 \pm 45.37	193.5 \pm 62.61	0.5848
PT (g/dl)	6.24 \pm 0.59	6.4 \pm 0.52	6.17 \pm 0.54	6.1 \pm 0.65	6.05 \pm 0.67	0.689

La influencia del efecto de los tratamientos no tuvo representación significativa en el porcentaje de postura (Figura 17), al comparar los grupos adicionados con zeolita y/o nanoparticulas de ZnO con respecto al grupo testigo, la mayor variabilidad numérica se observa en el grupo G90.

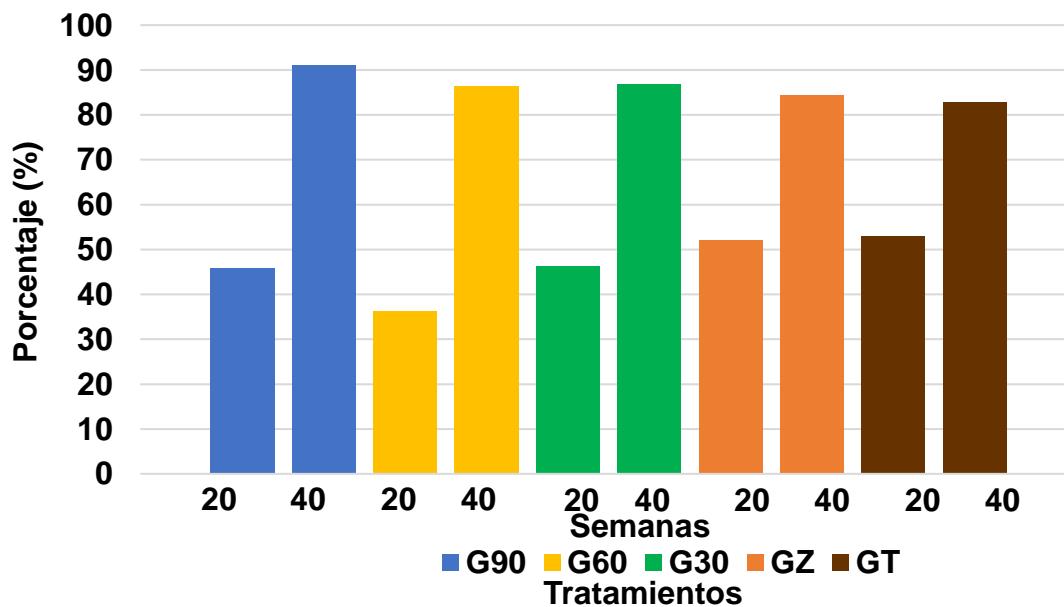


Figura 17. Porcentaje de postura promedio obtenido de gallinas Rhode Island Red producidas sistema de piso y alimentadas con una dieta en base a alimento comercial postura (GT) y adicionando Zeolita al 4% con 90ppm de NPZnO (G90), Zeolita al 4% con 60ppm de NPZnO (G60), Zeolita al 4% con 30ppm de NPZnO (G30) y Zeolita al 4% (GZ) desde el inicio de la postura (semana 20) y hasta la semana 40.

En la figura 18 se puede observar el efecto de los tratamientos sobre el incremento del porcentaje de postura, el grupo G60 incrementó en un 50.14 %, el grupo testigo aunque comenzó con un alto índice de postura solo incrementó , 29.86%, en lo que marca una influencia del efecto de dichos tratamientos para lograr un aumento más óptimo en el porcentaje de postura (Figura 18).

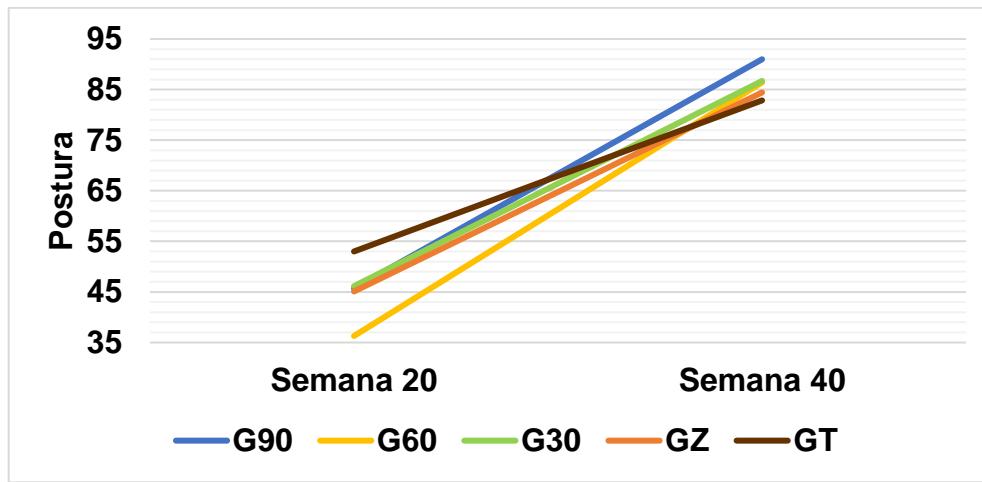


Figura 18. Incremento del porcentaje de postura del efecto de los tratamientos en el comportamiento de postura promedio obtenido de gallinas Rhode Island Red producidas sistema de piso y alimentadas con una dieta en base a alimento comercial postura (GT) y adicionando Zeolita al 4% con 90 ppm de NPZnO (G90), Zeolita al 4% con 60 ppm de NPZnO (G60), Zeolita al 4% con 30

ppm de NPZnO (G30) y Zeolita al 4% (GZ) desde el inicio de la postura (semana 20) y hasta la semana 40.

En el cuadro 4 se muestran los resultados de los parámetros que corresponden a la calidad física del huevo (calidad del huevo, índice de forma, grosor y peso del cascarón, peso y color de la yema, alto, largo y ancho de la albumina y unidades haugh), no mostraron efectos significativos en ninguno de los tratamientos. Sin embargo, se puede observar que el peso del huevo (HP) y cascarón (CP) muestran un mayor valor numérico en el grupo G30 en comparación con el grupo control. En cuanto a la altura de la albúmina (AALT) y las unidades Haugh (UH) el grupo G60 es el que representa la mayor variación numérica y en cuanto al índice de forma (IF) el grupo GZ.

Cuadro 3. Parámetros de calidad física del huevo (medias \pm EE) obtenido de gallinas Rhode Island Red producidas sistema de piso y alimentadas con una dieta en base a alimento comercial postura (GT) y adicionando Zeolita al 4% con 90ppm de NPZnO (G90), Zeolita al 4% con 60ppm de NPZnO (G60), Zeolita al 4% con 30ppm de NPZnO (G30) y Zeolita al 4% (GZ) desde el inicio de la postura (semana 20) y hasta la semana 40.

	GT	G90	G60	G30	GZ	valor - P
HP (g)	53.41 \pm 3.43	54.11 \pm 3.58	55.02 \pm 3.57	54.7 \pm 4.18	53.09 \pm 3.53	0.5555
IF	77.91 \pm 1.88	78.21 \pm 1.90	78.25 \pm 1.37	78.82 \pm 204	79.3 \pm 3.34	0.4379
CG (mm)	0.17 \pm 0.03	0.19 \pm 0.03	0.18 \pm 0.03	0.18 \pm 0.03	0.17 \pm 0.03	0.2718
CP (g)	6.59 \pm 0.78	6.83 \pm 0.71	6.68 \pm 0.68	6.95 \pm 0.73	6.67 \pm 0.70	0.6854
YP	13.13 \pm 0.40	13.08 \pm 0.41	12.95 \pm 0.40	12.98 \pm 0.39	12.85 \pm 0.52	0.4105
YC (g)	10.1333 \pm 1.19	10 \pm 1.29	10.1833 \pm 1.17	9.8833 \pm 1.24	10.25 \pm 1.32	0.1279
AALT (mm)	13.26 \pm 0.63	13.11 \pm 0.64	13.72 \pm 3.31	13.32 \pm 0.80	13.03 \pm 0.74	0.4073
ALAR (mm)	72.84 \pm 4.73	73.9 \pm 3.93	72.47 \pm 3.49	73.84 \pm 5.23	72.95 \pm 4.58	0.8715
AAN (mm)	62.99 \pm 4.53	63.9 \pm 3.77	63.17 \pm 4.62	63.25 \pm 4.48	63.96 \pm 4.39	0.9805
UH	112.67 \pm 2.42	112.07 \pm 2.43	112.57 \pm 4.98	112.5 \pm 3.11	111.88 \pm 2.84	0.4702

5 DISCUSIÓN

Las nanopartículas de óxido de zinc se consideran un prometedor suplemento alimenticio alternativo para aves de corral. En la presente investigación se formuló la hipótesis de que la adición de nanopartículas de óxido de zinc y/o zeolita en la dieta de gallinas ponedoras en piso afectaría los parámetros metabólicos y productivos durante las primeras 20 semanas de postura. Se puede aceptar parcialmente la hipótesis tomando en consideración las diferencias estadísticas ($p<0.05$) mostradas en el peso de las aves a favor de los tratamientos GZ y G90 en comparación con el G30 ($1687.1\pm$ vs $1642.3\pm$), lo anterior muestra resultados similares a los obtenidos por Biesek et al. (2021), quienes reportaron que el peso corporal de las aves mejoró ($P < 0.05$) al agregar zeolita a la dieta en comparación con el grupo testigo, de la misma manera en otro estudio donde las aves que recibieron piensos suplementados con 50 g de zeolita/kg incrementaron su peso corporal en comparación con las aves que solo recibieron una dieta control (Elsherbeni et al. 2024).

La diferencia entre tratamientos así como la cantidad de nanopartículas de zinc adicionadas en la dieta de las aves no afectó los parámetros físicos del huevo así como tampoco en el porcentaje de postura, esto coincide con otros estudios en los que evaluaron diferentes cantidades de Zn dietario agregado, a saber, 20, 40, 60, 80 y 100 mg/kg de MS, y diferentes fuentes de Zn, como óxido de zinc inorgánico, proteinato de zinc orgánico y nanopartículas de óxido de zinc (NP), no afectaron el consumo de alimento, la producción de huevos, el peso del huevo y la relación del consumo de alimento diario con el peso del huevo (Yu et al. 2020). Sin embargo, hay otros resultados que demuestran que agregar NP de ZnO al alimento de las gallinas ponedoras mejora la calidad del huevo y soluciona el problema de las cáscaras de huevo débiles en las ponedoras de edad avanzada (Fatima et al. 2024), así como también se ha reportado que el ZnO mejora el estado antioxidante e inmunológico de las aves (El-Bahr et al. 2020).

En el mismo sentido recientemente Fatima et al. (2024), reportaron que la adición nutritiva de NP de ZnO puede mejorar el rendimiento del crecimiento de las aves y el aumento de la producción de huevos, lo anterior lo se atribuye a el papel significativo que desempeña el Zn en la formación y liberación de hormonas reproductivas, sin embargo, aún es necesario especificar una dosis óptima de NP de ZnO y un análisis más profundo para comprender su mecanismo de acción (Lail et al. 2023).

Qiu et al. (2020) encontraron que la adición de zinc tanto en forma orgánica o inorgánica, no compromete la producción de huevos ni la resistencia de la cáscara ($P>0,05$) e incluso redujo la pérdida de huevos ($P < 0,05$). Lo anterior coincide con los resultados de la presente investigación donde no mostraron efectos significativos ($P>0,05$) con la adición nutritiva de NP de ZnO, aunque se observó que el peso del huevo y del cascarón es mayor en el grupo G30 en comparación con el grupo control.

Los resultados obtenidos en otros estudios (Ogbuewu and Mbajorgu 2022) sugieren que la suplementación dietética con zinc mejora la tasa de conversión alimenticia, la producción el peso del huevo, la masa del huevo, la puntuación unitaria de Haugh, el grosor de la cáscara del huevo y las concentraciones de zinc en la sangre en las gallinas, sin embargo, dicha suplementación dietética con zinc no tienen ningún efecto significativo en la ingesta de alimento y el peso de la cáscara del huevo. Al respecto *Qiu et al.* (2020), indican que la mayor absorción de niveles bajos de inclusión de minerales traza orgánicos tiene un efecto positivo en el rendimiento y la calidad de la cáscara del huevo.

Uno de los componentes más importantes para determinar la frescura del huevo se evalúa con la medición de las unidades Haugh, estudios demuestran que la suplementación de la dieta de las gallinas ponedoras con 40 mg/kg de sulfato de zinc aumenta la masa del huevo, las unidades Haugh y el grosor de la cáscara (Rajabi and Torki 2021), es importante mencionar que a pesar de que nosotros no obtuvimos resultados significativos entre tratamientos en los parámetros anteriores, las unidades Haugh en los grupos G60 y G30 fueron mayores que en el grupo testigo.

La adición de zinc influye en diversos componentes en sangre, sin embargo, las investigaciones de lípidos sanguíneos de las aves ponedoras son escasos, y la literatura previa sobre la adición de ZnO en proporción a las ponedoras detectó resultados contradictorios. Tal es el caso de estudios donde la dieta adicionada con 20 ppm de ZnO NP o con 75 mg/kg de zinc reduce significativamente la concentración de triglicéridos (Hatab et al. 2022). Sin embargo, los resultados obtenidos en la presente investigación, ya que los niveles de lípidos se elevaron al adicionar los tratamientos con nanopartículas de óxido de zinc en la dosis más alta (G90).

Encontrar alternativas adecuadas para la dieta en aves de piso es fundamental para el correcto manejo de la producción y bienestar animal, dado que representa mayores retos en la forma de metabolismo de las aves y se presentan más detalles relacionados con la calidad y porcentaje de postura, ya que como se ha mencionado en otros estudios, el huevo producido en sistemas de jaula posee mejor calidad después de 15 días de almacenamiento, cuando se compara con el huevo obtenido en un sistema en corral al aire libre (Romo et al., 2022), esto se puede ver proyectado en los resultados obtenidos en el porcentaje de postura, pues la mejor producción se observa en el grupo testigo al tener el porcentaje de postura más alto por lo que hay que analizar diferentes estrategias dietéticas que promuevan un mejor desarrollo en el porcentaje de postura en los sistemas de piso.

Otro factor es el índice de forma del huevo, estudios previos han demostrado que al suplementar zinc, ésta variable se ve influenciada de forma positiva (Gholizadeh, Torki, and Mohammadi 2022), sin embargo, el estudio demuestra que es en el caso de la adición de zeolita que los mejores resultados en el índice de forma son observados. Uno de los resultados esperados era que la adición de nanopartículas con zeolita tuviera un mejor rendimiento en el manejo de la cama de las aves debido a sus propiedades, no obstante, la respuesta no fue la esperada. Estudios de suplemento con zeolita a un nivel de 20 g/kg de dieta y criadas con cama provista de zeolita a un nivel de 2 kg/m² mostraron mejoría en las características de la canal y los parámetros bioquímicos sanguíneos, en

comparación con los otros tratamientos aplicados y el grupo control (Elsherbani et al. 2022) permitiendo un mayor peso del huevo y una mejor conversión de masa (Rodríguez, Valera, and Castro 2024a).

Se requieren más estudios, que incluyan las características de producción, la economía y la influencia del interés de los consumidores, para una producción de huevos más rentable y sostenible al elegir el genotipo de gallina ponedora para sistemas sin jaula (Petek y Kahraman, 2025).

6 CONCLUSIÓN

Nuestros resultados sugieren que la adición de 90ppm de nanopartículas de óxido de zinc en combinación con zeolita en las dietas de gallinas ponedoras en las condiciones de este experimento, tuvo un papel más efectivo, sin embargo, no se muestran diferencias estadísticas entre tratamientos. La información sobre el efecto de estos aditivos en gallinas ponedoras es escasa por lo que es necesario profundizar en aspectos relacionados con la calidad interna y externa del huevo, así como con la bioquímica sanguínea y la digestibilidad de los nutrientes, para así poder establecer los posibles mecanismos de acción de los tratamientos en base a los resultados obtenidos.

7 LITERATURA CITADA

- Abbas, G, S Jaffery, AH Hashmi, AJ Tanveer, M Arshad, QA Amin, MI Saeed, M Saleem, RAM Qureshi, and AA %J Pakistan Journal of Science Khan. 2022. 'Prospects and challenges of adopting and implementing smart technologies in poultry production', 74.
- Abd El-Azeim, M. M., M. A. Sherif, M. S. Hussien, I. A. A. Tantawy, and S. O. Bashandy. 2020. 'Impacts of nano- and non-nanofertilizers on potato quality and productivity', *Acta Ecologica Sinica*, 40: 388-97.
- Abd El-Hack, M. E., M. Alagawany, M. T. Chaudhry, M. Saeed, E. A. M. Ahmad, and S. A. A. El-Sayed. 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 & Production*, 52: 525-31.
- Abedini, M., F. Shariatmadari, M. A. Karimi Torshizi, and H. Ahmadi. 2017. 'Effects of a dietary supplementation with zinc oxide nanoparticles, compared to zinc oxide and zinc methionine, on performance, egg quality, and zinc status of laying hens', *Livestock Science*, 203: 30-36.
- Afshar Bakeshlo, Ali, Behnam Ahmadipour, Fariborz Khajali, and Nasrollah Pirany. 2024. 'Comparative effects of zinc hydroxy chloride, zinc sulfate, and zinc-methionine on egg quality and quantity traits in laying hens', *Animal Science Journal*, 95: 1-9.
- Ahmad, Izaz, Misbah Ullah, Mohamed Alkafafy, Nazeer Ahmed, Samy F Mahmoud, Kamran Sohail, Habib Ullah, Wafaa M Ghoneem, Mohamed M Ahmed, and Samy %J Saudi Journal of Biological Sciences Sayed. 2022. 'Identification of the economics, composition, and supplementation of maggot meal in broiler production', 29: 103277.
- Aikpitanyi, Kelvin Uhunoma, and James Atekha Imasuen. 2024. 'Evaluation of Blood Biochemical Indices and Egg Yolk Lipid Profile in Laying Hens Fed Diets with Black Pepper and Red Pepper Additives', *European Journal of Veterinary Medicine*, 4: 1-9.
- Alig, Benjamin N., Ramon D. Malheiros, and Kenneth E. Anderson. 2023. 'Evaluation of Physical Egg Quality Parameters of Commercial Brown Laying Hens Housed in Five Production Systems', 13: 716.
- Alirezaei Shahraki, Parva, Farshid Kheiri, Hamid Amanlou, Mostafa Faghani, and Sayed Mohammad Ali Jalali. 2024. 'Determining the optimal level and the effect of different zinc sources on performance, egg quality and the immune system of laying hens at the end of the production period', *Veterinary Medicine & Science*, 10: 1-11.
- Almeida, Guilherme, Michele Mendonça, Lidianne Weitzel, Tatiana Bittencourt, Anderson Matos, Jean Valentim, Michelle Araújo, and Adna Oliveira. 2021. 'Physical quality of eggs of four strains of poultry', *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 43: e52738.
- Anene, Doreen O., Yeasmin Akter, Peter C. Thomson, Peter Groves, and Cormac J. O'Shea. 2023. 'Effect of restricted feeding on hen performance, egg quality and organ characteristics of individual laying hens', *Animal Nutrition*, 14: 141-51.

- Anene, Doreen Onyinye, Yeasmin Akter, Peter Campbell Thomson, Peter Groves, Sonia Liu, and Cormac John %J Animals O'Shea. 2021. 'Hens that exhibit poorer feed efficiency produce eggs with lower albumen quality and are prone to being overweight', 11: 2986.
- Attia, Youssef A., Mohammed A. Al-Harthi, and Hayam M. Abo El-Maaty. 2020. 'Calcium and Cholecalciferol Levels in Late-Phase Laying Hens: Effects on Productive Traits, Egg Quality, Blood Biochemistry, and Immune Responses', *Frontiers in Veterinary Science*, Volume 7 - 2020.
- Berkhoff, Jeniffer, Christian Alvarado-Gilis, Juan Pablo Keim, José Antonio Alcalde, Einar Vargas-Bello-Pérez, and Mónica %J Poultry science Gendarillas. 2020. 'Consumer preferences and sensory characteristics of eggs from family farms', 99: 6239-46.
- Boerboom, Gavin M, Ronald Busink, Coen H Smits, Wouter H Hendriks, and Javier %J Journal of Animal Science Martín-Tereso. 2020. 'Efficacy of L-glutamic acid, N, N-diacetic acid to improve the dietary trace mineral bioavailability in broilers', 98: skaa369.
- Bonnefous, Claire, Anne Collin, Laurence A. Guilloteau, Vanessa Guesdon, Christine Filliat, Sophie Réhault-Godbert, T. Bas Rodenburg, Frank A. M. Tuyttens, Laura Warin, Sanna Steenfeldt, Lisa Baldinger, Martina Re, Raffaella Ponzio, Anna Zuliani, Pietro Venezia, Minna Väre, Patricia Parrott, Keith Walley, Jarkko K. Niemi, and Christine Leterrier. 2022. 'Welfare issues and potential solutions for laying hens in free range and organic production systems: A review based on literature and interviews', Volume 9 - 2022.
- Council, National Research. 1994. *Nutrient Requirements of Poultry: Ninth Revised Edition, 1994* (The National Academies Press: Washington, DC).
- Du, P., H. Wang, X. Shi, X. Zhang, Y. Zhu, W. Chen, H. Zhang, and Y. Huang. 2023. 'A comparative study to determine the effects of breed and feed restriction on glucose metabolism of chickens', *Anim Nutr*, 13: 261-69.
- El-Bahr, S. M., S. Shousha, I. Albokhadaim, A. Shehab, W. Khattab, O. Ahmed-Farid, O. El-Garhy, A. Abdelgawad, M. El-Naggar, M. Moustafa, O. Badr, and M. Shathele. 2020. 'Impact of dietary zinc oxide nanoparticles on selected serum biomarkers, lipid peroxidation and tissue gene expression of antioxidant enzymes and cytokines in Japanese quail', *BMC Vet Res*, 16: 349.
- Elnesr, Shaaban S., Bothaina Y. Mahmoud, Paula Gabriela da Silva Pires, Priscila Moraes, Hamada A. M. Elwan, Nahed Ahmed El-Shall, Mohamed S. El-Kholy, and Mahmoud Alagawany. 2024. 'Trace Minerals in Laying Hen Diets and Their Effects on Egg Quality', *Biological Trace Element Research*, 202: 5664-79.
- Elsherbeni, A. I., G. M. El-Gendi, O. H. El-Ggarhy, and H. M. Okasha. 2022. 'Effect of Zeolite Addition to Diets and Litter on Carcass Traits and Blood Biochemistry Parameters of Laying Hens (Silver Montazah)', *Annals of Agricultural Science Moshtohor*, 60: 1051-62.
- Elsherbeni, Ahmed I., Islam M. Youssef, Reda E. Hamouda, Mahmoud Kamal, Gaafar M. El-Gendi, Osama H. El-Garhi, Haifa E. Alfassam, Hassan A. Rudayni, Ahmed A. Allam, Mahmoud Moustafa, Mohammed O.

- Alshaharn, and Mohamed S. El Kholy. 2024. 'Performance and economic efficiency of laying hens in response to adding zeolite to feed and litter', *Poultry Science*, 103: 103799.
- Fatima, Arjmand, Tean Zaheer, Kaushik Pal, Rao Zahid Abbas, Tayyaba Akhtar, Sultan Ali, and Muhammad Shahid Mahmood. 2024. 'Zinc Oxide Nanoparticles Significant Role in Poultry and Novel Toxicological Mechanisms', *Biological Trace Element Research*, 202: 268-90.
- Geng, Yanqiang, Qiugang Ma, Zhong Wang, Yuming %J Nutrition Guo, and metabolism. 2018. 'Dietary vitamin D 3 supplementation protects laying hens against lipopolysaccharide-induced immunological stress', 15: 1-14.
- Ghanima, Mahmoud M Abo, Mahmoud Alagawany, Mohamed E Abd El-Hack, Ayman Taha, Shaaban S Elnesr, Jamaan Ajarem, Ahmed A Allam, and Ayman M %J Poultry Science Mahmoud. 2020. 'Consequences of various housing systems and dietary supplementation of thymol, carvacrol, and eugenol on performance, egg quality, blood chemistry, and antioxidant parameters', 99: 4384-97.
- Gholizadeh, Hossein, Mehran Torki, and Hamed Mohammadi. 2022. 'Production performance, egg quality and some blood parameters of heat-stressed laying hens as affected by dietary supplemental Vit B6, Mg and Zn', *Veterinary Medicine & Science*, 8: 681-94.
- Gloux, Audrey, Michel J Duclos, Aurélien Brionne, Marie Bourin, Yves Nys, and Sophie %J BMC genomics Réhault-Godbert. 2019. 'Integrative analysis of transcriptomic data related to the liver of laying hens: from physiological basics to newly identified functions', 20: 1-16.
- Hafez, Hafez M, and Youssef A %J Frontiers in veterinary science Attia. 2020. 'Challenges to the poultry industry: current perspectives and strategic future after the COVID-19 outbreak', 7: 516.
- Hatab, M. H., E. Rashad, H. M. Saleh, E. R. El-Sayed, and A. M. A. Taleb. 2022. 'Effects of dietary supplementation of myco-fabricated zinc oxide nanoparticles on performance, histological changes, and tissues Zn concentration in broiler chicks', *Sci Rep*, 12: 18791.
- Hcini, Emna, Ahlem Ben Slima, Imen Kallel, Sonia Zormati, Al Ibrahim Traore, Radhouane %J Lipids in health Gdoura, and disease. 2018. 'Does supplemental zeolite (clinoptilolite) affect growth performance, meat texture, oxidative stress and production of polyunsaturated fatty acid of Turkey poults?', 17: 177.
- Hernández, Lizeth Diana. 2024. "En 2024 aumenta el consumo de huevo en México, ¿cuáles son los beneficios de esta proteína a la salud humana?" In *Excelsior Digital*.
- Hernando, Nati, Kenneth Gagnon, and Eleanor %J Physiological reviews Lederer. 2021. 'Phosphate transport in epithelial and nonepithelial tissue', 101: 1-35.
- Hervo, F., A. Narcy, Y. Nys, and M. P. Létourneau-Montminy. 2022. 'Effect of limestone particle size on performance, eggshell quality, bone strength, and in vitro/in vivo solubility in laying hens: a meta-analysis approach', *Poultry Science*, 101: 101686.

- Hill, SR, KF Knowlton, E Kebreab, J France, and MD %J Journal of Dairy Science Hanigan. 2008. 'A model of phosphorus digestion and metabolism in the lactating dairy cow', 91: 2021-32.
- Hossein-Nia, B., S. Khorram, H. Rezazadeh, A. Safaiyan, R. Ghiasi, and A. Tarighat-Esfanjani. 2018. 'The Effects of Natural Clinoptilolite and Nano-Sized Clinoptilolite Supplementation on Lipid Profile, Food Intakes and Body Weight in Rats with Streptozotocin-Induced Diabetes', *Adv Pharm Bull*, 8: 211-16.
- Hotúa-López, Laura Cristina, Mario Fernando Cerón-Muñoz, María de Lourdes Zaragoza-Martínez, and Joaquín Angulo-Arizala. 2021. 'Backyard poultry: contributions and opportunities for the peasant family', *Agronomía Mesoamericana*, 32: 1019-33.
- INEGI. 2024. 'Censo Nacional Agropecuario 2022', Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/programas/ca/2022/>.
- Jialing, Qiu, Lu Xintao, Ma Lianxiang, Hou Chuanchuan, He Junna, Liu Bing, Yu Dongyou, Lin Gang, and Xu Jiming. 2020. 'Low-dose of organic trace minerals reduced fecal mineral excretion without compromising performance of laying hens', *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 33: 588-96.
- Juzaitis-Boelter, CP, AP Benson, MU Ahammad, MK Jones, J Ferrel, and AJ %J Poultry Science Davis. 2021. 'Dietary inclusion of AZOMITE improves feed efficiency in broilers and egg production in laying and broiler breeder hens', 100: 101144.
- Kleyn, FJ, and M %J World's Poultry Science Journal Ciacciariello. 2021. 'Future demands of the poultry industry: will we meet our commitments sustainably in developed and developing economies?', 77: 267-78.
- Lail, Najam-ul, Adeel Sattar, Muhammad Ovais Omer, Mian Abdul Hafeez, Abdur Rauf Khalid, Sammina Mahmood, Muhammad Abubakr Shabbir, Waqas Ahmed, Muhammad Tahir Aleem, Abdulaziz Alouffi, and Mashal M. Almutairi. 2023. 'Biosynthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using Nigella sativa against coccidiosis in commercial poultry', *Scientific Reports*, 13: 1-13.
- Larina, Yulia, Vladimir Ezhkov, Ramil Fayzrakhmanov, and Asia Ezhkova. 2020. "Meat productivity and quality of goose meat when using nanostructural zeolite in feeding." In *B/O Web of Conferences*, 00028. EDP Sciences.
- Li, Guoming, Xue Hui, Yang Zhao, Wei Zhai, Joseph L Purswell, Zach Porter, Sabin Poudel, Linan Jia, Bo Zhang, and Gary D %J Plos one Chesser. 2022. 'Effects of ground robot manipulation on hen floor egg reduction, production performance, stress response, bone quality, and behavior', 17: e0267568.
- Li, Guoming, Yan Xu, Yang Zhao, Qian Du, and Yanbo %J Sensors Huang. 2020. 'Evaluating convolutional neural networks for cage-free floor egg detection', 20: 332.
- Li, Yi Chen, Yung Hao Chen, Shen Chang Chang, Min Jung Lin, Li Jen Lin, and Tzu Tai Lee. 2024. 'Effect of specific sound frequency on production performance, egg quality and physiological characteristics of laying hens', *Italian Journal of Animal Science*, 23: 1091-103.

- Liao, Xujie, Jiakun Yan, Jionghao Chen, Zhenyu Huang, Tianshuai Xiao, Changqing Li, Chong Pan, Xin Yang, Yanli Liu, Thomas D. Crenshaw, Xiaojun Yang, and Zhouzheng Ren. 2022. 'A simple daily dynamic feeding regimen for reducing phosphorus consumption and excretion in laying hens', *Animal Nutrition*, 11: 132-41.
- Lin, Xue, Ting Yang, Hua Li, Yinli Ji, Yurong Zhao, and Jianhua %J Biological trace element research He. 2020. 'Interactions between different selenium compounds and essential trace elements involved in the antioxidant system of laying hens', 193: 252-60.
- Lu, J, DC Jiang, M Ma, Q Wang, J Guo, XG Wang, TC Dou, YF Li, YP Hu, and KH %J animal Wang. 2024. 'Effects of manganese glycine on eggshell quality, eggshell ultrastructure, and elemental deposition in aged laying hens', 18: 101126.
- Mohd Yusof, Hidayat, Nor'Aini Abdul Rahman, Rosfarizan Mohamad, Uswatun Hasanah Zaidan, and Anjas Asmara Samsudin. 2021. 'Antibacterial Potential of Biosynthesized Zinc Oxide Nanoparticles against Poultry-Associated Foodborne Pathogens: An In Vitro Study', *Animals* (2076-2615), 11: 2093.
- Mondal, Mousumi, Benukar Biswas, Sourav Garai, Sukamal Sarkar, Hirak Banerjee, Koushik Brahmachari, Prasanta Kumar Bandyopadhyay, Sagar Maitra, Marian Breštic, and Milan %J Agronomy Skalicky. 2021. 'Zeolites enhance soil health, crop productivity and environmental safety', 11: 448.
- Nasri, H., H. van den Brand, T. Najjar, and M. Bouzouaia. 2020. 'Egg storage and breeder age impact on egg quality and embryo development', *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*, 104: 257-68.
- Natividade, Ana Cristina Silva da, Daniela Aguiar Penha Brito, Wanderson Freitas Rodrigues da Costa, Aline Sthefany Barros de Souza, José Matheus Santos Oliveira, Gleyciane Pereira Salgado, Nayara Pereira Lima, and Karolynne Sousa Gomes. 2022. 'Quality of white, red, free-range and enriched eggs sold in São Luís, MA', *Research, Society and Development*, 11: e338111335293.
- Nie, Wei, Bo Wang, Jing Gao, Yuming Guo, and Zhong Wang. 2018. 'Effects of dietary phosphorous supplementation on laying performance, egg quality, bone health and immune responses of laying hens challenged with *Escherichia coli* lipopolysaccharide', *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 9: 53.
- Niknia, Aidin Dokht, Reza Vakili, Abdol-Mansour %J Veterinary Medicine Tahmasbi, and Science. 2022. 'Zinc supplementation improves antioxidant status, and organic zinc is more efficient than inorganic zinc in improving the bone strength of aged laying hens', 8: 2040-49.
- Ogbuewu, I. P., M. Mabelebele, and C. A. Mbajorgu. 2024. 'META-ANALYSIS OF PROBIOTIC (LACTOBACILLUS) ON PERFORMANCE OUTCOMES AND BLOOD CHOLESTEROL OF LAYING HENS', *Applied Ecology & Environmental Research*, 22: 3389-402.
- Ogbuewu, Ifeanyichukwu Princewill, and Christian Anayo Mbajorgu. 2022. 'Meta-analysis of Zinc Supplementation on Laying Performance, Egg

- Quality Characteristics, and Blood Zinc Concentrations in Laying Hens', *Biological Trace Element Research*, 200: 5188-204.
- Ojeda, Gonzalo Adrian, Adriana Maria Arias Gorman, and Sonia Cecilia Sgrosso. 2019. 'La nanotecnología y su aplicación en alimentos', *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 12: 1e-14e.
- Oketch, Elijah, Samiru Wickramasuriya, Sungtaek Oh, Choi Seung, and Jung Min Heo. 2023. 'Physiology of lipid digestion and absorption in poultry: An updated review on the supplementation of exogenous emulsifiers in broiler diets', *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 107.
- Ortiz Arana, Giovany, Martin Talavera-Rojas, Valente Velazquez, and Jorge Dibarrat. 2021. 'Aplicaciones de las nanopartículas metálicas en las ciencias veterinarias', *Revista MVZ Córdoba*, 26: e2123.
- Osorio, José Henry, and Jancy Darly Flórez. 2011. 'DIFERENCIAS BIOQUÍMICAS Y FISIOLÓGICAS EN EL METABOLISMO DE LIPOPROTEÍNAS DE AVES COMERCIALES %J Biosalud', 10: 88-98.
- Özentürk, Uğur, Zhengqi Chen, Lorenzo Jamone, Elisabetta %J Computers Versace, and Electronics in Agriculture. 2024. 'Robotics for poultry farming: Challenges and opportunities', 226: 109411.
- Palanisamy, V., S. Pc, L. Pineda, and Y. Han. 2023. 'Effect of supplementing hydroxy trace minerals (Cu, Zn, and Mn) on egg quality and performance of laying hens under tropical conditions', *Anim Biosci*, 36: 1709-17.
- Petek, Metin, and Tuğba Kahraman. 2025. 'Comparative Evaluation of Table Egg Quality of Local and Pure Breed Laying Hens in Response to Storage Period Length', *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*, 31: 49-57.
- Peters, Ruud, Puck Brandhoff, Stefan Weigel, Hans Marvin, Hans Bouwmeester, Karin Aschberger, Hubert Rauscher, Valeria Amenta, Maria Arena, Filipa Botelho Moniz, Stefania Gottardo, and Agnieszka Mech. 2014. 'Inventory of Nanotechnology applications in the agricultural, feed and food sector', *EFSA Supporting Publications*, 11: 621E.
- Philippe, François-Xavier, Yosra Mahmoudi, Dany Cinq-Mars, M Lefrançois, Nassim Moula, J Palacios, Frederic Pelletier, and Stéphane %J Livestock Science Godbout. 2020. 'Comparison of egg production, quality and composition in three production systems for laying hens', 232: 103917.
- Puglisi, Michael J., and Maria Luz Fernandez. 2022. 'The Health Benefits of Egg Protein', 14: 2904.
- Rajabi, Maryam, and Mehran Torki. 2021. 'Effect of dietary supplemental vitamin C and zinc sulfate on productive performance, egg quality traits and blood parameters of laying hens reared under cold stress condition', *Journal of Applied Animal Research*, 49: 309-17.
- Ricke, Steven C., Dana K. Dittoe, Jessica A. Brown, and Dale R. Thompson. 2022. 'Practical opportunities for microbiome analyses and bioinformatics in poultry processing', *Poultry Science*, 101: 101787.
- Rivera-Gómez, Saúl, Roberto Carlos García-Sánchez, Roberto García-Mata, and Ignacio Caamal-Cauich. 2023. 'Análisis del mercado de huevo en

- México, 1975-2020', *Estudios Sociales Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 33.
- Rizzi, L., M. Simioli, P. Roncada, and A. Zaghini. 2003. 'Aflatoxin B1 and Clinoptilolite in Feed for Laying Hens: Effects on Egg Quality, Mycotoxin Residues in Livers, and Hepatic Mixed-Function Oxygenase Activities', *Journal of Food Protection*, 66: 860-65.
- Rodehutscord, Markus, Vera Sommerfeld, C. Roselina Angel, and Douglas R. Korver. 2023. 'Minimum phosphorus requirements for laying hen feed formulations', *Poultry Science*, 102: 102344.
- Rodríguez, Bárbara, M. Valera, and M. Castro. 2024a. 'EFFECT OF MICRONIZED ZEOLITE AS AN ADDITIVE ON PRODUCTION AND EGG QUALITY IN LAYING HENS', *Cuban Journal of Agricultural Science*, 58: 1-5.
- _____. 2024b. 'Effect of micronized zeolite as an additive on production and egg quality in laying hens %J Cuban Journal of Agricultural Science', 58.
- Rokade, Jaydip, Abhijeet Champati, Nagesh Sonale, Prasad Wadajkar, Monika Madheshwaran, Darshana Bhaisare, and Ashok Kumar Tiwari. 2024. 'The cage-free egg sector: perspectives of Indian poultry producers', *Frontiers in Veterinary Science*: 01-10.
- Romero-López, Ana Rosa. 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: 217-37.
- Romo, Samantha, Daniela López, Nestor Ledesma, Carlos Gutierrez, Antonio Quintana, and Lucia Rangel. 2022. 'Comparación en la calidad de huevos obtenidos en un sistema de producción en corrales al aire libre y los producidos en un sistema de jaula', *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13: 32-42.
- SADER. 2022. "Avicultura, patrimonio invaluable del país al aportar proteínas sanas y accesibles a la población: Agricultura." In, edited by Agricultura. Ciudad de México: SECRETARIA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL.
- Sakamoto, Karina Suemi, Natália Cristina Benincasa, Iran José Oliveira da Silva, Cristian Marcelo Villegas %J Journal of Animal Behaviour Lobos, and Biometeorology. 2020. 'The challenges of animal welfare in modern Brazilian poultry farming', 8: 131-35.
- Saleh, Ahmed A, Mohammed S Eltantawy, Esraa M Gawish, Hassan H Younis, Khairy A Amber, Abd El-Moneim E Abd El-Moneim, and Tarek A %J Biological trace element research Ebeid. 2020. 'Impact of dietary organic mineral supplementation on reproductive performance, egg quality characteristics, lipid oxidation, ovarian follicular development, and immune response in laying hens under high ambient temperature', 195: 506-14.
- Saunders-Blades, JL, JL MacIsaac, DR Korver, and DM %J Poultry science Anderson. 2009. 'The effect of calcium source and particle size on the production performance and bone quality of laying hens', 88: 338-53.
- Shabbir, Muhammad Abu Bakr, Muqaddas Shamim, Adnan Hassan Tahir, Adeel Sattar, Wu Qin, Waqas Ahmad, Farid Ahmed Khan, and Muhammad

- Adnan Ashraf. 2024. 'Potential of ZnO nanoparticles for multi-drug resistant Escherichia coli having CRISPR-Cas from poultry market in Lahore', *BMC Microbiology*, 24: 1-10.
- Shao, Dan, Liangji Liu, and Haibing Tong. 2025. 'Responses of laying performance, eggshell quality, calcium, and phosphorus metabolism to feeding patterns and dietary available phosphorus levels in aged laying hens', *Poultry Science*, 104: 104469.
- Sinclair-Black, Micaela, R. Alejandra Garcia, and Laura E. Ellestad. 2023. 'Physiological regulation of calcium and phosphorus utilization in laying hens', *Frontiers in Physiology*, Volume 14 - 2023.
- Torrejano, Liseth, and Geraldine Molina-Jaimes. 2023. *EVALUACIÓN DE BIENESTAR ANIMAL EN AVES DE POSTURA CON PARÁMETROS DE LA RESOLUCIÓN 253 DEL 2020 DEL 2020 MADR*.
- Tůmová, E., L. Uhliřová, R. Tůma, D. Chodová, and L. Máchal. 2017. 'Age related changes in laying pattern and egg weight of different laying hen genotypes', *Anim Reprod Sci*, 183: 21-26.
- Ulbad, Tougan P., Domingo I. Anaïs, Pomalegni B. Charles, Pitala Wéré, Osseyi G. Elolo, and Théwiss André. 2021. 'Physical traits, technological quality and proximate composition of eggs of Bonaparte guinea fowl of Benin reared with or without outdoor access', *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 33.
- van Eck, L. M., H. Enting, I. J. Carvalhido, H. Chen, and R. P. Kwakkel. 2023. 'Lipid metabolism and body composition in long-term producing hens', *World's Poultry Science Journal*, 79: 243-64.
- WingChing-Jones, Rodolfo, Rebeca zamora sanabria, and Sianny Chavarria. 2023. 'Calidad de huevo y comportamiento productivo de gallinas ponedoras ISA Brown con acceso a pastoreo', *Agronomía Mesoamericana*: 51511.
- Wright, Dominic, Rie Henriksen, Birte L Nielsen, Ian JH Duncan, Rafael Freire, Inma Estevez, Dana LM Campbell, Marisa A Erasmus, Marian Dawkins, and Elizabeth Rowe. 2020. *Understanding the behaviour and improving the welfare of chickens* (Burleigh Dodds Science Publishing).
- Xiao, N., Y. Zhao, Y. Yao, N. Wu, M. Xu, H. Du, and Y. Tu. 2020. 'Biological Activities of Egg Yolk Lipids: A Review', *J Agric Food Chem*, 68: 1948-57.
- Yang, Kaili, Shengjun Hu, Rui Mu, Yiqing Qing, Liang Xie, Liyuan Zhou, Kolapo M. Ajuwon, and Rejun Fang. 2021. 'Effects of Different Patterns and Sources of Trace Elements on Laying Performance, Tissue Mineral Deposition, and Fecal Excretion in Laying Hens', 11: 1164.
- Yu, Qifang, Liu Hu, Kaili Yang, Xiaopeng Tang, Sijia Chen, Kolapo Ajuwon, A. Degen, and Rejun Fang. 2020. 'Effect of Level and Source of Supplementary Dietary Zinc on Egg production, Quality, and Zinc Content and on Serum Antioxidant Parameters and Zinc Concentration in Laying Hens', *Poultry Science*, 99.
- Zhang, Jibin, Ronald M. Goto, Androniki Psifidi, Mark P. Stevens, Robert L. Taylor Jr, and Marcia M. Miller. 2022. 'Research Note: MHCY haplotype impacts *Campylobacter jejuni* colonization in a backcross [(Line 61 x Line N) x Line N] population', *Poultry Science*, 101: 101654.

Zhang, Leizheng, Jiangang Gong, Lin Xi, Bowen Yang, Yanshuang Hao, Haihua Zhang, Zhihua Feng, and Qian Li. 2024. 'Positive effects of rutin on egg quality, lipid peroxidation and metabolism in post-peak laying hens', *Frontiers in Veterinary Science*, Volume 11 - 2024.