

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



Evaluación del efecto de la zeolita y nanopartículas de óxido de zinc sobre los niveles de fósforo y calcio en sangre de aves de postura

Por:

Ana Carmela Hernández Santiago

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Junio 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Evaluación del efecto de la zeolita y nanopartículas de óxido de zinc sobre los niveles de fósforo y calcio en sangre de aves de postura

Por:

Ana Carmela Hernández Santiago

TESIS

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

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por:

150
Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Presidente

Jessica
Dra. Jessica María Flores Salas
Vocal

Oscar
Dr. Oscar Ángel García
Vocal

Leticia
Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán
Vocal suplente

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



Torreón, Coahuila, México
Junio 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

**Evaluación del efecto de la zeolita y nanopartículas de óxido de zinc sobre
los niveles de fósforo y calcio en sangre de aves de postura**

Por:

Ana Carmela Hernández Santiago

TESIS

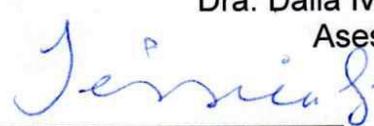
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Asesor principal



Dra. Jessica María Flores Salas
Coasesor



Dr. Oscar Angel García
Coasesor



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



Torreón, Coahuila, México
Junio 2025

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios, por guiarme en cada paso de este viaje académico y darme la fuerza para perseverar.

Gracias infinitas a mis padres Epifanía Santiago López y Félix Hernández Mecinas por su apoyo y amor incondicional para poder cumplir mis objetivos académicos, este logro es un reflejo del esfuerzo que han invertido para brindarme una educación.

A mis hermanos Erick, Nayeli, Saul y Abner por brindarme su apoyo, por compartir alegrías y tropiezos de los cuales salimos triunfadores.

A mis amigos que estuvieron conmigo en los momentos de estrés y de alegría durante este largo camino, gracias por ser mi equipo de apoyo, de aliento y lo más importante, la familia que yo elegí.

A mi asesora de tesis Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno, cuya experiencia y apoyo fueron fundamentales para la realización de este trabajo.

A Dra. Julieta Ziomora Ordoñez Morales por darme la oportunidad de unirme a su equipo de investigación, por brindarme apoyo condicional en el proceso de redacción de mi tesis y durante el proyecto experimental.

A la MVZ. Adriana Monserrat López Morales por haberme brindado su apoyo incondicional durante el proyecto de investigación y orientación en cada momento.

Gracias a mi Alma Mater por brindarme la educación y las oportunidades que han moldeado mi futuro. Mi tiempo aquí ha sido un viaje de crecimiento y aprendizaje que siempre valorare.

DEDICATORIAS

A mis padres

Por su amor incondicional, por creer en mi desde el primer día, por sus sacrificios y su apoyo constante que han sido la clave de mi éxito. Este logro académico es un testimonio de su inmenso amor, dedicación y el esfuerzo que han invertido para brindarme educación, este logro también es suyo.

INDICE

Cuadro de símbolos y abreviaturas.	iv
Índice de figuras.	v
Índice de tablas.	v
RESUMEN.....	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Hipótesis	2
1.2 Objetivo.....	2
1.3 Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Aditivos	3
2.2. Zeolita	3
2.3. Minerales	4
2.3.1 Calcio	6
2.3.2 Fósforo	7
2.3.3 Zinc	9
2.4. Nanotecnología	11
2.4.1 Nanopartículas.....	11
2.4.2 Nanopartículas de óxido de zinc	12
2.5 Formación del huevo.....	12
2.6 Relación de P y Ca en gallinas de postura	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1. Ubicación geográfica del experimento.....	19
3.3. Toma de muestra sanguínea	19
3.4 Análisis estadísticos	20
IV. RESULTADOS.....	23
V. DISCUSIÓN	26
VI. CONCLUSIÓN.....	28
VII. LITERATURA CITADA	29

Cuadro de símbolos y abreviaturas.

Símbolo/Abreviatura	Español
NT	Nanotecnología
ZN	Zinc
ZnO	Oxido de zinc
NP	Nanoparticulas
ZnONP	Nanoparticulas de oxido de zinc
NM	Nanometro
PPM	Partes por millón
P	Fósforo
Ca	Calcio
iCa	Calcio ionizado
PTH	Hormona Paratiroidea
NPP	Fósforo no fitato
ML	Mililitros
ZnSO	Sulfato de zinc

Índice de figuras.

Figura 1 Esquema de la formación del huevo en la gallina (Gallego et al., 2002).	13
Figura 2 Centrifugador del laboratorio de bromatología UAAAN-UL.....	21
Figura 3 Kit para analizar Calcio empleado para la química sanguínea	21
Figura 4 Kit para analizar Fósforo empleado para la química sanguínea	21
Figura 5 Analizador de química sanguínea HLab 100 del laboratorio de bromatología UAAAN-UL	22
Figura 6 Comportamiento de los niveles de calcio en sangre de gallinas, con inclusión en la dieta de 90 mg de nanopartículas de óxido de zinc más zeolita en un 4 %, evaluadas de la semana 20 a la semana 40 de producción.	23
Figura 7 Comportamiento de los niveles de fósforo en sangre de gallinas con inclusión en la dieta de 90 mg de nanopartículas de óxido de zinc más zeolita en un 4 %, evaluadas de la semana 20 a la semana 40 de producción.	24
Figura 8 Relación de calcio y fósforo observadas en sangre de gallinas con inclusión en la dieta de 90 mg de nanopartículas de óxido de zinc más zeolita en un 4 % evaluadas de la semana 20 a la semana 40 de producción.	25

Índice de tablas.

Tabla 1 Niveles de Ca y P en sangre, en gallinas alimentadas con una inclusión en la dieta de 90 mg de nanopartículas de óxido de zinc más zeolita en un 4 % evaluadas de la semana 20 a la semana 40 de producción.	25
--	----

RESUMEN

El calcio (Ca) y el fósforo (P) son minerales esenciales en la dieta de las gallinas ponedoras porque desempeñan funciones importantes como la formación de la cáscara de huevo, la salud ósea y una óptima producción. El objetivo de este trabajo de investigación es evaluar la inclusión de la zeolita y nanopartículas de óxido de zinc en la dieta de gallinas de postura en un sistema libre de jaula, sobre los niveles de Ca y P en sangre. El trabajo experimental se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-UL, en la Unidad Académica de Producción Avícola, se utilizaron un total de 300 gallinas de la línea Rhode Island divididas en 3 grupos con 4 repeticiones por tratamiento n=100. El primer grupo fue con una dieta de inclusión de 4 % de zeolita (**GZ**), segundo grupo fue con una dieta de inclusión de 4 % de zeolita + 90 mg de nanopartículas de óxido de zinc con un tamaño de partícula de 50 nanómetros (**G90**), tercer grupo experimental fue con 120 g de alimento sin inclusión a zeolita y sin partículas de óxido de zinc (**GC**), las variables evaluadas fueron los niveles de Ca y P, la evaluación corresponde 20 semanas, iniciando en la semana 20 de producción. Para el análisis de la química sanguínea se tomaron 2 aves al azar por cada repetición, la sangre se extrajo de la vena braquial del ala extrayendo 2 ml/ave, una vez obtenida la sangre lo transferíamos a un tubo sin aditivo y lo transportábamos de inmediato al laboratorio de bromatología de la UAAAN-UL. En los resultados, el estudio demostró que los grupos tratados con inclusión de zeolita al 4 % y nanopartículas de óxido de zinc a 90 mg/kg añadidos en la dieta de aves de postura libre de jaula no mostraron diferencias significativas en los niveles plasmáticos de Ca y P respecto al GC ($p>0.05$). Sin embargo, se recomienda seguir realizando investigaciones con diferentes porcentajes de zeolita y nanopartículas de óxido de zinc con una muestra de bioquímica sanguínea utilizando las mismas aves para poder obtener un resultado más exacto.

Palabras clave: Calcio, Fosforo, Zeólita, Zinc, Sangre

I. INTRODUCCIÓN

La avicultura es el sector de la ganadería que se dedica a la explotación y reproducción de las aves domésticas con propósitos económicos, científicos o recreativos. La industria avícola representa la mayor tasa de crecimiento dentro de las actividades agrícolas, pecuarias y pesqueras, constituye un sector fundamental de la producción de alimentos y un importante elemento dentro de la dieta de una gran parte de la población del país (CEDRSSA, 2019).

La agricultura ha evolucionado de generar más cultivos alimentarios a generar cultivos alimenticios ricos en nutrientes en cantidades adecuadas (Younas *et al.*, 2023). En la industria avícola, la tendencia predominante es ofrecer un alimento más seguro, con el fin de optimizar los indicadores de productividad y fisiológicos (Reda *et al.*, 2020). Por lo tanto, la nutrición tiene un rol crucial en el mantenimiento de la salud, producción y crecimiento corporal.

Los nutraceuticos son los nutrientes o componentes de la alimentación animal que poseen características nutricionales y farmacéuticas para prevenir varias enfermedades y poseen un potencial inmunomodulador, aportando salud, beneficios y eficiencia productiva. La efectividad del uso de microelementos es un tema crucial en la nutrición avícola contemporánea. Adicionalmente, el conocimiento avanzado de la importancia de los microelementos en los procesos reproductivos e inmunológicos y el contenido variable de minerales en los ingredientes de los piensos han llevado a su inclusión en las dietas de las aves de corral en la práctica comercial (Alagawany *et al.*, 2021).

La zeolita se utiliza ampliamente en la industria avícola como aditivo tanto para piensos como para la cama. Ayuda al organismo en la absorción y elimina los productos de desecho intestinales perjudiciales y las toxinas, lo que a su vez ayuda a estabilizar el pH del jugo gástrico, además de potenciar la absorción de minerales como el calcio, el fósforo y los oligoelementos. Además la superficie funcional de la zeolita induce la actividad de las enzimas gastrointestinales y se vincula a los compuestos tóxicos en el intestino y torrente sanguíneo debido a sus capacidades moleculares de filtración y absorción (Elsherbeni *et al.*, 2024).

1.1 Hipótesis

La inclusión de zeolita y nanopartículas de óxido de zinc en la dieta de aves de postura, en un sistema libre de jaula mejorará los niveles de fósforo y calcio en la sangre.

1.2 Objetivo

Evaluar el efecto de la inclusión de zeolita y nanopartículas de óxido de zinc sobre los niveles de fósforo y calcio en sangre, de aves de postura en un sistema libre de jaula.

1.3 Objetivos específicos

- Determinar los niveles plasmáticos de Ca y P en cada uno de los grupos.
- Comparar los valores de Ca y P en cada uno de los grupos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Aditivos

Se define como aditivo alimentario a cualquier sustancia que en términos generales no se consume normalmente como alimento, ni se emplea como componente básico en alimentos, tenga o no valor nutricional. Su adición es intencionada al alimento con propósitos tecnológicos (incluidos los organolépticos) en sus etapas de producción, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenaje, que resulte (directa o indirectamente) por sí o sus subproductos, en un componente del alimento o un elemento que afecte a sus características. Esta definición no contempla “contaminantes” o sustancias añadidas al alimento con el fin de preservar o mejorar las propiedades nutricionales (Durán, 2001).

Las funciones de los aditivos son variadas y de acuerdo con su función pueden clasificarse en espesantes, gelificantes, estabilizadores, colorantes, edulcorantes, aromas y sabores, antioxidantes y conservadores, entre otros de menor relevancia. Existen listas de aditivos autorizados en casi todos los países (Durán, 2001).

2.2. Zeolita

Las zeolitas se descubrieron por primera vez en 1756 por Barón Axel Fedrick Constedt, quien las denomina a partir de los términos griegos *zein* (hervir) y *lithos* (piedra), lo que significa “piedra hirviente”. Este nombre se refiere a la existencia de moléculas de agua en las cavidades de zeolitas naturales, lo que hace referencia a su singular característica de burbujear cuando se calientan (García, 2010).

La zeolita es una de las formas naturales de minerales volcánicos que surgió tras la erupción de lava hace millones de años (Alsalmay & Mohammed, 2022). Posee una estructura física particular que le otorga características únicas, por esta razón tiene la capacidad de adsorber gases y toxinas, micotoxinas, amoníaco, agua y eliminar metales pesados y elementos radiactivos que pueden ser perjudiciales para los animales (Amad, 2020).

Los efectos benéficos de la zeolita también pueden atribuirse al contenido de silicio, aluminio o sodio, que pueden influir en el metabolismo del calcio, mejorando así la utilización del calcio y el fósforo (Toraih *et al.*, 2019). Se ha demostrado en varios estudios que la inclusión de zeolitas en las dietas mejora los resultados en peso y la conversión alimenticia en pollos de engorde y sus características físicas (Toraih *et al.*, 2019).

En la industria avícola la zeolita se ha enfocado en mejorar el rendimiento, promover un ambiente más saludable, y reducir contaminantes, además es utilizado como un aditivo alimenticio (Schneider *et al.*, 2017).

2.3. Minerales

Los minerales son imprescindibles para el desarrollo del sistema esquelético, para la salud general, como elementos de la actividad metabólica global y para preservar el balance ácido-base del organismo. El Ca y el P son los minerales más abundantes que predominan en el organismo y se categorizan como macrominerales. Estos incluyen además el sodio, potasio, cloruro, azufre y el magnesio (Ravindran, 2013).

Los macrominerales son componentes imprescindibles en la alimentación en niveles de 100 mg/kg. El Ca y el P son necesarios para la construcción y conservación de la estructura esquelética y para mantener una excelente calidad de la cáscara del huevo. En términos generales, entre el 60 y el 80 % del P total presente en los ingredientes de origen vegetal se encuentra en forma de fósforo-fitato (Ravindran, 2013).

Los minerales son la parte inorgánica de los alimentos o tejidos. A menudo se dividen en dos categorías, basadas en la cantidad que se requiere en la dieta. Los requerimientos de minerales principales, o macro, generalmente se indican como un porcentaje de la dieta, mientras que las necesidades de minerales menores o trazas se manifiesta en miligramos por kilogramo de dieta o en partes por millón (ppm) (NRC,1994).

Además, las necesidades de minerales fluctúan durante todo el ciclo de vida del animal y las estrategias de suplementación personalizadas son primordiales para obtener resultados óptimos en los sistemas modernos de producción animal (Byrne & Murphy, 2022). La absorción mayor de los oligoelementos tiene lugar en el intestino delgado, esencialmente en el duodeno, aunque la absorción puede suceder en cualquier parte del tracto gastrointestinal, en aves de corral, el proventrículo también es un sitio potencial para la absorción (Byrne & Murphy, 2022).

La mayoría de las fuentes minerales utilizadas en las dietas para gallinas ponedoras se derivan de compuestos inorgánicos como óxidos, sulfatos, carbonatos y fosfatos. Los minerales traza son esenciales en las dietas de las gallinas ponedoras porque

participan en los procesos bioquímicos necesarios para el crecimiento y desarrollo normales, incluida la formación de huesos y cascaras de huevo (Stefanello *et al.*, 2014).

2.3.1 Calcio

La regulación de la homeostasis del Ca es necesaria para mantener el flujo diario de este mineral en las gallinas ponedoras. La mayor demanda ocurre cuando la cáscara del huevo se está calcificando activamente durante el ayuno nocturno y las gallinas requieren de un pH intestinal reducido para solubilizar la piedra caliza gruesa retenida en la molleja (Sinclair-Black *et al.*, 2023).

Durante la calcificación de la cáscara del huevo, la disminución del calcio ionizado (iCa) circulante, debido a la alta demanda de la glándula de la cáscara es detectada por el receptor sensible al calcio y conduce a la secreción (Gutiérrez Arenas *et al.*, 2013) de hormona paratiroidea (PTH) de la glandula paratiroides (Sinclair-Black *et al.*, 2023).

La mayoría de las líneas comerciales de gallinas ponedoras exhiben una tasa de consumo de alimento de 100 g/gallina/día. Su alimentación se complementa con un 4 % de Ca total, es decir, 4 g de Ca al día. De los 4 g de Ca consumidos por una gallina 0.5 g se pierden en las heces, aproximadamente 0.4 g se excretan en la orina y 0.1 g se almacenarán como matriz ósea (Carrillo *et al.*, 2020).

Eso deja 3 g de Ca disponibles para la formación de huevos: 2 g se depositan como cáscara de huevo y el resto se incorpora a la yema y la albúmina (Carrillo *et al.*, 2020). El huevo es llevado a la región de formación de la cáscara del huevo en los

oviductos, durante las últimas 15 h de formación de la cáscara del huevo, el Ca se incorpora a 100-150 mg/h, además en sangre oscila entre 20 y 30 mg/dL de Ca. Entre el 30 y el 40 % proviene del hueso (Carrillo *et al.*, 2020).

Otras funciones del Ca incluyen la coagulación sanguínea y como segundo mensajero en las comunicaciones intracelulares. Una abundancia de Ca en la alimentación obstaculiza con las disponibilidad de otros minerales, como fósforo, magnesio, manganeso y zinc (NRC, 1994).

La homeostasis de Ca se obtiene equilibrando la eficiencia de la absorción intestinal de Ca, la secreción renal de Ca y el metabolismo mineral óseo con los requerimientos de Ca del ave. Las principales hormonas que inspeccionan este equilibrio son la PTH, la calcitonina y el dihidroxicolecalciferol. En aves ponedoras, el aumento de la demanda de Ca durante el ciclo de puesta se compensa mediante un aumento adecuado de la absorción intestinal del Ca y una disminución de la excreción renal del Ca (Elaroussi *et al.*, 1994).

2.3.2 Fósforo

El manejo de minerales en la dieta, en particular del P, es crucial para el rendimiento y la salud animal en gallinas ponedoras. El P esta biológicamente disponible para las gallinas ponedoras en forma de P no fitato, mientras que alrededor del 60 % del P vegetal en forma de fitato no está disponible para la absorción enteral directa debido a la actividad insuficiente de la fitasa intestinal, por lo tanto, el uso de fuentes de P mineral y fitasas de origen microbiano es muy común para compensar la baja tasa de P digestible obtenida de cereales y otros piensos de origen animal (Qasir *et al.*, 2025).

Los niveles óptimos biológicos disponibles para el P son de 0.18 % para la masa y conversión de huevo (Gutiérrez Arenas *et al.*, 2013).

Una de las razones de las diferentes opiniones sobre los requisitos de P es la elección de los rasgos de respuesta. El rendimiento de la puesta de huevos, la relación huevo/alimento (g/g) y la calidad de la cáscara del huevo pueden variar en respuesta a un abastecimiento insuficiente de P en unas cuantas semanas, sin embargo, un leve subsuministro de P puede no impactar los datos de rendimiento durante un periodo de varios meses, ya que el P se moviliza desde el esqueleto (Rodehutschord *et al.*, 2023).

Aproximadamente el 80 % del P se almacena en el esqueleto en forma de hidroxiapatita. Se libera del hueso y se reabsorbe durante la calcificación de la cáscara del huevo, el exceso de P debe ser excretado para negar los efectos tóxicos. El mantenimiento de P circulante se produce en el riñón, el intestino delgado y el hueso, siendo principalmente regulado con el factor de crecimiento de fibroblastos, sin embargo, la PTH también influye a través de sus acciones sobre la homeostasis del calcio (Sinclair-Black *et al.*, 2023).

Las perspectivas sobre los requerimientos de P también difieren debido a los diferentes medios de caracterización del P: P total, P no fitato (NPP), P disponible (que a menudo se usa erróneamente como equivalente de NPP), P digerible y P conservable, entre otros. Estos diferentes valores de requerimiento de P se basan en diferentes técnicas experimentales, analíticas, cuantitativas y cualitativas, que en conjunto conducen a diferentes conclusiones sobre la proporción de P en la dieta que puede ser aprovechada por el ave (Rodehutschord *et al.*, 2023).

2.3.3 Zinc

El zinc (Zn) un oligoelemento vital, es crucial para numerosas actividades biológicas, que abarcan el metabolismo y la inmunidad, la producción de hormonas y la actividad antioxidante (El-Abbasy *et al.*, 2025).

El Zn es un metal importante con diversas funciones en mamíferos y aves, como en el metabolismo de nutrientes, como componente de numerosas metaloenzimas, regulación del sistema inmunológico, control del apetito, eliminación de radicales libres y en factores de transcripción. Además, las enzimas de Zn están involucradas en la síntesis y/o descomposición de carbohidratos, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos, y abarcan todas las clases de enzimas (Sawy *et al.*, 2021).

También es necesario para el desarrollo óseo, el crecimiento, la estructura enzimática y la formación de la cáscara de huevo. La adición de Zn podría reducir el estrés en los animales (Fawaz *et al.*, 2019).

Históricamente, el Zn se suministra en forma de sales inorgánicas, como el sulfato de zinc (ZnSO) y óxido de zinc (ZnO), en la alimentación de aves de corral para satisfacer sus necesidades. Los enlaces iónicos en las sales inorgánicas son muy débiles, lo que permite que el ion metálico se disocie completamente de la molécula de sulfato u óxido cuando entra en contacto con el agua (Nguyen *et al.*, 2021).

Los piensos de origen animal y muchas plantas contienen Zn, pero también suelen contener cantidades sustanciales de fitato. El Zn se puede encontrar en los alimentos para aves de corral, ya sea en forma de Zn de grado alimenticio inorgánico, cloruro de zinc, óxido de zinc o en formas queladas de ácidos orgánicos

y aminoácidos (Younas *et al.*, 2023). El Zn no se puede almacenar en el cuerpo de un animal; por lo tanto existe la necesidad de una suplementación diaria de Zn a través de la dieta (Ramiah *et al.*, 2019).

La anhidrasa carbónica (CA), es una enzima que contienen Zn y se considera una enzima vital en la deposición de carbonato de calcio durante la formación de la cáscara. Esta enzima cataliza la hidratación del dióxido de carbono (CO₂) metabólico a bicarbonato (HCO₃⁻) el precursor del carbonato de la cáscara del huevo. Además, el Zn puede incorporarse en la etapa de crecimiento durante la formación de cristales de calcita *in vitro* y por lo tanto puede afectar las morfologías cristalinas y de textura de la concha (Zhang *et al.*, 2017).

El Zn es un cofactor importante de la CA, que desempeña un rol esencial en la formación de la cáscara del huevo (Zhang *et al.*, 2017). La actividad de la CA y los efectos causados por los oligoelementos son importantes porque el número de componentes orgánicos y su concentración cambian en el líquido uterino a lo largo de las diferentes etapas de la deposición de la cáscara del huevo. Además, estos componentes orgánicos se secretan en momentos y lugares específicos en el oviducto y se incorporan en regiones sub estructurales específicas de la cáscara del huevo (Stefanello *et al.*, 2014).

Keilin and Mann (1939) han informado que la enzima CA de los glóbulos rojos contienen entre 0.31 y 0.34 % de Zn y que todo el Zn presente en los glóbulos rojos se encuentra en esta enzima (Hove *et al.*, 1940).

2.4. Nanotecnología

La nanotecnología (NT) ha estado presente en la civilización desde tiempos inmemoriales, sin embargo, se atribuye sus orígenes a los hallazgos de investigación producidos por el físico estadounidense Richard Phillips Feynman (Lira Saldívar *et al.*, 2018). Actualmente el desarrollo de la nanotecnología y sus productos relacionados progresan rápidamente en varias áreas científicas; de hecho, esta rama de la ciencia influye fundamentalmente en la vida humana, animal, ambiental e industrial. En la última década, se utiliza para mejorar la presencia de minerales traza en la alimentación animal (Sawy *et al.*, 2021). Los aditivos para piensos, como las nanopartículas de minerales traza, desempeñan un papel activo en el rendimiento productivo y reproductivo de la producción avícola (Fawaz *et al.*, 2019).

2.4.1 Nanopartículas

Las nanopartículas (NP) ofrecen excelentes propiedades, como una gran superficie, una mayor actividad catalítica y una potente capacidad de adsorción. Debido al pequeño tamaño de estas partículas, así como a su alta relación aérea superficial/volumen, se ha demostrado que mejoran la disponibilidad. Por lo tanto, las NP pueden tener el potencial de entregar de manera eficiente minerales traza a los animales, aumentando la biodisponibilidad de estos (Younas *et al.*, 2023).

Sin embargo, también es importante mencionar que existen consecuencias adversas durante la síntesis de NP, que se asocian con la toxicidad de los procedimientos físicos y químicos. Una alternativa ecoamigable son los procedimientos biológicos para la creación de NP utilizando microorganismos,

enzimas, hongos y extractos vegetales. El avance de estas técnicas respetuosas con el medio ambiente para la síntesis de NP se ha transformado en una relevante disciplina de la nanotecnología: “síntesis verde” (Gómez Garzón, 2018).

2.4.2 Nanopartículas de óxido de zinc

Las nanopartículas de óxido de zinc (ZnONPs), como alternativa a las fuentes convencionales de zinc, representan una buena alternativa en la nutrición del ganado y aves de corral. La distribución de los nano minerales en el organismo es mayor que la de los minerales inorgánicos y orgánicos debido a su alta biodisponibilidad que permite el paso de los nano minerales a través del intestino delgado (Ramiah *et al.*, 2019).

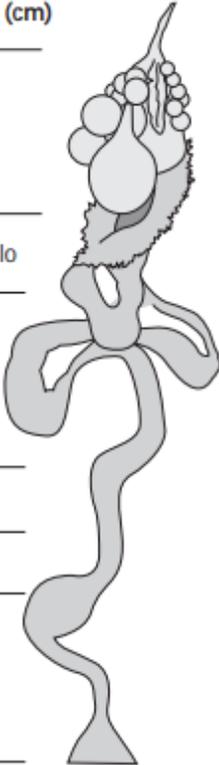
Las ZnONPs son minerales especialmente preparados que tienen un tamaño de partícula de 1 a 100 nm, tienen propiedades antimicrobianas, antioxidantes y pueden mejorar el rendimiento del pollo (Hussien *et al.*, 2021). Los granos comúnmente utilizados en las dietas basales de las gallinas ponedoras son ricos en contenido de fitato, que puede reducir la disponibilidad e inhibir la absorción del Zn (Fawaz *et al.*, 2019). La suplementación de ZnONPs en la dieta de ponedoras a una concentración de 20 a 60 mg/kg ha mejorado significativamente la digestibilidad de los nutrientes y ha mejorado la función hepática y renal (Hussien *et al.*, 2021).

2.5 Formación del huevo

Una vez que la gallina alcanza su madurez sexual, entre las 17 y 18 semanas de edad, inicia la producción de huevo o postura. El huevo se desarrolla progresivamente en un periodo de 25 a 28 horas, durante las cuales todos los elementos requeridos son sintetizados, en particular proteínas y lípidos específicos,

los cuales son transportados hasta el lugar de formación, a través de membranas biológicas (Torre Marina *et al.*, 2013).

El oviducto de las aves de corral suministra el entorno biológico para la formación del huevo y la fertilización del ovocito ovulado. Las gallinas nacen con un par de ovario y oviducto, sin embargo, el desarrollo del ovario y oviducto derecho cesan hasta gradualmente retroceder. El ovario y el oviducto izquierdo continúan su desarrollo hasta ser funcionales y son los que contribuyen a la formación del huevo, ver figura 1 (Marc & Tulcán, 2020).

Parte Anatómica (cm)			Funciones	Tiempo
Ovario	7		Folículos	Formación de gametos
			Depósito de yema	10 días
Oviducto	9	Infundíbulo	Fecundación M. Vitelanas	20m
	33	Magno	Depósito Albumen	3h30m
	10	Istmo	Membranas testáceas	1h15m
	10	Útero	Hidratación Albumen Formación cáscara	21h
	10	Vagina Cloaca	Ovoposición	1h30m

De 24 a 26 horas

Figura 1 Esquema de la formación del huevo en la gallina (Gallego et al., 2002).

Se puede caracterizar a la yema como una emulsión de agua (49 %), lipoproteínas, proteínas, minerales y tintes. La procedencia de los nutrientes es doble: síntesis endógena y aporte dietético. Todos los elementos que constituyen la yema son llevados al ovario a través de la sangre desde el hígado y la actividad de lipogénesis se incrementa hasta 10 veces al alcanzar a la madurez sexual (Gallego *et al.*, 2002).

La gallina tiene más de 4,000 óvulos de tamaño microscópicos en su ovario. Sólo un pequeño grupo de ellos logrará desarrollarse y formar una yema. Un óvulo rodeado por una membrana folicular altamente vascularizada genera una yema. El proceso de ovulación se produce cuando el folículo de mayor tamaño se libera del ovario, a través de la ruptura de la membrana folicular y se deposita en el infundíbulo, la primera estructura del oviducto (Instituto de Estudios del Huevo, 2009).

El oviducto se puede describir como un tubo de 60 a 70 cm de largo, que se divide en 5 secciones de acuerdo con las funciones que desempeñan: infundíbulo, magno, istmo, útero (glándula cascarogena) y cloaca (Torre Marina *et al.*, 2013).

El infundíbulo es el acceso al conducto ovárico, el sitio donde se aloja el vitelo después de la ovulación. Posee una forma de embudo y el tiempo de conservación en esta zona es aproximadamente de 15-30 minutos. Este es el lugar donde se originan las dos capas externas de la membrana vitelina, que constituyen 2/3 partes del total de la yema y desempeñan un rol crucial en el resguardo, impidiendo la infiltración de agua desde la clara. Adicionalmente, el infundíbulo es el sitio en el que puede tener lugar la posible fertilización del huevo (Gallego *et al.*, 2002).

El magno es la sección más prolongada del oviducto y contiene diversos tipos de células que producen las proteínas que se depositaran durante las tres horas y 30 minutos que dura el procedimiento. El magno, junto con el útero es responsable de las propiedades de las características fisicoquímicas de la clara y de la posición de la yema. Cuando el huevo emerge del magno, el albumen muestra una textura gelatinosa espesa debido a que sólo posee el 50 % del agua, el útero es donde finaliza el proceso de hidratación y formación del albumen; en otras palabras, su función es crucial para la calidad interna del huevo (Instituto de Estudios del Huevo, 2009).

Al llegar al istmo, entre 4 y 5 horas después de la ovulación, el albumen inicia a rodearse de las fibras proteicas que formaran las membranas testáceas internas y externas. Estas dos estructuras, en intimo contacto, están compuestas por una base de colágeno y tienen dos funciones principales, la de servir de molde o matriz orgánica para la formación del cascaron y la de actuar como filtro en la contención de microorganismos (Torre Marina *et al.*, 2013).

En el útero o glándula cascarogena ocurre una rotación del huevo que provoca la torsión de las fibras proteicas del albumen denso, formándose las chalazas, que mantienen la yema centrada. El huevo se mantiene en el útero durante 18-22 horas momento en el que ocurre la creación de la cáscara (Gallego *et al.*, 2002).

Una vez que se ha formado el huevo se llevara a cabo su expulsión mediante la cloaca. Una vez que el huevo ya desarrollado atraviesa por la vagina, se forma una delgada capa de glucoproteínas conocida como cutícula que cierra los poros y consigue disminuir la perdida de humedad y la contaminación por bacterias. El

huevo se libera con intensidad debido a las contracciones de los músculos lisos que envuelven la mucosa la puesta de huevos suele producirse entre las 7 y 11 de la mañana. El proceso de la ovulación puede comenzar entre 15 a 30 minutos tras la colocación del huevo previo (Torre Marina *et al.*, 2013).

2.6 Relación de P y Ca en gallinas de postura

El metabolismo de P y Ca están íntimamente vinculados, por lo que una carencia o exceso de uno puede obstaculizar con la utilización de otro. El P es el tercer componente más costoso en una ración y posee relevancia ecológica debido a su excreción por parte del ave (Gutiérrez Arenas *et al.*, 2013).

El P y el Ca son nutrientes esenciales para el desarrollo óseo y diversas vías bioquímicas en todos los organismos. En las dietas basadas en plantas, el P está presente principalmente en forma de ácido fítico (fosfato de hidrógeno) y sus sales (fitato). Las dietas para animales no rumiantes suelen complementarse con P inorgánico o fitasa exógena, o ambas, para cubrir requerimientos de P (Hofmann *et al.*, 2021).

En general, la concentración de P se encuentra estrechamente relacionada con la concentración de Ca, ya que su metabolismo y su tasa de absorción están interrelacionados. Para las gallinas ponedoras, la disponibilidad de ambos nutrientes es crucial durante el periodo de puesta, con un alto requerimiento de Ca en la dieta debido a la formación de cáscara de huevo y un menor requerimiento de P (Hofmann *et al.*, 2021).

En condiciones dietéticas habituales, el P fitico es escasamente usado por las aves de corral debido a la ausencia de fitasa endógena en sus enzimas digestivas. Por lo general, aproximadamente un tercio del P presente en los alimentos vegetales no es fitico y esta biológicamente accesible para las aves de corral, por lo que el requerimiento de P para las aves de corral se manifiesta como fósforo no fitico, en vez de fósforo total (Ravindran, 2013).

Durante la calcificación de la cáscara del huevo, la alta demanda del Ca disminuye el calcio ionizado circulante (iCa^{+2}). El nivel bajo de iCa^{+2} es detectado por el receptor sensible al calcio que estimula la secreción de PTH de la glándula paratiroides (Sinclair-Black *et al.*, 2023).

El Ca se encuentra en la sangre de la gallina, así como en otros animales, en tres formas; unido a proteínas plasmáticas, unido a compuestos inorgánicos y libremente disociado o ionizado. El componente fisiológico es el Ca ionizado, cuyo papel fundamental es en numerosos procesos bioquímicos, como la conducción nerviosa, la contracción muscular, la coagulación sanguínea y la regulación hormonal del metabolismo óseo. Es importante que el organismo mantenga una regulación del calcio ionizado sanguíneo, para que oscile en un rango muy estrecho, ya que esta fracción sanguínea afecta la función de los procesos biológicos mencionados (Parsons & Combs, 1981).

Los niveles de Ca y P en sangre de las gallinas ponedoras son indicadores esenciales de su salud y productividad. Aunque los valores específicos pueden variar según factores como la edad, la dieta y la fase de producción, se ha

establecido rangos de referencia para garantizar un desempeño óptimo (Gutiérrez Arenas *et al.*, 2013).

Las concentraciones normales de calcio en las aves pueden alcanzar valores muchos más altos que los tolerados en especies de mamíferos y pueden alcanzar concentraciones de 30 mg/dL. Estas variaciones entre especies están relacionados con las etapas reproductivas del ave, específicamente en la hembra, cuando el calcio es transportado al ovario, inducido por los estrógenos. Las concentraciones de P en las aves está regulada principalmente por excreción renal y en condiciones normales varían de 5 a 7 mg/dL (NRC, 1994).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación geográfica del experimento

El trabajo de investigación se realizó en la universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-UL, en la Unidad Académica de Producción Avícola, en Torreón, Coahuila, México, la cual se ubica geográficamente en las coordenadas 103°26 33" LO, 25 32 40" LN, con una altitud 1120 msnm con clima seco, semicálido con invierno fresco, temperatura media anual de 18 a 22 C°.

3.2. Manejo de animales

En total, se emplearon 300 gallinas ponedoras de la línea Rhode Island en el piso o libre de jaula. El primer tratamiento fue el de zeolita (**GZ**) en el cual consistió en una dieta de inclusión de 4 % de zeolita para completar 120g de alimento por animal. El segundo tratamiento fue el grupo 90 (**G90**) tuvo una dieta de inclusión de 4 % de zeolita + 90mg de nanopartículas de óxido de zinc con tamaño de partícula de 50 nanómetro (nm) para completar 120g de alimento por animal. En el grupo control (**GC**) se le ofreció 120g de alimento sin inclusión a zeolita y sin partículas de óxido de zinc.

El alimento fue ofrecido de forma manual en 2 tiempos 8:00 am y 5:00 pm, igual se le proporciono un fotoperiodo de 16 horas luz y 8 horas de obscuridad y tuvieron libre acceso al agua, además contaron con nidales y perchas.

3.3. Toma de muestra sanguínea

La toma de muestra se realizaba cada 2 semanas, durante el periodo experimental, se seleccionaban 4 aves al azar de cada grupo experimental. Todas las muestras

de sangre se tomaron por la mañana. La sangre se extraía de la vena braquial del ala, en donde exponíamos la zona, posteriormente introducíamos la aguja y extraíamos 2 ml, una vez obtenida la sangre en la jeringa lo transferíamos cuidadosamente a un tubo sin aditivo. La toma de muestras se realizaba con todas las medidas precautorias para evitar el daño a las aves.

La muestra se centrifugo a 3000 rpm por un tiempo de 15 minutos para separar el plasma y el suero, después se incorporaron a tubos Eppendorf y congelaron para su posterior análisis. Se utilizaron kits de P y Ca de la marca comercial (Sckisui®) y se utilizó el aparato de Analizador de química sanguínea HLab 100.

3.4 Análisis estadísticos

Los datos recolectados se registraban en una base de datos para calcular la estadística descriptiva (medias, desviación estándar). Posteriormente se realizaron comparaciones de la varianza asumiendo desviaciones estándar no iguales, utilizando el software SPSS 35 (IBM Corp., Armonk, NY, EE.).



Figura 2 Centrifugador del laboratorio de bromatología UAAAN-UL



Figura 3 Kit para analizar Fósforo empleado para la química sanguínea



Figura 4 Kit para analizar Calcio empleado para la química sanguínea



Figura 3 Analizador de química sanguínea HLab 100 del laboratorio de bromatología UAAAN-UL

IV. RESULTADOS

En la figura 6 se muestran los resultados obtenidos de la semana 20 a la semana 40 de producción, podemos observar los niveles de Ca en los tres grupos experimentales, en la semana 20 y 22 aumentó el nivel del Ca en sangre del GZ y G90; en ambos grupos los niveles subieron de los 30 gm/dl cuando el nivel máximo reportado es de 20 mg/dl, de la semana 24 a la 40 se mantuvieron los niveles y no se observó diferencia estadística entre ellos ($p>0.05$).

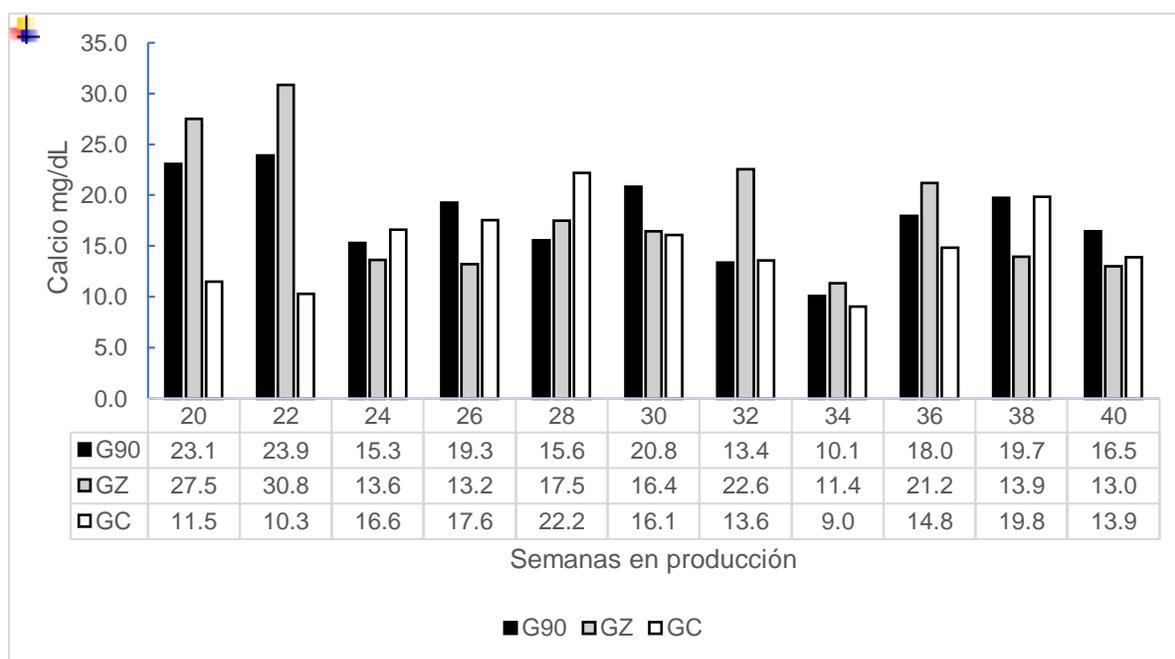


Figura 4 Comportamiento de los niveles de calcio en sangre de gallinas, con inclusión en la dieta de 90 mg de nanopartículas de óxido de zinc más zeolita en un 4 %, evaluadas de la semana 20 a la semana 40 de producción.

En la figura 7 se muestran los niveles de P en sangre de los tres grupos experimentales, de igual manera en la semana 20 y 22 el nivel de P del G90 y GZ llegaron a aumentar hasta 17.2 mg/dL rebasando el nivel normal. Mientras que de la semana 24 a la 40 los niveles se mantuvieron y no se encontró diferencia significativa ente los grupos experimentales ($p>0.05$).

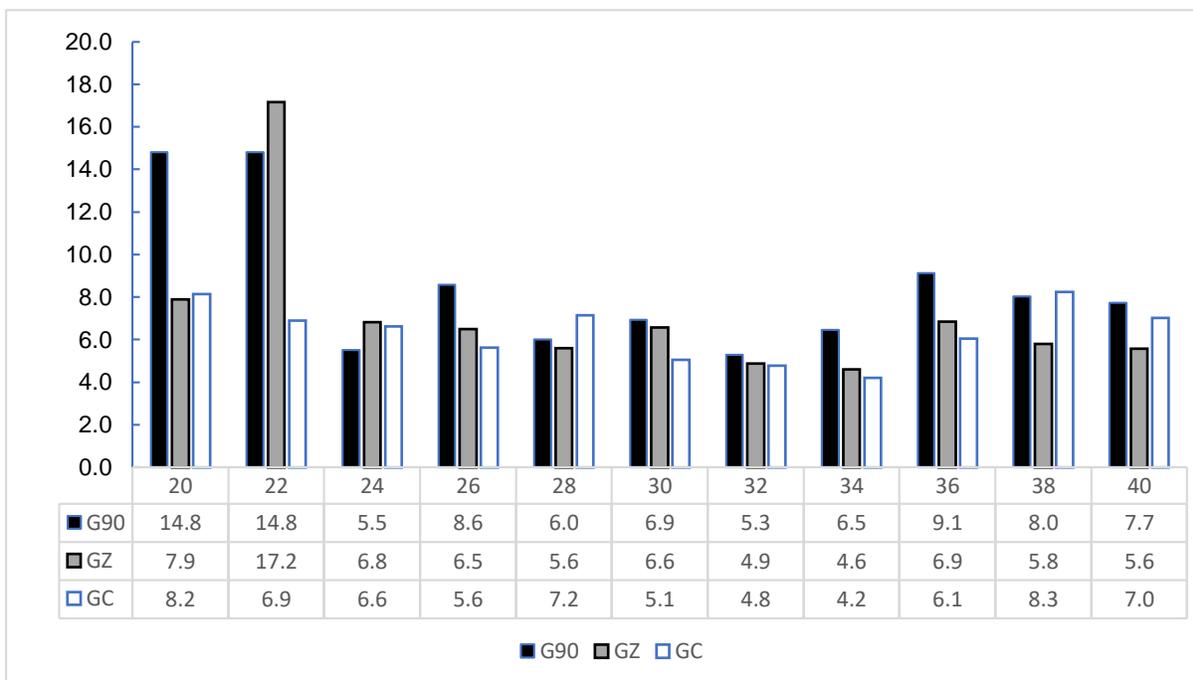


Figura 5 Comportamiento de los niveles de fósforo en sangre de gallinas con inclusión en la dieta de 90 mg de nanopartículas de óxido de zinc más zeolita en un 4 %, evaluadas de la semana 20 a la semana 40 de producción.

En la figura 8 se encuentran representados los resultados de los niveles de Ca y P de los tres grupos experimentales, en el GZ y G90 tuvieron el mayor nivel de Ca y P en la semana 20 y 22, en Ca subió hasta 30.2 mg/dL y en P 23.9 mg/dL manteniendo los niveles de 5.3-14.8 mg/dL de la semana 24 a 40, el GC mantuvo los niveles normales de calcio que es 16-20 mg/dL y de P 5-7 mg/dL de la 20 a la 40, no se observaron diferencias estadísticamente entre ellos.

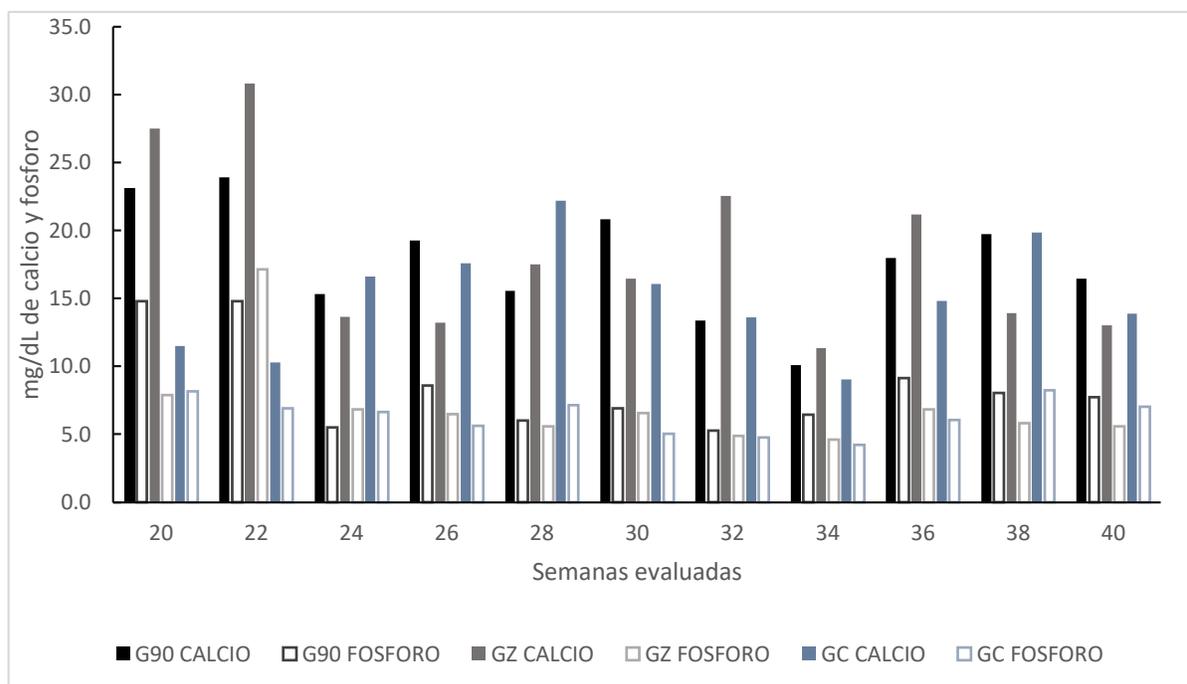


Figura 6 Relación de calcio y fósforo observadas en sangre de gallinas con inclusión en la dieta de 90 mg de nanopartículas de óxido de zinc más zeolita en un 4 % evaluadas de la semana 20 a la semana 40 de producción.

En la tabla 1 se observa el nivel del Ca y P de forma numérica de la semana 20 a la semana 40 clasificados en los tres grupos experimentales G90, GZ y GC, en donde estadísticamente no se observaron diferencias en los resultados de los grupos experimentales.

Tabla 1 Niveles de Ca y P en sangre, en gallinas alimentadas con una inclusión en la dieta de 90 mg de nanopartículas de óxido de zinc más zeolita en un 4 % evaluadas de la semana 20 a la semana 40 de producción.

SEMANA	G90 CALCIO	G90 FÓSFORO	GZ CALCIO	GZ FÓSFORO	GC CALCIO	GC FÓSFORO
20	23.1	14.8	27.5	7.9	11.5	8.15
22	23.9	14.8	30.8	17.1	10.3	6.9
24	15.3	5.5	13.6	6.8	16.6	6.6
26	19.3	8.6	13.2	6.5	17.6	5.6
28	15.6	6.0	17.5	5.6	22.2	7.1
30	20.8	6.9	16.4	6.5	16.1	5.0
32	13.4	5.3	22.6	4.8	13.6	4.7
34	10.1	6.5	11.4	4.6	9.0	4.2
36	18.0	9.1	21.2	6.8	14.8	6.0
38	19.7	8.0	13.9	5.8	19.8	8.2
40	16.5	7.7	13.0	5.57	13.9	7.0

V. DISCUSIÓN

En el presente trabajo de investigación se evaluaron los niveles de Ca y P en sangre de gallinas ponedoras, los niveles de calcio alcanzaron su nivel máximo en la semana 22 con 30.8 mg/dL, siendo el GZ mayor que el GC y G90 aunque sin ser estadísticamente diferente, de la semana 24 – 40 los niveles oscilaron entre 10-20 mg/dL de los tres grupos experimentales que se mantuvieron estables, en un nivel sugerido por Carrillo *et al.* (2020). Estas variables tienen similitud con los resultados que obtuvo Elaroussi *et al.* (1994), en donde dice que la homeostasis del calcio se consigue balanceando la eficiencia de la absorción intestinal de Ca, la excreción renal y el metabolismo mineral óseo con los requerimientos de Ca del ave, es importante la evaluación de los parámetros sanguíneos, porque nos permite conocer el estado fisiológico de las gallinas y así detectar las alteraciones metabólicas.

En los niveles de P del estudio experimental alcanzo un máximo de 17.2 mg/dL del GZ en la semana 22, de la semana 24 – 40 se mantuvieron en un nivel de 5-7 mg/dL como lo requiere la RNC (1994). Garlich *et al.* (1984), menciona que los niveles bajos de fósforo se producen como consecuencia de altas temperaturas ambientales, así como la baja ingesta de fósforo, esto puede explicar por qué hay diferencias numéricas en los tres grupos experimentales, se ha descrito que existe una correlación entre los valores de Ca y P, estos componentes son interdependientes, y la falta o el exceso de uno de ellos puede perjudicar a la absorción del otro.

Nunes *et al.* (2018) describen que los aditivos alimenticios agregados a las dietas afectan significativamente el metabolismo de las aves y estos cambios causan alteraciones en los niveles bioquímicos de la sangre.

Nuestros resultados también concuerdan con los de Shao *et al.* (2025) en donde sus niveles de Ca al 3.8 % y 0.27 de P disponible en su dieta satisfacía las necesidades de sus gallinas ponedoras y afirma que sus niveles se encontraron dentro de los rangos establecidos. Park *et al.* (2024) en su experimento con gallinas ponedoras disminuyó el porcentaje de P en la dieta, añadiendo fitasa dietética y afirma que no afectó a la puesta de huevos y a su nivel plasmático.

Lin *et al.* (2020) afirma que una nutrición óptima con niveles adecuados de oligoelementos garantiza funciones adecuadas del organismo incluidas las fisiológicas, estructurales, catalíticas y reguladoras, por lo que el Zn juega papel crucial en la absorción y el metabolismo de Ca y P en las gallinas ponedoras, también un nivel alto de Zn puede tener interacciones negativas con la absorción del P y Ca debido a la competencia de transportadores por el intestino, en nuestro G90 el Zn tuvo un efecto positivo pues no altero significativamente los niveles de Ca y P.

Abedini *et al.* (2017) realizo una investigación con una dieta con 80 mg/kg de nanopartículas de óxido de zinc y otra dieta basada en harina de maíz y soja, como resultados reporta que el estado plasmático no se vio modificado por los tratamientos suplementados con ZnO-NP, pero aumentó la actividad de la superóxido dismutasa en el hígado y en el páncreas, en el cual afirmo que una dieta con ZnO-NP es una fuente adecuada de Zn para las gallinas ponedoras, así mismo Tsai *et al.* (2016) demostró que su dieta con el óxido de zinc nanométrico mejoro la absorción de Zn y es efectivo en ponedoras envejecidas.

Los resultados también respaldan que los minerales y aditivos añadidos en la dieta mejoran la productividad en las gallinas, teniendo una buena absorción de los nutrientes, esto es crucial para el rendimiento y la salud animal en gallinas ponedoras.

VI. CONCLUSIÓN

En conclusión, los resultados indican que en los grupos tratados con inclusión de zeolita al 4 % y nanopartículas de óxido de zinc a 90 mg/kg añadidos en la dieta de aves de postura en un sistema libre de jaula, no mostraron diferencias significativas en los niveles plasmáticos de Ca y P respecto al GC. Sin embargo, se recomienda seguir realizando investigaciones con diferentes porcentajes de zeolita y nanopartículas de óxido de zinc que permita seguir dilucidando como estos aditivos contribuyen en las concentraciones de Ca y P.

VII. LITERATURA CITADA

- Abedini, M., Shariatmadari, F., Torshizi, M. A. K., & Ahmadi, H. (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. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.06.010>
- Alagawany, M., Elnesr ,Shaaban S., Farag ,Mayada R., Tiwari ,Ruchi, Yattoo, Mohd. Iqbal, Karthik ,Kumaragurubaran, Michalak ,Izabela, & and Dhama, K. (2021). Nutritional significance of amino acids, vitamins and minerals as nutraceuticals in poultry production and health – a comprehensive review. *Veterinary Quarterly*, 41(1), 1–29. <https://doi.org/10.1080/01652176.2020.1857887>
- Alsalmay, E. H. H., & Mohammed, Th. T. (2022). Effect of adding natural zeolite and vitamin E to diets of laying hens (Lohman Brown) on some physiological traits and productive performance during hot weather. *Bionatura*, 7(4), 1–5. <https://doi.org/10.21931/RB/2022.07.04.12>
- Amad, A. (2020). The effect of natural zeolite as feed additive on performance and egg quality in old laying hens. *Tavukçuluk Araştırma Dergisi*, 18(1), 13–18. <https://doi.org/10.34233/jpr.919356>
- Byrne, L., & Murphy, R. A. (2022). Relative Bioavailability of Trace Minerals in Production Animal Nutrition: A Review. *Animals*, 12(15), Article 15. <https://doi.org/10.3390/ani12151981>
- Carrillo, L., Bernad, M.-J., Monroy-Barreto, M., Coello, C. L., Sumano, H., & Gutiérrez, L. (2020). Higher Bioavailability of Calcium in Chickens With a Novel In-Feed Pharmaceutical Formulation. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 343. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00343>
- CEDRSSA. (2019). *La importancia de la industria en mexico* (p. 14).

- Durán, L. (2001). Aditivos naturales. *Arbor*, 168(661), Article 661.
<https://doi.org/10.3989/arbor.2001.i661.824>
- El-Abbasy, M. M., Aldhalmi, A. K., Ashour, E. A., Bassiony, S. S., Kamal, M., Alqhtani, A. H., Abou-Kassem, D. E., Elolimy, A. A., Abd El-Hack, M. E., & Swelum, A. A. (2025). Enhancing broiler growth and carcass quality: Impact of diets enriched with *Moringa oleifera* leaf powder conjugated with zinc nanoparticles. *Poultry Science*, 104(1), 104519. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104519>
- Elaroussi, M. A., Forte, L. R., Eber, S. L., & Biellier, H. V. (1994). Calcium homeostasis in the laying hen. 1. Age and dietary calcium effects. *Poultry Science*, 73(10), 1581–1589. <https://doi.org/10.3382/ps.0731581>
- Elsherbeni, A. I., Youssef, I. M., Hamouda, R. E., Kamal, M., El-Gendi, G. M., El-Garhi, O. H., Alfassam, H. E., Rudayni, H. A., Allam, A. A., Moustafa, M., Alshaharn, M. O., & El Kholy, M. S. (2024). Performance and economic efficiency of laying hens in response to adding zeolite to feed and litter. *Poultry Science*, 103(7), 103799. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103799>
- Fawaz, M., Südekum, K.-H., Hassan, H., & Abdel-Wareth, A. (2019). Effects of nanoparticles of zinc oxide on productive performance of laying hens. – A review. *SVU-International Journal of Agricultural Sciences*, 1(1), 13–20.
<https://doi.org/10.21608/svuijas.2019.67076>
- Gallego, D. A. S., Fernández, D. G. S., García, D. G. V., & Nomdedeu, D. C. L. (2002). *Consejo asesor del instituto de estudios del huevo*.
- García, H. C. (2010). La aplicación de Zeolita en la producción avícola: Revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 1(1), Article 1.
<https://doi.org/10.22490/21456453.904>
- Garlich, J., Brake, J., Parkhurst, C. R., Thaxton, J. P., & Morgan, G. W. (1984). Perfil fisiológico de las ponedoras enjauladas durante un año de producción, muda y

postmuda: Producción de huevos, calidad de la cáscara del huevo, parámetros de hígado, fémur y sangre^{1,2}. *Poultry Science*, 63(2), 339–343.

<https://doi.org/10.3382/ps.0630339>

Gómez Garzón, M. (2018). Nanomateriales, Nanopartículas y Síntesis verde. *Revista Repertorio de Medicina y Cirugía*, 27(2), Article 2.

<https://doi.org/10.31260/RepertMedCir.v27.n2.2018.191>

Gutiérrez Arenas, D. A., Cuca García, J. M., Pró Martínez, A., Becerril Pérez, C. M., & Figueroa Velasco, J. L. (2013). Niveles de calcio y fósforo disponible en gallinas durante 48 semanas en postura. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 4(4), 435–446. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-11242013000400003&lng=es&nrm=iso&tling=es

Hofmann, T., Schmucker, S., Sommerfeld, V., Huber, K., Rodehutsord, M., & Stefanski, V. (2021). Immunomodulatory Effects of Dietary Phosphorus and Calcium in Two Strains of Laying Hens. *Animals*, 11(1), Article 1.

<https://doi.org/10.3390/ani11010129>

Hove, E., Elvehjem, C. A., & Hart, E. B. (1940). THE RELATION OF ZINC TO CARBONIC ANHYDRASE. *Journal of Biological Chemistry*, 136(2), 425–434.

[https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)73056-1](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)73056-1)

Hussien, K. R. A., Ismail, Z. S. H., & Abdel-Wareth, A. A. A. (2021). Application of zinc oxide nanoparticles as feed additive in broiler chicken nutrition under hot environmental conditions. *SVU-International Journal of Agricultural Sciences*, 3(3), 156–156. <https://doi.org/10.21608/svuijas.2021.80159.1116>

Instituto de Estudios del Huevo. (2009). En *El gran libro del huevo* (1º). EVEREST, S.A.

Lin, X., Meng, T., Yang, T., Xu, X., Zhao, Y., & Wu, X. (2020). Circadian zinc feeding regime in laying hens related to laying performance, oxidation status, and

interaction of zinc and calcium. *Poultry Science*, 99(12), 6783–6796.

<https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.06.086>

Lira Saldivar, R. H., Méndez Argüello, B., Santos Villarreal, G. D. los, Vera Reyes, I., Lira Saldivar, R. H., Méndez Argüello, B., Santos Villarreal, G. D. los, & Vera Reyes, I. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta universitaria*, 28(2), 9–24. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1575>

Marc, S., & Tulcan, C. (2020). *Zeolites Applications in Veterinary Medicine*.

<https://doi.org/10.5772/intechopen.87969>

Nguyen, H. T. T., Morgan, N., Roberts, J. R., Wu, S.-B., Swick, R. A., & Toghyani, M. (2021). Zinc hydroxychloride supplementation improves tibia bone development and intestinal health of broiler chickens. *Poultry Science*, 100(8), 101254.

<https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101254>

Nunes, R. V., Broch, J., Wachholz, L., de Souza, C., Damasceno, J. L., Oxford, J. H., Bloxham, D. J., Billard, L., & Pesti, G. M. (2018). Choosing sample sizes for various blood parameters of broiler chickens with normal and non-normal observations. *Poultry Science*, 97(10), 3746–3754.

<https://doi.org/10.3382/ps/pey217>

Nutrient Requirements of Poultry: Ninth Revised Edition, 1994. (1994). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/2114>

Parsons, A. H., & Combs, G. F. (1981). Blood Ionized Calcium Cycles in the Chicken. *Poultry Science*, 60(7), 1520–1524. <https://doi.org/10.3382/ps.0601520>

Qasir, H., Reyer, H., Oster, M., Ponsuksili, S., Trakooljul, N., Sommerfeld, V., Rodehutsord, M., & Wimmers, K. (2025). Effects of a transient lack of dietary mineral phosphorus on renal gene expression and plasma metabolites in two high-yielding laying hen strains. *BMC Genomics*, 26. <https://doi.org/10.1186/s12864-025-11294-6>

- Ramiah, S. K., Awad, E. A., Mookiah, S., & Idrus, Z. (2019). Effects of zinc oxide nanoparticles on growth performance and concentrations of malondialdehyde, zinc in tissues, and corticosterone in broiler chickens under heat stress conditions. *Poultry Science*, *98*(9), 3828–3838. <https://doi.org/10.3382/ps/pez093>
- Ravindran, V. (2013). Poultry feed availability and nutrition in developing countries. *Poultry Development Review*, 60–63.
- Reda, F. M., El-Saadony, M. T., Elnesr, S. S., Alagawany, M., & Tufarelli, V. (2020). Effect of Dietary Supplementation of Biological Curcumin Nanoparticles on Growth and Carcass Traits, Antioxidant Status, Immunity and Caecal Microbiota of Japanese Quails. *Animals : an Open Access Journal from MDPI*, *10*(5), 754. <https://doi.org/10.3390/ani10050754>
- Rodehutscord, M., Sommerfeld, V., Angel, C. R., & Korver, D. R. (2023). Minimum phosphorus requirements for laying hen feed formulations. *Poultry Science*, *102*(2), 102344. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102344>
- Sawy, A., Maddawy, Z., Awad, A., & Mashalla, A. (2021). The Growth Promoting and Immuno-Stimulant Effects of Nano Zinc Oxide of Broiler Chicks. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*, *69*(2), 16. <https://doi.org/10.5455/ajvs.63645>
- Schneider, A. F., Zimmermann, O. F., & Gewehr, C. E. (2017). Zeolites in poultry and swine production. *Ciência Rural*, *47*(8). <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160344>
- Sinclair-Black, M., Garcia, R. A., & Ellestad, L. E. (2023). Physiological regulation of calcium and phosphorus utilization in laying hens. *Frontiers in Physiology*, *14*, 1112499. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1112499>
- Stefanello, C., Santos, T. C., Murakami, A. E., Martins, E. N., & Carneiro, T. C. (2014). Productive performance, eggshell quality, and eggshell ultrastructure of laying hens

- fed diets supplemented with organic trace minerals. *Poultry Science*, 93(1), 104–113. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03190>
- Toraih, H. M., Hassan, A. M., El-Far, A. A.-E., Morsy, A. S., Ahmed, N. A. E.-H., & Emam, K. R. S. (2019). Effect of Zeolite Dietary Supplementation on Physiological Responses and Production of Laying Hens Drinking Saline Well Water in South Sinai. *Journal of World's Poultry Research*, 9(2), 109–122. <https://doi.org/10.36380/scil.2019.wvj15>
- Torre Marina, M. C., Fonseca Pereda, M., & Quintana López, J. A. (2013). *El huevo. Mitos, realidades y beneficios*. Trillas.
- Tsai, Y. H., Mao, S. Y., Li, M. Z., Huang, J. T., & Lien, T. F. (2016). Effects of nanosize zinc oxide on zinc retention, eggshell quality, immune response and serum parameters of aged laying hens. *Animal Feed Science and Technology*, 213, 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.01.009>
- Younas, Z., Mashwani, Z. U. R., Ahmad, I., Khan, M., Zaman, S., Sawati, L., & 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), Article 3. <https://doi.org/10.3390/molecules28031064>
- Zhang, Y. N., Zhang, H. J., Wang, J., Yue, H. Y., Qi, X. L., Wu, S. G., & Qi, G. H. (2017). Effect of dietary supplementation of organic or inorganic zinc on carbonic anhydrase activity in eggshell formation and quality of aged laying hens. *Poultry Science*, 96(7), 2176–2183. <https://doi.org/10.3382/ps/pew490>