

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



**Efecto de la inclusión de zeolita y nanopartículas de óxido de zinc en la
producción de huevo en un sistema libre de jaula**

Por:

Elizabeth Cortes Reyes

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Torreón, Coahuila, México
Junio 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Efecto de la inclusión de zeolita y nanopartículas de óxido de zinc en la producción
de huevo en un sistema libre de jaula

Por:

Elizabeth Cortes Reyes

TESIS

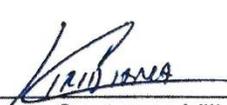
Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

Aprobada por:


Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Presidente


MC. Julieta Ziomara Ordonez Morales
Vocal


Dra. Viridiana Contreras Villareal
Vocal


Dr. Fernando Arellano Rodríguez
Vocal Suplente


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



Torreón, Coahuila, México

Junio 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN REGIONAL DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

**Efecto de la inclusión de zeolita y nanopartículas de óxido de zinc en la
producción de huevo en un sistema libre de jaula**

Por:

Elizabeth Cortes Reyes

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

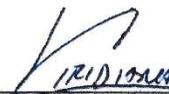
Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno
Asesor principal



MC. Julieta Ziomara Ordonez Morales
Coasesor



Dra. Viridiana Contreras Villareal
Coasesor



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



Torreón, Coahuila, México

Junio 2024

AGRADECIMIENTOS.

A **mi Dios**, por haberme concedido el don de la vida y por cada oportunidad de aprendizaje que ha puesto en mi camino.

A **mi familia**, por ser mi motivación. Por su apoyo incondicional que ha sido el impulso detrás de cada uno de mis logros. Les estoy eternamente agradecida por estar siempre a mi lado.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna** por haberme brindado la oportunidad de estudiar en esta institución y a toda la comunidad universitaria por su compromiso con la excelencia al igual por proporcionarme las herramientas necesarias para formarme profesionalmente.

A la **Dra. Dalia Ivette Carrillo Moreno**, mi asesora principal por el apoyo y la disponibilidad que siempre me brindó durante mi proyecto de tesis.

A la **Mc. Julieta Ziomara Ordoñez Morales**, por su apoyo constante e incondicional, gracias por su disposición para revisar mi tesis. Sus orientaciones fueron de gran ayuda.

A la **MVZ Adriana Monserrat López Morales**, por haberme dado la oportunidad de formar parte del proyecto de investigación. Por su apoyo incondicional y por estar siempre dispuesta a brindarme ayuda y orientación ante cualquier duda que surgiera.

DEDICATORIAS.

A **mis padres**, por su amor incondicional y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. Mamá, siempre has estado a mi lado con palabras de aliento, creyendo en mí incluso cuando yo dudaba de mí mismo. Papá, tu apoyo constante, tus consejos sabios y tu ejemplo de dedicación han sido mi guía. Ambos me han mostrado que, con trabajo duro, los sueños se pueden alcanzar, y su apoyo ha sido importante en cada paso de mi camino.

A **mis hermanos**, por estar siempre ahí con palabras de aliento y gestos de cariño. Sus consejos, paciencia y compañía han sido invaluable para mí. Cada uno de ustedes han contribuido de manera única a mi crecimiento personal y profesional. Su amor y apoyo han sido mi mayor fuente de fortaleza y motivación. Este logro es tanto mío como de ustedes, y no podría haberlo alcanzado sin su apoyo incondicional.

A **mis sobrinos**, por llenar nuestras vidas de amor y alegría. Gracias por ser mi familia, por estar siempre a mi lado y por hacer que cada día valga la pena.

A **mis amigos**, por brindarme momentos de distracción, motivación y apoyo incondicional y a mis demás compañeros por haber tenido la oportunidad de compartir horas de estudios juntos.

ÍNDICE

RESUMEN	x
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Hipótesis	3
1.2 Objetivo	3
1.2.1 Objetivos específicos	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 La importancia de la nutrición en aves de postura.....	4
2.1.1 Energía	5
2.1.2 Proteína y aminoácidos.....	5
2.1.3 Mineral	6
2.1.4 Vitaminas	6
2.1.5 Agua.....	7
2.2 Tipos de aditivos en aves de postura	7
2.3 Zeolita.....	9
2.3.1 Estructura.....	10
2.3.2 Características	10
2.3.3 Tipos de zeolita	11
2.3.4 Zeolita (clinoptilolita)	11
2.4 Importancia de la zeolita en aves de postura.....	12
2.5 Tipos de minerales: Macro/Micro.....	13
2.6 Tipos de administración: Orgánicos e inorgánicos.....	15
2.7 Nanotecnología.....	17
2.8 Funciones de las Nano-partículas de ZnO en aves de postura	18
2.9 Sistemas de producción de huevo.....	19
2.9.1 Sistema de jaulas convencionales	20
2.9.2 Sistema de jaulas enriquecidas (amuebladas).....	20
2.9.3 Sistema pastoreo libre	21

2.9.4 Sistema orgánico	22
2.9.5 Sistema libre de jaula.....	24
2.9.5.1 Sistema de alojamiento en aviario	25
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1 Ubicacion del estudio.....	26
3.2 Animales de estudio.....	26
3.3 Sistema de producción.....	26
3.4 Variables	26
3.4.1 Consumo de alimento	26
3.4.2 Peso.....	27
3.4.3 Porcentaje de producción de huevos	28
3.4.4 Peso promedio del huevo	29
3.5 Análisis estadísticos	29
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1 Consumo de alimento	30
4.2 Peso.....	31
4.3 Producción de huevos.....	33
4.4 Porcentaje de producción de huevo	34
4.4 Peso del Huevo.....	35
5. CONCLUSIÓN.....	37
6. LITERATURA CITADA	38

CUADRO DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.

Símbolo/Abreviatura	Español
AAs	Aminoácidos
Al	Aluminio
AlSiO₅	Aluminosilicatos
APC	Antibióticos promotores del crecimiento
B	Boro
Ca	Calcio
Cl	Cloruro
Co	Cobalto
EM	Energía metabolizable
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Food and Agriculture Organization of the United Nations)
G90	Grupo 90
GC	Grupo control
NP-Ozn	Nano partículas de óxido de zinc
IM	Inmunomoduladores
K	Potasio

Mg	Magnesio
Mn	Manganeso
MT	Minerales traza
MTI	Minerales traza inorganicos
MTO	Minerales traza organicos
Na	Sodio
NC	Nutraceuticos
SiO₂	Silice
nm	Nanómetro
NP	Nanopartículas
NRC	Consejo Nacional de Investigación (National Research Council)
P	Fosforo
PB	Proteina Bruta
PC	Proteina Cruda
Ppm	Partes por millón
S	Azufre
SCENIHR	Científico sobre Riesgos para la Salud Emergentes y Recién Identificados por sus siglas en inglés (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks)

Si	Silicio
Sr	Estroncio
UE	Unión Europea
Zn	Zinc

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Promedio semanal del rechazo de alimento evaluado durante la 20 a las 40 semanas de producción en un sistema libre de jaula (Promedio \pm DE)	30
Cuadro 2. Peso promedio semanal evaluado durante la 20 a las 40 semanas de producción en un sistema libre de jaula	32
Cuadro 3: Porcentaje de postura evaluado desde la semana 20 hasta la semana 40 de producción	34
Cuadro 4. Peso promedio del huevo de gallinas de postura, de la 20 a la semana 40 en un sistema libre de jaula	35

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Producción de huevo evaluado desde la semana 20 hasta la semana 40 de producción.....	33
--	-----------

RESUMEN

Se ha descrito que la zeolita y las nanopartículas de óxido de zinc se emplean como aditivos alimentarios en la dieta de las gallinas ponedoras, principalmente para mejorar la producción y la salud de estas. Por ello el siguiente estudio se realizó para evaluar el efecto de la zeolita y las nanopartículas de óxido de zinc sobre el consumo de alimento, peso de las gallinas, producción y el peso promedio de los huevos en gallinas ponedoras de la línea Rhode Island en un sistema libre de jaula. Este trabajo se desarrolló en la unidad académica de Producción Avícola, dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, Torreón, Coahuila. Se incluyeron 200 gallinas de 20 semanas de edad divididas aleatoriamente en dos tratamientos (4 repeticiones por tratamiento y 25 aves por repetición), con un total de 100 gallinas por grupo. El grupo 90 (**G90**) recibió una alimentación comercial más la inclusión de nanopartículas de óxido de zinc (**NP-Ozn**) de 90 mg/kg y zeolita al 4 %, mientras que el grupo control (**GC**), con dieta comercial estándar de 120 gramos sin adiciones de (**NP-Ozn**) y zeolita. Se realizaron mediciones diarias del rechazo de alimento en corrales durante 20 semanas. Los resultados mostraron una mayor producción total de huevos en el **GC**, con una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.002$). La producción de huevos en el **GC** fue mayor en 9 semanas, mientras que en el **G90** fue mayor en 2 semanas. El porcentaje de producción de huevos fue mayor en las primeras 13 semanas en el **GC**, y se observó un mayor índice de porcentaje de postura en **G90** ($p < 0.05$). No se encontraron diferencias significativas en el peso promedio del huevo entre los dos grupos experimentales. El resultado permite sugerir que la inclusión de zeolita y nanopartículas de óxido de zinc en un sistema libre de jaula puede mejorar la producción de huevos, especialmente en las primeras semanas, y puede ser una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia y productividad en la industria avícola.

Palabras clave: Zeolita, Nanopartículas de óxido de zinc, Gallinas ponedoras, Alimentación

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La producción avícola ha crecido exponencialmente en las últimas décadas, estableciéndose como una de las industrias de proteínas animales más importantes del mundo. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), la producción mundial de huevos aumentó de 34.4 millones de toneladas en 1961 a 87.4 millones de toneladas en 2020, lo que representa un crecimiento del 154 % (FAOSTAT, 2022). Este aumento se debe en gran medida a la intensificación de la producción, con la adopción de sistemas de producción en jaula, el uso de genética mejorada y una nutrición optimizada. Sin embargo, este rápido crecimiento también ha planteado preocupaciones sobre el bienestar animal y la sostenibilidad ambiental. Los sistemas de producción en jaula, si bien han contribuido a mejorar la eficiencia y la productividad, han sido criticados por limitar la capacidad de las aves para exhibir comportamientos naturales y expresar su etología (Lay *et al.*, 2011). Esto ha llevado a una creciente demanda de productos avícolas provenientes de sistemas de producción alternativos, como los sistemas libres de jaulas, que ofrecen a las aves más espacio y oportunidades para expresar su comportamiento natural. Sin embargo, el cambio hacia sistemas libres de jaulas ha planteado nuevos desafíos en términos de optimización de la nutrición, así como el mantenimiento de altos niveles de producción y calidad de los huevos. En los sistemas libres de jaulas, las aves tienen acceso a una mayor variedad de alimentos y pueden exhibir comportamientos más naturales. Sin embargo, esto también puede llevar a una mayor variabilidad en la ingesta de nutrientes y a la necesidad de ajustar las dietas para satisfacer las necesidades nutricionales de las aves en estos sistemas (Anene *et al.*, 2023). La nutrición desempeña un papel fundamental en el rendimiento y la salud de las aves de postura. Una dieta equilibrada y adecuada es esencial para maximizar la producción de huevos y mantener el bienestar de las gallinas ponedoras. En los últimos años, los investigadores estudian el uso de diversos aditivos alimenticios para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de la producción avícola. Entre estos aditivos, la zeolita y las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO)

han demostrado ser estrategias prometedoras para optimizar diversos parámetros productivos (Swain *et al.*, 2016; Amad, 2020). Las zeolitas son minerales microporosos con una estructura cristalina única con propiedades adsorbentes y de intercambio iónico. Cuando se incluyen en la dieta de las aves ponedoras, las zeolitas han demostrado tener efectos positivos en la producción y calidad del huevo (Vieira *et al.*, 2023). Además, las zeolitas pueden mejorar la digestión y absorción de nutrientes, lo que se traduce en una mejor utilización de los alimentos y una reducción de los desechos (Papaioannou *et al.*, 2005). Esto no solo beneficia la eficiencia productiva, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental al reducir la carga de nutrientes en los desechos avícolas. Por otro lado, las nanopartículas de ZnO han sido objeto de creciente interés debido a sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes. Varios estudios han demostrado que la inclusión de nanopartículas de ZnO en la dieta de las aves de postura puede mejorar la salud intestinal, fortalecer el sistema inmunológico y aumentar la absorción de zinc (Swain *et al.*, 2016; Abedini *et al.*, 2018). Por lo planteado anteriormente el objetivo de este estudio es evaluar el efecto de la inclusión de zeolita y nanopartículas de óxido de zinc en la producción de huevo en un sistema libre de jaula.

1.1 Hipótesis

La inclusión de zeolita y nanopartículas de óxido de zinc influirá en la producción de huevo en un sistema libre de jaula.

1.2 Objetivo

Evaluar el efecto de la inclusión de zeolita y nanopartículas de óxido de zinc en la producción de huevo en un sistema libre de jaula.

1.2.1 Objetivos específicos

- ❖ Comparar el rechazo de alimento y el peso promedio entre los grupos control y G90.

- ❖ Determinar el porcentaje de producción de huevo en el grupo control y grupo G90.

- ❖ Comparar el peso del huevo entre los grupos control y G90.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 La importancia de la nutrición en aves de postura

Una buena alimentación es esencial para el bienestar de las gallinas ponedoras, ya que de ello depende la calidad de los huevos que producen. Proporcionarles una dieta equilibrada garantiza que reciban todos los nutrientes necesarios para mantenerse saludables y en un peso óptimo (Anene *et al.*, 2023). Durante su etapa de crecimiento, los nutrientes que ingieren son fundamentales para el desarrollo de sus huesos y músculos. Sin embargo, una vez que entran en la fase de postura, su organismo prioriza dirigir estos nutrientes a la producción de huevos, asegurando así una utilización eficiente de los recursos para ambos propósitos: el crecimiento corporal y la formación de huevos (Rizzi, 2023). El peso de las gallinas está influenciado por diversos factores, como la cantidad y calidad del alimento que consumen diariamente (Milton L, 1965), así como la energía que obtienen de su dieta (Herrerol, 1996). Se ha observado que un aumento excesivo de peso corporal puede disminuir su capacidad de producción (Anene *et al.*, 2023).

Las gallinas ponedoras necesitan una variedad de nutrientes para mantenerse saludables y producir huevos de calidad. Esto incluye proteínas ricas en aminoácidos esenciales, energía, agua, carbohidratos, grasas, minerales y vitaminas (National Research Council U.S., 1994; Utiah *et al.*, 2021). Aunque obtienen muchos de estos nutrientes de su alimentación natural, a veces se les proporcionan suplementos sintéticos de minerales, vitaminas y algunos aminoácidos como la lisina, metionina, treonina y triptófano (Ravindran, 2013). Las gallinas, como cualquier ser viviente, buscan satisfacer sus necesidades energéticas a través de la alimentación. Por eso es crucial que su dieta esté bien equilibrada con todos los nutrientes esenciales. La composición adecuada de la dieta es fundamental para el desarrollo óptimo de la producción avícola (Caisin y Cara, 2023; Ravindran, 2013).

2.1.1 Energía

Según el informe del Consejo Nacional de Investigación (NRC, por sus siglas en inglés) la energía se utiliza como punto de referencia para el equilibrio nutricional (NRC, 1994). Sin embargo, se ha observado que un aumento en la energía puede tener un impacto negativo en el rendimiento y la calidad del huevo (Moreano *et al.*, 2023). La energía dietética constituye la parte más importante de las dietas de las aves de corral y proveniente de los carbohidratos, lípidos y proteínas. Además, la energía dietética interactúa con otros nutrientes, como los aminoácidos (AAs), para mejorar la calidad de la producción (Classen, 2017). Es esencial tener en cuenta que la energía no se clasifica como un nutriente en sí mismo, sino como una propiedad de los nutrientes que se convierten en energía durante el metabolismo (NRC, 1994).

2.1.2 Proteína y aminoácidos

Los AAs son los elementos básicos que facilitan la síntesis de proteínas en los huevos, las cuales son cruciales para el desarrollo tanto de las gallinas como del huevo; las proteínas representan los componentes clave que garantizan el crecimiento y la salud de las gallinas, así como la producción de huevos de alta calidad (He *et al.*, 2021). Se han empleado dietas con diversas densidades nutricionales para investigar las respuestas de los animales (Vossenaar *et al.*, 2021), dado que la densidad nutricional que comprende la energía de la dieta y los niveles totales de aminoácidos digeribles afecta la deposición y formación de los componentes del huevo, como la albúmina, la yema y la cáscara, así como en el rendimiento (Moreano *et al.*, 2023).

Los estudios de Applegate *et al.* (2009) sugieren que durante ciertas etapas clave, como lo son las semanas de la 25 a 45 de edad, una ingesta diaria de alrededor de 15.3 g de proteína cruda (PC) por ave es la óptima para maximizar el peso del huevo y la producción. Mientras tanto, la NRC (1994) recomienda alrededor de 650 mg/gallinas al día. Además, Leke y sus colegas (2018) sugieren que las gallinas ponedoras de 18 a 32 semanas de edad necesitan alrededor de 20 g PC cruda y 260 kilocalorías de energía metabolizable (EM) por día por gallina. Es fundamental

tener en cuenta que reducir la ingesta de energía y proteínas puede impactar negativamente en la producción de huevos, como señalan Leke *et al.* (2018). Además, como mencionan Gavril y Usturoi (2012), la calidad interna del huevo en el momento de la puesta también es un factor importante a considerar.

2.1.3 Mineral

Los minerales juegan un papel crucial en la construcción y fortaleza de los huesos, además de contribuir al bienestar general del cuerpo. No sólo son esenciales para el metabolismo, sino que también trabajan en estrecha colaboración con las enzimas, cumpliendo funciones específicas en el organismo de las gallinas. Además, desempeñan un papel clave en el mantenimiento del equilibrio osmótico y ácido-base, garantizando un funcionamiento óptimo de su salud y vitalidad (NRC, 1994; Ravindran, 2013).

El calcio (Ca) y el fósforo (P) son minerales esenciales para la formación y mantenimiento del esqueleto, mientras que el sodio (Na), el potasio (K), el magnesio (Mg) y el cloruro (Cl) contribuyen con los fosfatos y el bicarbonato para regular la cantidad de agua y minerales en el cuerpo, manteniendo un equilibrio perfecto. Sin embargo, si hay un exceso de Ca en la dieta puede obstaculizar la disponibilidad de otros minerales importantes como el P, Mg, el manganeso (Mn) y el zinc (Zn) (NRC, 1994).

2.1.4 Vitaminas

Las vitaminas se clasifican en dos grupos principales: liposolubles, que comprenden las vitaminas A, D, E y K, e hidrosolubles, que incluyen el complejo B y la vitamina C. Aunque normalmente las aves pueden sintetizar vitamina C, en situaciones adversas como el estrés por calor, la suplementación dietética de vitamina C puede ser beneficiosa. Generalmente se considera que las aves no necesitan vitamina C en su dieta, hay evidencia de una respuesta positiva ante su suplementación en momentos de estrés (NRC, 1994; Pardue *et al.*, 1985; Ravindran, 2013).

2.1.5 Agua

El agua es vital en la alimentación de las aves, aunque a veces no se le preste la atención debida. Es esencial para muchas funciones en el cuerpo, como la digestión, la absorción de nutrientes, la eliminación de desechos y la regulación de la temperatura. De hecho, alrededor del 80 % del cuerpo de las aves está compuesto de agua. Mantener un suministro constante es crucial para su salud óptima. El consumo de agua está directamente relacionado con la ingesta de alimentos y el crecimiento de las aves (NRC,1994; Ravindran, 2013). Por ejemplo, las gallinas ponedoras pueden llegar a consumir entre 150 y 300 litros por cada 1,000 aves al día, dependiendo de factores como la temperatura ambiente (NRC,1994). Para calcular las necesidades de agua de las aves hasta las 8 semanas de edad, se puede utilizar una fórmula aproximada que consiste en multiplicar la edad en días por 6. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el consumo de agua varía a lo largo del día, especialmente en relación con la producción de huevos (Leeson y Summers, 2012).

La privación de agua durante períodos muy largos, como 12 horas o más, puede tener consecuencias en la producción de huevos en las gallinas ponedoras, afectando negativamente en su rendimiento (NRC, 1994). Por ello, es crucial garantizar un suministro adecuado de agua durante todo el día, especialmente durante las horas pico de consumo, que suelen ser alrededor de las 10 a.m. y las 6-8 p.m., dentro del ciclo de luz de 6 a.m. a 8 p.m. (Leeson y Summers, 2012).

2.2 Tipos de aditivos en aves de postura

Hace años atrás, los antibióticos eran frecuentemente empleados como aditivos en la alimentación de aves de corral con el propósito de prevenir enfermedades, aumentar la producción buscando mejorar la eficiencia alimentaria y disminuir la mortalidad ocasionada por agentes patógenos (Muaz *et al.*, 2018). El uso inadecuado de antibióticos, tanto en la medicina humana como en la producción animal, se ha convertido en un problema de salud pública que ha ido empeorando (Carvalho *et al.*, 2023). Los antibióticos promotores del crecimiento (APC) han sido prohibidos en la industria avícola debido a la resistencia bacteriana a los antibióticos

(A. Ali *et al.*, 2021; Van *et al.*, 2020) y en el caso de las aves ponedoras, por el riesgo de residuos en los huevos (Carvalho *et al.*, 2023). Esta medida también se debe a la creciente preocupación pública sobre la salud y seguridad (A. Ali *et al.*, 2021; Carvalho *et al.*, 2023), ante esta situación ha llevado a la industria avícola a buscar alternativas a los APC (Abd El-Hack *et al.*, 2022).

Durante las últimas dos décadas, existe un interés en los inmunomoduladores (IM) y los nutracéuticos (NC). Estas sustancias tienen la capacidad de estimular funciones del sistema inmunológico y los componentes bioactivos de los piensos. Según Valpotić *et al.* (2017), se ha demostrado que tienen un impacto positivo en la salud intestinal y en el rendimiento, al mismo tiempo que son seguros tanto para los animales como para el medio ambiente. Es por ello que se están explorando otros tipos de aditivos alimentarios con propiedades NC, que podrían reemplazar a los APC, como sugieren Tánori-Lozano *et al.* (2023). Se han obtenido resultados alentadores con minerales arcillosos naturales, sintéticos o modificados, como señalan Valpotić y colaboradores (2017), así como con las zeolitas, que son el ingrediente alimentario zootécnico y biomédico más conocido debido a sus propiedades, según Tánori-Lozano *et al.* (2023). Sugiharto y sus colegas (2021), han concluido recientemente que en la industria avícola se han introducido ácidos orgánicos, probióticos y prebióticos como una alternativa a los antibióticos profilácticos.

En los últimos tiempos, existe un aumento constante en el consumo mundial de productos avícolas, especialmente del huevo. Hoy en día, para asegurar una producción óptima de huevo, es esencial contar con gallinas reproductoras eficientes y llevar a cabo un manejo adecuado, así como seguir buenas prácticas sanitarias y programas de alimentación bien diseñados. Como señaló Amad (2020), en su investigación, proporcionar dietas adecuadas con aditivos alimentarios puede tener un impacto significativo en la forma en que las gallinas aprovechan los nutrientes.

Según lo señalado por Martyshuk *et al.* (2021), el uso generalizado de diversos aditivos alimentarios ha demostrado ser eficaz para mejorar la utilización del pienso

en la dieta principal. Además, el suministro de dietas con aditivos alimentarios, como la zeolita natural, puede marcar una gran diferencia en la utilización de los nutrientes, como indicó Amad (2020) en su investigación. Se ha establecido que los efectos beneficiosos de la zeolita pueden atribuirse al contenido de Al, silicio (Si) o Na, los cuales influyen en el metabolismo del Ca y P, mejorando su utilización (Emam, 2019). Las arcillas a base de aluminosilicatos ($AlSiO_5$), como la bentonita, la zeolita y el caolín, se incluyen en las dietas para promover el rendimiento en los sistemas de producción animal de alimentos, como señala Jones (2018).

Para ayudar a las aves de corral a enfrentar el estrés por calor, se ha adoptado la suplementación dietética con probióticos, prebióticos y simbióticos. Los simbióticos, según Makinde y Adewole (2022), son combinaciones sinérgicas de prebióticos y probióticos que estimulan selectivamente el crecimiento y la actividad de bacterias beneficiosas en el tracto gastrointestinal, lo que beneficia a las aves.

Los probióticos, utilizados tanto en dietas humanas como animales, buscan mejorar la microbiota del huésped. Por otro lado, los compuestos prebióticos, como fructooligosacáridos, galactooligosacáridos y otros, se emplean en aves de corral para alimentar a los microorganismos beneficiosos del intestino, mejorando así su crecimiento y desarrollo en sistemas de producción animal, según Jones (2018). Diversas fuentes de prebióticos, como el salvado de trigo, han demostrado ser eficaces para mejorar el rendimiento y la salud de las aves, incluyendo la producción de huevos y su calidad, como señalan Pratama y Sugiharto (2023) y Saleh *et al.* (2020). Además, los aditivos probióticos que contienen lactobacilos y bifidobacterias son efectivos solo si llegan intactos a su destino específico en el tracto digestivo: el intestino delgado para los lactobacilos y el intestino grueso para las bifidobacterias. Por tanto, es crucial proteger adecuadamente estos microorganismos de las condiciones ácidas del entorno para mantener su viabilidad durante el tránsito digestivo, como mencionan Ovchinnikov *et al.* (2023).

2.3 Zeolita

Las zeolitas son minerales volcánicos de origen natural que se formaron hace millones de años que se originaron tras la erupción de lava (Alsalmayy y

Mohammed, 2022; Jarosz *et al.*, 2017). Fueron inicialmente descubiertas por el mineralogista sueco Freiherr Axel Fredrick Cronstedt en 1756, quien las denominó "zeolita", término derivado de las palabras griegas "piedras que hierven" (zeo = hervir; lithos = piedra), debido a la característica de producir burbujas al ser calentadas (Schneider *et al.*, 2017).

El nombre zeolita es un término que engloba diversos minerales y compuestos químicos que pertenecen al grupo de los silicatos (Lamprecht *et al.*, 2015). Estos minerales son parte de la familia de los $AlSiO_5$, siendo una de las clases más importantes de los minerales arcillosos. Principalmente están compuestos por sílice (SiO_2) y aluminio (Al), también contienen agua e iones alcalinos y alcalinotérreos como Na, K y/o Ca (Beltcheva *et al.*, 2015; Elliott *et al.*, 2020; Gilani *et al.*, 2016). A veces pueden contener iones menos comunes como Mg, K, Estroncio (Sr) o Boro (B) (Jarosz *et al.*, 2017). Estos minerales, que se formaron debido a actividades volcánicas (A. Gilani *et al.*, 2016), son bastante comunes en todo el mundo y se caracterizan por tener una estructura tridimensional, abierta e infinita (Khachlouf *et al.*, 2018).

2.3.1 Estructura

La estructura básica de la zeolita se compone de un núcleo de silicio tetravalente y aluminio trivalente, que forman unidades (SiO_4 , AlO_4). Esta configuración crea una carga negativa en el aluminio y el silicio, la cual se equilibra saturándose con iones positivos, manteniendo así la neutralidad eléctrica de la estructura. Cuando estos iones se sustituyen, la zeolita muestra su capacidad de intercambio iónico. Su carga negativa se compone de silicato de aluminio hidratado y elementos alcalinotérreos. Los tetraedros se forman a través de la unión de sílice, aluminio y oxígeno. La zeolita se caracteriza por ser liviana y quebradiza, con un ligero tono amarillo (Alsalmany y Mohammed, 2022).

2.3.2 Características

Desde los años 70 se han descrito las propiedades de las zeolitas (Collazos, 2010). Estos minerales poseen tres características principales: tienen la habilidad de absorber iones, pueden ganar-perder agua de manera reversible y son capaces de

realizar intercambio iónico sin que su estructura se vea significativamente alterada (Beltcheva *et al.*, 2015; Schneider *et al.*, 2017; Toraih *et al.*, 2019).

2.3.3 Tipos de zeolita

En diferentes partes del mundo, se producen varios tipos de zeolitas naturales, como la zeolita, chabazita, heulandita, modernita, filita, silicato, silicalita, analcima, clinoptilolita, erionita, faujasita, ferrierita, heulandita, laumonite, mordenita, phillipsita y heroinita (Beltcheva *et al.*, 2015; Mastinu *et al.*, 2019). Entre todas estas, los minerales de clinoptilolita son especialmente destacados en la investigación con animales, debido a su abundancia, amplia distribución y características de intercambio iónico (Beltcheva *et al.*, 2015).

2.3.4 Zeolita (clinoptilolita)

Entre los diferentes tipos de $AlSiO_5$ disponibles comercialmente, los productores avícolas están mostrando un creciente interés en la zeolita de transcarpacia, más conocida como clinoptilolita (Gradzki *et al.*, 2020). La clinoptilolita es una zeolita natural con una alta proporción de $Si/Al \geq 4$, que forman parte del grupo de las heulanditas. Se encuentra en abundancia en la naturaleza y se clasifica como un material micro-mesoporoso, con poros en el rango de 0.30 a 4 nm (De Lima *et al.*, 2021; González *et al.*, 2024; Król, 2020), posee una estructura tridimensional particular que le otorga propiedades fisicoquímicas específicas, como capacidad de intercambio iónico, absorber sustancias, excluir ciertos tamaños y funciones catalíticas (Hcini *et al.*, 2018).

La clinoptilolita tiene una amplia gama de beneficios, que van desde la desintoxicación, hasta mejorar la nutrición y la inmunidad de los animales. También se ha utilizado para dosificar fármacos, separar biomoléculas, purificar agua, suelo y aire, así como para absorber contaminantes radioactivos y descontaminar aguas residuales de instalaciones nucleares (Valpotić *et al.*, 2017). Para aprovechar al máximo estas propiedades, las zeolitas se someten a procesos de modificación o activación, lo que les permite actuar como adsorbentes de fármacos u otras moléculas orgánicas (Servatan *et al.*, 2020). Además, cuando se les añaden óxidos o iones metálicos como zinc, cobre o plata, se puede aumentar su capacidad para

combatir bacterias o detener su crecimiento (Ambrozova *et al.*, 2017; Fanta *et al.*, 2019).

En medicina humana se usa en tratamientos contra la diarrea, heridas, así como para combatir bacterias y hongos (Neidrauer *et al.*, 2014). Experimentos tanto en laboratorio como en organismos vivos han sugerido que la clinoptilolita podría ser útil como complemento en condiciones de sistema inmune debilitado y en terapias contra el cáncer. También se considera su uso como agente antioxidante, o para reducir los niveles de radionucleidos (Valpotić *et al.*, 2017).

Según Valpotić *et al.* (2017) en medicina veterinaria es ampliamente utilizada como aditivo alimentario debido a sus efectos benéficos demostrados en el rendimiento y la salud animal, mientras que Tang *et al.* (2014) dice que se ha demostrado la actividad antibacteriana de la zeolita en aves de corral contra *Salmonella spp.* y *Escherichia coli*; por ello, muestran potenciales tanto de IM como de NC (Valpotić *et al.*, 2017).

2.4 Importancia de la zeolita en aves de postura

Las zeolitas tiene una amplia gama de aplicaciones agrícolas, particularmente en la nutrición animal (Hcini *et al.*, 2018). En medicina veterinaria, su uso tiene beneficios significativos en la morfología, el rendimiento y la flora microbiana del tracto digestivo, así como la liberación de iones metabólicamente vitales y la eliminación de iones no deseados (Servatan *et al.*, 2020). En la industria avícola la zeolita se ha enfocado en mejorar el rendimiento, promover un ambiente más saludable y reducir contaminantes, según Vieira y colaboradores (2023), la inclusión de zeolita en la dieta de gallinas ponedoras puede mejorar la calidad del aire dentro de los galpones sin comprometer el rendimiento productivo ni la inmunidad de las aves, siempre y cuando se agregue en niveles bajos en relación con la dieta total; además es utilizado como un aditivo alimenticio (Schneider *et al.*, 2017).

La zeolita (clinoptilolita) es capaz de adsorber gases y toxinas, micotoxinas, amoníaco, agua y eliminan metales pesados y elementos radiactivos, que podrían ser perjudiciales para los animales. (Amad, 2020). Además, debido a su capacidad de adsorción, la zeolita tiene la capacidad de eliminar del organismo diversas

sustancias tóxicas, como sales de metales pesados, nitratos, nitritos, micotoxinas, radionúclidos y productos del metabolismo (Toraih *et al.*, 2019).

Varios estudios han confirmado los beneficios de la inclusión de la zeolita en la alimentación de las gallinas ponedoras, Hcini *et al.* (2018) encontraron que las zeolitas mejoran la eficiencia alimenticia, el aumento de peso y la producción de huevos de las gallinas ponedoras. Toraih *et al.* (2019), respaldan esta afirmación al demostrar que la zeolita en la dieta no sólo mejora la eficiencia alimenticia, sino también la producción de huevos. Además, Amad (2020) señala que diversos experimentos respaldan estos hallazgos al demostrar que la inclusión de zeolitas en la dieta de las gallinas ponedoras lleva a un mejor rendimiento y calidad de los huevos.

La inclusión de la zeolita tiene un impacto positivo en la producción y en la calidad de los huevos. Por lo cual las aves pueden ganar peso más fácilmente y aprovechar mejor su alimento (Gradzki *et al.*, 2020). La zeolita mejora la digestión y la absorción intestinal, lo cual contribuye al aumento de peso y a la provisión de alimento (Alsalmany y Mohammed, 2022). Gradzki *et al.* (2020) dice que el uso de la zeolita puede contribuir en la reducción de los costos de producción según Alsalmany y Mohammed (2022), se observan diferencias significativas en la producción de huevos, el peso promedio de los huevos, la masa de los huevos y la cantidad de alimento consumido.

No obstante, los resultados de las investigaciones son ambiguos y dependen en gran medida del tipo y dosis de zeolita, así como de la cantidad y proporción de componentes en las dietas, la edad, entre otros factores (Salamakha y Hordiichuk, 2022).

2.5 Tipos de minerales: Macro/Micro

Los minerales son fundamentales para la formación del sistema esquelético, la salud general y el equilibrio ácido-base del cuerpo (Ravindran, 2013). Además, cumplen funciones específicas en la actividad metabólica y como cofactores enzimáticos (Goff, 2018). Los minerales se dividen en dos grupos según su necesidad en la dieta. Los macrominerales, son necesarios en grandes cantidades,

se expresan generalmente como un porcentaje de la dieta, mientras que los microminerales, requeridos en cantidades menores, se indican en miligramos por kilogramo de dieta (mg/kg) o partes por millón (ppm) (NRC, 1994). Estos macrominerales, según señala Goff (2018), deben ser absorbidos a través del tracto gastrointestinal para ser utilizados por el organismo.

El Ca, el P y otros minerales como el Na, K, Cl, Mg, y el Azufre (S) y se clasifican como macrominerales. Se necesitan en la dieta en concentraciones superiores a 100 mg/kg (Ravindran, 2013). El calcio y el fósforo son importantes para la salud ósea y la calidad de la cáscara del huevo en aves (Ravindran, 2013). Los niveles de Na, K y Cl en la dieta son fundamentales para mantener el equilibrio ácido-base y el pH corporal (Goff, 2018; Ravindran, 2013). Sin embargo, cuando hay cambios en estos niveles se pueden alterar los procesos metabólicos y afectar negativamente el rendimiento (Ravindran, 2013). Es esencial garantizar una ingesta adecuada de macrominerales para mantener la salud y la productividad (Goff, 2018).

Los minerales traza (MT) son microelementos esenciales en la alimentación de las gallinas ponedoras, regulan el metabolismo, afectan el rendimiento y la salud de las aves. Los aditivos minerales usados en la producción ganadera suelen derivarse de compuestos inorgánicos como sulfatos, óxidos, fosfatos y carbonatos (Ghasemi *et al.*, 2022). Estos microminerales, son necesarios en pequeñas cantidades en la dieta animal (Goff, 2018) y son importantes para el crecimiento celular, la integridad de los tejidos, la respuesta inmune y la protección contra los radicales libres (Ramos-Vidales *et al.*, 2019). Elementos como Zn, Mn, Se, Cu, yodo (I) y Fe se agregan a la dieta en concentraciones de ppm (mg/kg) (López, 2013). Aunque el cobalto (Co) es esencial, no se necesita suministrarlo como oligoelemento ya que está presente en la vitamina B12 (NRC, 1994).

El Mn y el Zn son minerales esenciales que se agregan a la dieta de las gallinas ponedoras. Debido a la baja disponibilidad de minerales en los alimentos balanceados, se recomienda un suplemento excesivo de estos elementos en comparación con las necesidades normales de las aves (Cornescu *et al.*, 2013). El NRC (1994) indica que las gallinas ponedoras requieren alrededor de 28 mg de Mn

y 33 mg de Zn por kg de alimento para un rendimiento óptimo. Sin embargo, según Cufadar *et al.* (2020), 20 mg/kg de Zn adicional son suficientes para mantener la producción, la calidad de los huevos y la salud ósea de las aves, reduciendo la contaminación del suelo.

En aves ponedoras y reproductoras, el Zn mejora la producción y calidad de los huevos. Además, regula las hormonas reproductivas y es un componente clave de la enzima anhidrasa carbónica, esencial para la formación de la cáscara del huevo al suministrar iones de carbonato (Olgun *et al.*, 2024; Palanisamy *et al.*, 2023). La mejora en la producción de huevos se debe al papel del Zn en la deposición de albúmina y la formación de cáscaras en el útero, así como en la estimulación de las hormonas FSH, LH, progesterona y estrógenos (Olgun *et al.*, 2024). Además, es fundamental para el crecimiento, desarrollo óseo, regulación del apetito y calidad de la cáscara del huevo (Idowu *et al.*, 2011; Yu *et al.*, 2020). Tanto en mamíferos como en aves, este mineral participa en diversas funciones metabólicas y enzimáticas, siendo necesario para el sistema inmunológico y la eliminación de radicales libres (ElKatcha *et al.*, 2017). Aunque es el segundo oligoelemento más común en los animales, el Zn no puede almacenarse en el cuerpo y debe consumirse regularmente a través de la dieta (Swain *et al.*, 2016).

En aves de corral, se agrega a la dieta como premezcla debido a su bajo contenido en los alimentos naturales y su importancia para la producción de huevos (Abedini *et al.*, 2018; Olgun y Yildiz, 2017). Sin embargo, las raciones alimenticias para aves de corral deben enriquecerse con minerales principales (macro) y traza, ya que las dietas convencionales basadas en cereales carecen de estos nutrientes (Stefanello *et al.*, 2014). En la actualidad, existen formas orgánicas de algunos minerales traza que se consideran tener una mayor biodisponibilidad en comparación con las formas inorgánicas (Ravindran, 2013).

2.6 Tipos de administración: Orgánicos e inorgánicos

Los minerales orgánicos son iones metálicos unidos químicamente a moléculas orgánicas, como aminoácidos, creando estructuras con gran estabilidad y biodisponibilidad (Maciel *et al.*, 2010). Existen múltiples variedades de minerales

traza orgánicos (MTO) disponibles en el mercado, cada uno determinado por el tipo de enlace utilizado, que puede ser un aminoácido, péptido, polisacárido o ácido orgánico (Byrne y Murphy, 2022; Farias *et al.*, 2019). Varios estudios se centran en los minerales orgánicos o quelatos porque podrían estar más disponibles para el cuerpo en comparación con los minerales inorgánicos (Maciel *et al.*, 2010). Estos minerales se absorben más fácilmente y se mueven mejor por el cuerpo, lo que podría hacer que las aves estén más saludables a largo plazo y mejoren la calidad de los huevos. Se ha visto que los minerales orgánicos, al ser absorbidos y retenidos más eficientemente por las aves, pueden añadirse a la dieta en cantidades mucho más pequeñas que los minerales inorgánicos, sin afectar negativamente la producción, y podrían ayudar a reducir la cantidad de minerales que las aves expulsan (Figueiredo Júnior *et al.*, 2013).

Los minerales inorgánicos, como óxidos y sulfatos, son ampliamente usados en la producción ganadera y avícola debido a su bajo costo y disponibilidad. Sin embargo, durante la digestión, los iones de estos minerales pueden combinarse y ser excretados junto con otros componentes de la dieta, reduciendo su absorción (Yang *et al.*, 2021). Tradicionalmente, las dietas se han complementado con sales inorgánicas de oligoelementos, pero su uso es ineficiente (Byrne y Murphy, 2022). Estas sales, suelen incluirse en cantidades superiores a las recomendadas para evitar deficiencias (Manangi *et al.*, 2015). La mayoría de los aditivos minerales en la producción ganadera son inorgánicos, pero su interacción puede disminuir la absorción, llevando a un suministro excesivo en los alimentos y generando preocupaciones ambientales (Qiu *et al.*, 2020).

Las sales minerales son la principal fuente de minerales en la alimentación animal. Sin embargo, la biodisponibilidad de los oligoelementos en formas inorgánicas es baja en aves, por lo que se requiere el uso de niveles más altos de zinc inorgánico en sus dietas (Abedini *et al.*, 2018). Las sales de minerales traza inorgánicos (MTI), como óxidos, carbonatos, cloruros y sulfatos, se utilizan tradicionalmente en piensos comerciales para satisfacer las necesidades minerales y prevenir deficiencias en animales de producción (Byrne y Murphy, 2022). Aunque esto puede ser beneficioso para el rendimiento, un exceso de zinc en la dieta puede causar contaminación

ambiental y desequilibrios en otros oligoelementos (Abedini *et al.*, 2018; Ramiah *et al.*, 2019). Comparado con las fuentes inorgánicas, el zinc orgánico, como la zinc-metionina y los complejos de aminoácidos de zinc, tiene una mayor biodisponibilidad y es más eficaz para el crecimiento de las aves (Eskandani *et al.*, 2021). Aunque las fuentes de zinc inorgánico son más comunes debido a su menor costo, las fuentes minerales orgánicas podrían ser más beneficiosas, ya que se pueden agregar en concentraciones más bajas sin afectar el rendimiento de las aves. (Cufadar *et al.*, 2020). Sin embargo, un exceso de zinc, puede tener efectos negativos en la producción de huevos y en la salud de las aves (Li *et al.*, 2019).

Las sales de MTI se usan en dosis más altas de lo recomendado para asegurar el máximo crecimiento de las aves (Tomaszewska *et al.*, 2016). Sin embargo, esto puede llevar a problemas como la baja digestibilidad, contaminación ambiental y un mayor costo de alimentación (Li *et al.*, 2019). Para evitar el exceso de nutrientes sin comprometer la salud y el rendimiento animal, se puede reemplazar los MTI con fuentes orgánicas o nano-minerales (Eskandani *et al.*, 2021). Mejorar la utilización de minerales es una estrategia efectiva para reducir costos, mejorar la salud animal y disminuir el impacto ambiental (Byrne y Murphy, 2022). Últimamente, las nanopartículas de óxido de zinc (NP-Ozn) están surgiendo como opciones económicas y eficientes de este mineral en la alimentación de aves, debido a su alta superficie y actividad, junto con su capacidad de absorción y adsorción (Hasan *et al.*, 2022).

2.7 Nanotecnología

La nanotecnología se dedica a investigar y desarrollar materiales extremadamente pequeños, con dimensiones de hasta 100 (nanómetro) nm, donde sus propiedades físicas, químicas y biológicas muestran mejoras significativas y novedosas. Este campo busca entender y controlar la materia a niveles muy pequeños, como átomos, moléculas y estructuras supramoleculares. Estas diminutas partículas, conocidas como nanopartículas (NP), tienen un potencial superior en comparación con las formas convencionales, lo que significa que se puede usar menos material para lograr el mismo efecto (Fawaz *et al.*, 2019; Swain *et al.*, 2016). Según el Comité

Científico sobre Riesgos para la Salud Emergentes y Recién Identificados por sus siglas en inglés (SCENIHR 2010), las NP se dividen en tres categorías según su tamaño, en grandes si superan los 500 nm, medianas con diámetros entre 100 nm y 500 nm, y ultrafinas si su diámetro es inferior a 100 nm. Sin embargo, la nanotecnología se aplica en diversos campos, como la medicina, la ingeniería, la tecnología de la información, el medio ambiente, la comida, la electrónica, la biología y la farmacología (Swain *et al.*, 2016).

En medicina, la nanotecnología ofrece múltiples ventajas, como liberar medicamentos poco solubles en agua, llevar fármacos directamente a células específicas, superar barreras celulares y tisulares, encapsular y liberar eficazmente terapias moleculares grandes, y administrar varios fármacos con diferentes velocidades de liberación en un tejido (Servatan *et al.*, 2020). Además, su uso está comenzando a extenderse en la agricultura y en la crianza y alimentación de animales (Swain *et al.*, 2016), donde aprovecha su capacidad para manipular materiales a una escala extremadamente pequeña (Siddiqi *et al.*, 2018).

En la investigación farmacéutica, las NP especialmente la sílice mesoporoso, son objetos de estudio para la administración de fármacos. Por otro lado, la zeolita puede ser útil para administrar diferentes fármacos, aunque su tamaño pequeño puede causar una liberación fácil. Por lo tanto, se necesita ajustar el tamaño de los poros según el fármaco específico (Servatan *et al.*, 2020). En la industria alimentaria, se utiliza para desarrollar aditivos y mejorar la absorción de minerales en las dietas (Abedini *et al.*, 2018). Además, se ha empleado para mejorar la absorción de minerales como el zinc en los animales (Eskandani *et al.*, 2021).

2.8 Funciones de las Nano-partículas de ZnO en aves de postura

La nanotecnología ha avanzado enormemente en varios campos, impactando significativamente en la vida humana, animal, ambiental e industrial (Zhao *et al.*, 2014). En la alimentación avícola, el uso de NP minerales ha surgido recientemente debido a su mayor disponibilidad, estabilidad estructural y menor necesidad de aditivos. Estas NP pueden ingresar directamente a las células intestinales, lo que

aumenta su biodisponibilidad en comparación con los minerales inorgánicos convencionales o sus sales comerciales (Cufadar *et al.*, 2020; Fawaz *et al.*, 2019).

El nano-ZnO, con un tamaño de 1 a 100 nm, se usa ampliamente en la industria alimentaria y en el envasado por sus propiedades antimicrobianas (Swain *et al.*, 2016). Estas Np tienen una alta área superficial, actividad catalítica y capacidad de adsorción, superando al ZnO convencional (Hussien *et al.*, 2021; Zhao *et al.*, 2014). Además de ser agentes antibacterianos y antioxidantes, mejoran la reproducción en aves de corral (Swain *et al.*, 2016; Fawaz *et al.*, 2019). Su demanda creciente se debe a su mayor efectividad antimicrobiana en comparación con el ZnO convencional (Swain *et al.*, 2016). El nano-ZnO puede usarse en dosis más bajas, ofreciendo beneficios para el ganado y el medio ambiente (Hatab *et al.*, 2022). Estudios indican que el nano-ZnO supera a las fuentes de zinc convencionales en rendimiento productivo y reproductivo, desarrollo óseo, defensa antioxidante, y como agente antimicrobiano. Además, mejora la microbiota intestinal, la reparación celular y el sistema inmunológico (Hatab *et al.*, 2022).

2.9 Sistemas de producción de huevo

Los sistemas de alojamiento desempeñan un papel crucial en el bienestar y el rendimiento de los animales. Mejorar estos sistemas, junto con una adecuada nutrición, puede beneficiar no solo el bienestar de las aves de corral, sino también la calidad de los productos. La preocupación social por el bienestar de las gallinas ponedoras se ha centrado principalmente en las condiciones dentro de las granjas, incluyendo el tipo de sistema de producción (Abo Ghanima *et al.*, 2020; Fernyhough *et al.*, 2020). Un manejo deficiente de las gallinas puede provocar estrés y situaciones estresantes que afectan su comportamiento, productividad y estado físico (Makinde y Adewole, 2022). Según Ovchinnikov *et al.* (2023), incluso en diferentes condiciones físicas y ambientales, es fundamental garantizar que los animales puedan expresar sus comportamientos instintivos, lo que contribuye a mejorar su calidad de vida. Makinde y Adewole (2022) sostienen que esto también aumenta la eficacia en la producción.

Como señalan Makinde y Adewole (2022) tradicionalmente, las gallinas ponedoras han sido criadas en jaulas convencionales que restringen su capacidad para llevar a cabo la mayoría de sus comportamientos naturales. Sin embargo, con la creciente preocupación por el bienestar animal, ha habido avances en el diseño de sistemas de alojamiento más adecuados para las gallinas utilizadas en la producción de huevos.

2.9.1 Sistema de jaulas convencionales

Después de la Segunda Guerra Mundial, surgió un sistema de crianza tradicional en jaulas para gallinas ponedoras con el objetivo de aumentar la producción. Sin embargo, en 2012, la Unión Europea (UE) prohibió el uso de jaulas convencionales y solo permitió el empleo de jaulas enriquecidas y sistemas libres de jaulas, como los sistemas orgánicos y de corral (Bonnetous *et al.*, 2022; Denli *et al.*, 2016). Aunque ha habido críticas respecto a cómo estas jaulas convencionales limitan el comportamiento natural de las gallinas ponedoras, siguen siendo el principal método de alojamiento a nivel mundial (Villanueva *et al.*, 2020).

Este sistema reduce considerablemente el espacio disponible por unidad de jaula, lo que afecta de manera adicional la calidad del plumaje y la capacidad de las gallinas para regular su temperatura corporal. Además, carece de elementos naturales como perchas, baños de polvo, áreas de anidación y alimentación. Esta limitación de movimiento impide que las gallinas puedan llevar a cabo sus comportamientos naturales, lo que resulta en estrés para los animales (Khumput *et al.*, 2019; Makinde y Adewole, 2022; Sánchez *et al.*, 2023). Según Gilani *et al.* (2013) a esto se suma el hecho de que el picoteo de plumas y el canibalismo son fenómenos comunes en sistemas de jaulas, lo que subraya la importancia de considerar alternativas que fomenten un entorno más natural y menos estresante para las gallinas ponedoras.

2.9.2 Sistema de jaulas enriquecidas (amuebladas)

Las jaulas enriquecidas son como una versión mejorada y más espaciosa de las jaulas convencionales para gallinas. Surgieron por primera vez en Alemania en los años 80 y desde entonces han ido evolucionando. La gran diferencia es que, en

estas nuevas jaulas, cada gallina tiene más espacio para moverse, alrededor de unos 750 cm² por ave. Así, se les ofrece un poco más de comodidad y libertad dentro de su entorno (Lay *et al.*, 2011; Yilmaz Dikmen *et al.*, 2016).

En la UE, las aves son alojadas en una variedad de entornos, desde jaulas amuebladas hasta sistemas de alojamiento más abiertos como graneros, aviarios o incluso en espacios al aire libre. Esta diversificación responde, al menos en parte, a las preocupaciones cada vez mayores sobre el bienestar de los animales expresadas por los consumidores. Es por esto que la industria está avanzando hacia sistemas de alojamiento que eliminan el uso de jaulas (Dumontier *et al.*, 2023).

Las jaulas enriquecidas están diseñadas con dimensiones más amplias que las jaulas tradicionales, con el objetivo de proporcionar a las aves diferentes áreas de espacio horizontal donde puedan moverse y realizar comportamientos naturales como buscar alimento, disfrutar de un baño de polvo, construir nidos y descansar en perchas. Estas jaulas ofrecen a las aves la oportunidad de manifestar comportamientos naturales que suelen estar limitados en las jaulas convencionales. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el enriquecimiento de estas jaulas puede influir de manera diferente en el bienestar de las aves, dependiendo de factores como la genética, el género, el momento del día y el estado emocional de las gallinas ponedoras (Makinde y Adewole, 2022). Por otro lado, es importante considerar que las características específicas de estas jaulas podrían aumentar la incidencia del picoteo de plumas en comparación con sistemas de cría en libertad. Esto se debe a que las aves pueden tener un acceso reducido o nulo a la cama (Coton *et al.*, 2019).

2.9.3 Sistema pastoreo libre

El sistema de pastoreo libre está ganando popularidad en la producción avícola. Esto se debe a que cada vez más personas demandan huevos de campo y se preocupan por el bienestar de los animales (España-Castillo *et al.*, 2019). En este sistema, las gallinas tienen la libertad de elegir entre áreas al aire libre y cubiertas, lo que les permite disfrutar del aire fresco y realizar comportamientos naturales como tomar el sol y buscar comida (Geng *et al.*, 2023). Aunque este sistema ofrece

ventajas para el bienestar de las aves, también presenta riesgos como infecciones parasitarias, mayor exposición a enfermedades, estrés por calor y ataques de depredadores. A pesar de estos desafíos, se han visto mejoras en el bienestar de las aves, como una reducción en el daño del plumaje y en la dermatitis en las almohadillas plantares, especialmente en aquellas que tienen más libertad de movimiento (Rana *et al.*, 2022).

Las dificultades principales del sistema de pastoreo incluyen que las gallinas gastan más energía y necesitan más comida, ya sea porque la desperdician o porque sus necesidades nutricionales cambian con el aumento de la actividad física (Wang *et al.*, 2009). En los espacios de pastoreo al aire libre, es habitual poner comederos y bebederos para que las aves tengan acceso fácil a la comida y al agua. También es buena idea tener árboles en el área o al menos en los bordes para que las gallinas tengan sombra y estén protegidas del sol intenso. Si no hay árboles, se debe pensar en instalar algún tipo de estructura que las proteja del sol. Los pastos proporcionan a las aves proteínas, minerales y vitaminas naturales como la A, B, E y C. Si complementamos su dieta con alimentos concentrados, especialmente con harina de alfalfa enriquecida con vitamina D, podemos ayudarles a aprovechar mejor los pastos (Zlatina *et al.*, 2011).

2.9.4 Sistema orgánico

En la producción de alimentos orgánicos, se evita el uso de productos químicos en la alimentación de los animales y se opta por tratamientos médicos naturales en lugar de los convencionales. Esto les permite a los animales vivir de manera más cercana a su entorno natural. En este tipo de producción, se establece como requisito que los animales sean criados al aire libre, donde puedan moverse libremente y disfrutar del sol. Sin embargo, esto también significa que están expuestos a cambios climáticos y a diferentes tipos de pasto (Rizzi y Marangon, 2012). Según Rizzi y Marangon (2012) en las normativas orgánicas para criar gallinas indican que cada una debe tener al menos 4 metros cuadrados de espacio al aire libre durante al menos un tercio de su vida

Cuando las aves pasan más tiempo al aire libre del recomendado, es posible que los pastizales no estén tan abundantes y que los animales apenas consuman forraje. En caso de que haya hierba disponible, su composición vegetal y la cantidad de insectos que contenga pueden variar bastante. Por eso, es esencial que el entorno donde se crían asegure condiciones óptimas para el bienestar y la salud de los animales (Hidalgo *et al.*, 2008; Rizzi y Marangon, 2012). La mayoría de las personas ve el bienestar de los animales como algo fundamental en este tipo de productos. Además, los consumidores suelen considerar que los productos orgánicos son de mejor calidad en comparación con los huevos del sistema convencional de jaulas, incluso si la máxima prioridad del proceso orgánico no es la calidad del producto en sí. En general, las gallinas en jaulas convencionales tienden a producir más huevos que en el sistema orgánico y la cantidad de alimento necesaria por huevo es menor, y hay menos casos de huevos sucios o agrietados en comparación con el sistema orgánico (Denli *et al.*, 2016; Golden *et al.*, 2012; Perić *et al.*, 2016).

Uno de los objetivos fundamentales al adoptar un sistema de producción orgánica es fomentar la crianza y preservación de razas puras o genotipos locales. A lo largo de las últimas cinco décadas, estas variedades han ido siendo gradualmente reemplazadas por aves híbridas, que han sido sometidas a programas de mejoramiento genético para aumentar la producción. Sin embargo, estas aves híbridas pueden ser más vulnerables a los factores estresantes del entorno. Los genotipos híbridos comerciales suelen exhibir características corporales estandarizadas, como el color del plumaje (ya sea blanco o marrón), el peso corporal y el tamaño de los huevos, en contraste con las razas puras (Rizzi y Chiericato, 2010). En este tipo de entorno, es fundamental que los animales puedan vivir al aire libre, disfrutando de un ambiente natural, y es importante también que no se utilicen medicamentos convencionales en su cuidado. (Rizzi y Chiericato, 2010).

Para garantizar que las gallinas que producen huevos orgánicos estén en las mejores condiciones, es esencial que tengan acceso al exterior, puedan encontrar su propio alimento natural, disfruten de la luz del día y que la densidad de población

en el área sea baja (Bestman *et al.*, 2023a; Göransson *et al.*, 2023). En la crianza orgánica, dejar que las aves salgan al aire libre es vital, ya que les permite llevar a cabo sus comportamientos naturales y mantenerse activas, creando así un entorno rico en elementos naturales, con vegetación densa y seguridad contra los depredadores (Göransson *et al.*, 2023). Asimismo, en la producción de huevos orgánicos o en la crianza de gallinas camperas, es necesario contar con un espacio especialmente diseñado para que las gallinas puedan satisfacer sus necesidades naturales, como revolcarse en el polvo, buscar alimento y disfrutar del sol (Bestman *et al.*, 2023b)

2.9.5 Sistema libre de jaula

Los nuevos sistemas de producción están siendo cada vez más aceptados, como criar a las gallinas ponedoras sin jaulas o dejarlas vivir en espacios al aire libre, todo para satisfacer los gustos de los consumidores (Golden *et al.*, 2012; Pires *et al.*, 2021). Ahora, es más común que estas gallinas se críen en entornos donde no hay jaulas, como corrales, donde tienen comida, agua y nidos en diferentes niveles. Pero estas estas estructuras altas y complicadas pueden dificultar que las aves se muevan libremente, lo cual no es favorable para su comodidad y bienestar (Johny *et al.*, 2023). Aunque en estos nuevos sistemas las gallinas no están encerradas en jaulas durante su producción, en algunos casos, como en los sistemas sin jaulas, pueden seguir confinadas dentro del granero, sin acceso al aire libre (Pires *et al.*, 2021). Los sistemas de alojamiento sin jaulas pueden ser más considerados con los animales, ya que les ofrecen a las gallinas más espacio y oportunidades para comportarse de manera natural en comparación con las jaulas (Heerkens *et al.*, 2015). Además, permiten que las gallinas ponedoras se muevan en áreas más grandes y muestren un comportamiento más cercano a su naturaleza que en las jaulas enriquecidas (Rodríguez-Aurrekoetxea y Estevez, 2016; Vasdal *et al.*, 2022). Se sabe que este aumento en la actividad de las aves conlleva un mayor gasto de energía, lo que implica que necesiten comer más. No obstante, el rendimiento de las gallinas ponedoras no solo depende de dónde vivan, sino de varios otros factores también. El diseño del nido es crucial en estos sistemas, ya que las aves suelen preferir poner huevos en nido (Ahammed *et al.*, 2014).

Los sistemas de alojamiento sin jaulas ofrecen diferentes opciones, como los tradicionales sistemas de piso de un solo nivel y los más modernos aviarios de varios niveles. Los aviarios constan de una estructura con hasta cuatro niveles, permitiendo a las gallinas moverse verticalmente (Heerkens *et al.*, 2015). Estos sistemas pueden ser de granero o aviario, proporcionando un mínimo de espacio a las gallinas, ya sea en el suelo o en plataformas elevadas con cajas nido, comederos y bebederos (Rondoni *et al.*, 2020). Los diseños de los aviarios varían, pero todos incluyen comederos, bebederos y perchas distribuidos en diferentes niveles, y las cajas nido pueden estar integradas en ellos (Nielsen *et al.*, 2023). Por otro lado, los sistemas de un solo nivel son más simples y pueden cubrirse parcialmente con arena, ofreciendo un ambiente más natural a las gallinas (Nielsen *et al.*, 2023). Estos sistemas sin jaulas, como los aviarios de varios niveles, están siendo adoptados cada vez más en la UE y América del Norte (Rodríguez-Aurrekoetxea y Estevez, 2016).

2.9.5.1 Sistema de alojamiento en aviario

Los sistemas de alojamiento en aviario están pensados para permitir que las gallinas expresen sus comportamientos naturales, brindándoles recursos como perchas, áreas de descanso y nidos. Dentro del aviario, la distribución de las gallinas depende del comportamiento del grupo y del espacio disponible. Se espera que este tipo de sistema les ofrezca más espacio y mejore su bienestar en comparación con las jaulas convencionales. Sin embargo, algunos factores, como la estructura del sistema y el comportamiento de las aves, pueden afectar su capacidad para utilizar estos recursos como se espera. Además, la libertad de movimiento puede estar limitada por aspectos como paredes de malla entre unidades o puntos de entrada limitados entre las áreas de descanso y los diferentes niveles (Ali *et al.*, 2016).

A pesar de las ventajas, los sistemas en aviarios también pueden presentar desafíos para el bienestar de las gallinas. Por ejemplo, existe un mayor riesgo de plumaje deficiente (Heerkens *et al.*, 2015), picoteo de plumas (Lay *et al.*, 2011) y niveles elevados de polvo y amoníaco, lo que puede aumentar la mortalidad, especialmente en aves sin pico recortado (Vasdal *et al.*, 2022).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicacion del estudio.

El estudio se realizó en unidad académica de Producción Avícola, ubicada dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, Torreón, Coahuila.

3.2 Animales de estudio

En este estudio, se emplearon 200 gallinas de la línea Rhode Island con una edad de 20 semanas. Las aves se distribuyeron al azar en dos tratamientos diferentes: Grupo 90 (**G90**) consistió en la inclusión de nano partículas de óxido de zinc (**NP-Ozn**) con una dosis de 90 mg/kg más una inclusión de zeolita al 4 %; en el grupo control (**GC**) se administraron únicamente 120 gramos de alimento comercial sin suministro de NP-Ozn y zeolita.

3.3 Sistema de producción

Las gallinas fueron alojadas en un sistema de producción libre de jaula. Los grupos G90 y GC se subdividieron en cuatro grupos más pequeños, cada uno con 25 gallinas, con un total de 100 gallinas por grupo. Las medidas de cada corral fueron de 1.5 x 2 m, proporcionando un espacio de 1200 cm² por gallina. Se emplearon cuatro niales por repetición y se mantuvieron con un fotoperiodo de 16 h de luz y 8 h de oscuridad.

El experimento duro 20 semanas, del 22 de agosto del 2023 al 15 de enero 2024.

3.4 Variables

3.4.1 Consumo de alimento

Se llevaba a cabo la recolección diaria del sobrante alimenticio de las gallinas del día anterior antes de suministrar la siguiente ración, tanto en el GC como en el grupo de G90 junto con sus respectivas repeticiones. El sobrante se pesaba utilizando una báscula analítica, y los resultados se registraban en la bitácora. Con la finalidad de

determinar con precisión la cantidad de alimento consumido por las gallinas en relación con la totalidad del proporcionado; utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo g/ave/día: } \frac{\text{Total de alimento ofrecido (kg)} * 1000}{\text{Existencia inicial de ave}}$$

Donde:

Consumo g/ave/día: Esta es la cantidad de alimento que cada ave consume en un día.

Total de alimento ofrecido (kg): Es la cantidad total de alimento que se proporciona a las aves durante un día.

Existencia de aves iniciales (n): Cantidad inicial de aves al comienzo.

1000 (factor de escala): Se multiplica por 1000 para convertir el resultado de kilogramos a gramos.

3.4.2 Peso

Se realizaba un pesaje de las aves del G90 y GC cada ocho días, utilizando una báscula analítica. Se seleccionaban al azar cinco gallinas por cada repetición y se llevaba un registro (bitácora), con el fin de evaluar el peso en relación con la ingesta de alimento proporcionado a las aves. La conversión de alimento es una medida que ayuda a conocer cuántos kilogramos de alimento se necesita para producir un kilogramo de huevo en un solo día. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Conversión alimento (kg/kg): } \frac{\text{Total de alimento ofrecido(kg)}}{\text{Total de kg de huevo al día}}$$

Donde:

Total de alimento ofrecido (kg): Hace referencia a la cantidad total de alimento que se suministra a las aves en un tiempo determinado, generalmente en un día.

Total de kg de huevo al día: Es la cantidad total de huevos que produce las aves en un día.

Para calcular la conversión de comida en (kg/kg), solo tienes que dividir la cantidad total de comida que les das a las aves entre la cantidad total de kilogramos de huevo que producen en un día.

3.4.3 Porcentaje de producción de huevos

El huevo se recolectaba manualmente dos veces al día GC, G90 y sus repeticiones, se llevó un registro a diario, posteriormente se sumaban para obtener el porcentaje de postura. Para la obtención de la producción se utilizó la siguiente fórmula, nos permite comprender cuántos huevos produce en promedio, cada ave en una semana.

$$\% \text{ Postura (ave/sem)} = \left(\frac{\text{Total de huevos recolectados en una semana}}{\text{Total de aves iniciales}} \times 100 \right) / 7$$

Donde:

Total de huevos recolectados en una semana: Es la suma total de huevos recolectados durante los siete días.

Total de aves iniciales: Cantidad de aves al inicio de semana.

Porcentaje de producción por ave: Este valor indica qué porcentaje de la producción de huevos corresponde a cada ave. Se calcula dividiendo la cantidad total de huevos recolectados en la semana entre el número inicial de aves y multiplicándolo por 100 para obtener el porcentaje.

Producción por ave por semana: Este es el resultado final que muestra la cantidad promedio de huevos producidos por cada ave en una semana. Se obtiene al dividir el porcentaje de producción por ave entre 7 (días de la semana), ya que estamos calculando la producción semanal por ave.

3.4.4 Peso promedio del huevo

El peso del huevo se midió diariamente de la semana 20 hasta finalizar el experimento (semana 40), se determinó diariamente mediante el pesaje individual en una báscula analítica. Todos los resultados obtenidos fueron registrados, para llevar un control de datos.

3.5 Análisis estadísticos

El análisis de las diferencias de medias entre los grupos del estudio se realizó con el paquete estadístico SPSS 28.0 (IBM).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Consumo de alimento

El consumo de alimento se determinó diariamente a través del rechazo de este en los corrales. En las 20 semanas del estudio pudimos observar que el rechazo de alimento fue muy variable en cada uno de los grupos (cuadro 1), de manera general el rechazo de alimento siempre fue superior en el G90 aunque sólo en 5 semanas fue estadísticamente significativo.

Cuadro 1. Promedio semanal del rechazo de alimento evaluado durante la 20 a las 40 semanas de producción en un sistema libre de jaula (Promedio \pm DE)

Semana	G90 Media (DE)		GC Media (DE)	
20	465.4	\pm 249.3	366.4	\pm 201.0
21	403.9	\pm 93.2	562.5	\pm 219.0
22	1131.0	\pm 323.4	1142.4	\pm 543.2
23	803.9	\pm 283.2	714.8	\pm 241.1
24	962.5	\pm 269.9	645.4	\pm 322.9
25	1444.4	\pm 523.2	952.2	\pm 494.1
26	856.2	\pm 709.9	1791.6	\pm 3172.0
27	248.4	\pm 142.7	220.7	\pm 168.9
28	661.6	\pm 1334.4	134.4	\pm 57.1
29	226.7	\pm 82.4 ^a	90.9	\pm 74.0 ^b
30	109.7	\pm 31.2 ^a	35.6	\pm 29.4 ^b
31	78.5	\pm 37.0	105.7	\pm 52.6
32	293.5	\pm 239.4	198.3	\pm 329.6
33	21.6	\pm 10.5	52.6	\pm 56.0
34	164.1	\pm 127.6 ^a	309.4	\pm 83.4 ^b
35	247.3	\pm 235.7	259.9	\pm 186.9
36	194.2	\pm 81.0	188.6	\pm 222.5
37	280.2	\pm 220.4 ^a	63.6	\pm 58.4 ^b
38	955.9	\pm 1389.9	251.0	\pm 292.9
39	45.1	\pm 18.2 ^a	30.9	\pm 14.8 ^b
40	29.1	\pm 21.3 ^b	515.9	\pm 396.1 ^a

La presencia de literales diferentes (a, b) indica diferencia estadísticamente significativa $p < 0.05$.

Estos resultados (Cuadro 1), son contradictorios con los estudios de Abedini *et al.* (2018), que no observaron un aumento significativo en el rechazo de alimento con dosis más bajas de NP-ZnO (40 y 80 mg/kg). En estudios de Alsalmayy y

Mohammed (2022) la adición de zeolita natural al 2 % y vitamina E en dietas de gallinas ponedoras durante condiciones de clima cálido obtuvieron mejoras en los parámetros fisiológicos y productivos sin afectar negativamente el consumo de alimento. Sin embargo, la zeolita en combinación con otros suplementos puede ser beneficiosa para el rendimiento productivo bajo condiciones específicas. Sin embargo, la dosis de zeolita utilizada en nuestro estudio fue del 4 %, lo cual podría haber contribuido al mayor rechazo de alimento observado.

Nuestros resultados sugieren que una combinación de zeolita al 4 % y NP-ZnO a 90 mg/kg puede no ser ideal, mientras que a dosis más bajas podrían ser más efectivas para lograr un equilibrio adecuado entre productividad y el consumo de alimento.

4.2 Peso

Al inicio del experimento, cuando las aves tenían 20 semanas de vida, estadísticamente no se observaron diferencias significativas en el peso de las aves de los dos grupos experimentales, dicho comportamiento fue constante durante casi todas las semanas de la evaluación, a excepción de la semana 39 donde se observó una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos (cuadro 2).

Cuadro 2. Peso promedio semanal evaluado durante la 20 a las 40 semanas de producción en un sistema libre de jaula

Semana	G90		GC	
	Peso (g) ± DE		Peso (g) ± DE	
20	1501.6 ±	235.3	1506.5 ±	173.9
21	1516.7 ±	191.3	1596.2 ±	309.5
22	1594.8 ±	208.5	1589.2 ±	149.3
23	1535.7 ±	133.4	1554.4 ±	108.9
24	1658.1 ±	227.9	1599.4 ±	193.3
25	1602.8 ±	229.8	1577.2 ±	143.2
26	1576.3 ±	268.0	1541.5 ±	91.3
27	1610.1 ±	114.9	1614.0 ±	124.9
28	1705.3 ±	256.1	1668.8 ±	166.2
29	1602.9 ±	126.4	1722.7 ±	293.4
30	1684.6 ±	259.3	1604.8 ±	148.5
31	1635.0 ±	187.0	1721.1 ±	135.2
32	1678.0 ±	232.7	1723.9 ±	170.7
33	1759.2 ±	330.8	1696.1 ±	151.0
34	1826.7 ±	286.0	1683.3 ±	154.9
35	1758.3 ±	187.2	1746.2 ±	257.1
36	1763.5 ±	373.4	1693.9 ±	128.4
37	1738.3 ±	389.6	1815.3 ±	277.4
38	1978.2 ±	351.6	1914.3 ±	369.2
39	1954.7 ±	461.2 ^a	1682.2 ±	240.4 ^b
40	1748.6 ±	266.5	1708.3 ±	192.6

La presencia de literales diferentes (a, b) indica diferencia estadísticamente significativa $p < 0.05$.

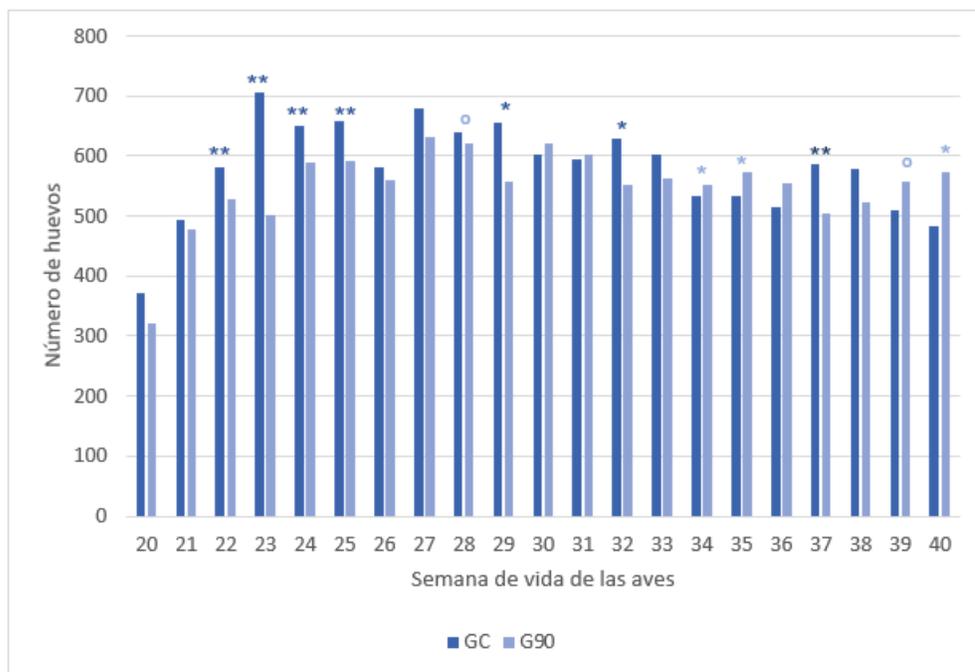
Estos resultados son contradictorios con los hallazgos de Hatab *et al.* (2022), quienes reportaron que la inclusión de ZnO-NPs a 60 mg/kg en la dieta de pollos de engorde mejoró significativamente su rendimiento productivo, probablemente debido a la mejora en la salud intestinal y la absorción de nutrientes. Mientras que similarmente, Fawaz *et al.* (2019) encontraron que la suplementación con ZnO-NPs a 50 mg/kg mejoró la ganancia de peso en gallinas ponedoras, lo que sugiere un efecto beneficioso de las nanopartículas en la eficiencia alimenticia.

Sin embargo, en este trabajo el peso promedio semanal no mostró diferencias significativas entre los grupos, a excepción de la semana 39. Esta variación pudo ser influenciada por varios factores. En primer lugar, las aves fueron pesadas al azar, lo que pudo introducir variabilidad en los datos y dificultar la detección de diferencias significativas. La variabilidad en los resultados también puede deberse

a diferencias en las condiciones experimentales, como el manejo de las aves, el tipo de alimentación, el ambiente y el sistema de producción libre de jaula, que puede afectar el comportamiento y rendimiento de las aves de manera distinta a los sistemas convencionales.

4.3 Producción de huevos

Se analizaron un total de 23,741 huevos recolectados durante las 20 semanas del experimento (semana 20 a la semana 40), de los cuales 11,555 fueron del **G90** y 12,186 huevos del **GC** esta diferencia en la producción total fue estadísticamente significativa ($p < 0.002$). Sin embargo, los resultados muestran que la producción de huevo en el **GC** fue mayor en 9 semanas en comparación con el **G90**. Mientras tanto en el **G90**, sólo en 2 semanas la producción fue estadísticamente mayor en comparación del grupo control ($p < 0.05$) (Figura 1).



La presencia de super índices indica diferencia estadísticamente significativa: ° $p = 0.60$, * $p < 0.05$ y ** $p < 0.001$

Figura 1. Producción de huevo evaluado desde la semana 20 hasta la semana 40 de vida de las aves

4.4 Porcentaje de producción de huevo

El porcentaje de producción (cuadro 3) fue mayor en las primeras 13 semanas en el **GC**, la producción fue mayor en 7 semanas en gallinas que recibieron tratamiento en **G90**. Se observa un mayor índice de porcentaje de postura en G90 ($p < 0.05$).

Cuadro 3: Porcentaje de postura evaluado desde la semana 20 hasta la semana 40 de producción

Semana	% Postura	% Postura
	G90	GC
20	45.7	53.0
21	68.3	70.6
22	75.4	83.0
23	71.7	100.9
24	84.3	93.0
25	84.6	94.0
26	80.1	83.0
27	90.1	97.1
28	88.6	91.4
29	79.7	93.6
30	88.7	86.1
31	86.1	84.9
32	78.7	89.9
33	80.3	86.1
34	78.9	76.0
35	81.9	76.1
36	79.1	73.7
37	72.1	83.7
38	74.7	82.7
39	79.6	72.9
40	82.0	69.1

La producción total promedio fue mayor en el grupo control, sin embargo, Abedini *et al.* (2018) reportaron mejoras en la producción de huevos con la suplementación de ZnO-NPs a 40 mg/kg, atribuyendo estos resultados a la mejora en la salud general y la eficiencia alimenticia de las gallinas. Hasan *et al.* (2022) encontraron resultados similares en gallinas locales iraquíes con la inclusión de ZnO-NPs a 60 mg/kg, destacando el efecto positivo de las ZnO-NPs en la producción de huevos.

Los resultados del cuadro 3, sugiere que las gallinas que recibieron el tratamiento con zeolita y ZnO-NPs pudieron haber tenido una mejor absorción de nutrientes y una mayor eficiencia en la producción de huevos en etapas posteriores del ciclo productivo, a partir de la semana 39. Vieira *et al.* (2023) reportaron que la zeolita al 3 % puede mejorar la absorción de nutrientes y estabilizar el ambiente intestinal, mientras que Alsalmay y Mohammed (2022) encontraron que la inclusión de ZnO-NPs a 50 mg/kg mejoró la función inmunológica y antioxidante de las gallinas.

4.5 Peso del Huevo

En el peso promedio del huevo (cuadro 4) de la semana 20 a la 40, no hubo diferencia significativa en los dos grupos experimentales. En la semana 40 el peso promedio fue de 59.2 g en el grupo G90 y 59.8 g en el grupo GC.

Durante el período del estudio, no se observaron diferencias significativas entre los dos grupos experimentales. Esto indica que la inclusión de zeolita y ZnO-NPs no tuvo un efecto negativo sobre el peso del huevo. Este hallazgo es consistente con lo reportado por Toraih *et al.* (2019), quienes encontraron que la suplementación con zeolita al 2% no afectó negativamente el peso de los huevos en gallinas ponedoras. Además, Abedini *et al.* (2018) y Hasan *et al.* (2022) también reportaron que la inclusión de ZnO-NPs a 40 y 60 mg/kg respectivamente no alteraron el peso del huevo, sugiriendo que estos aditivos no comprometen la calidad del huevo

Los resultados muestran que la inclusión de zeolita al 4% y ZnO-NPs a 90 mg/kg en la dieta de gallinas ponedoras puede tener efectos beneficiosos la producción de huevos en ciertas semanas del ciclo productivo. De acuerdo con estudios previos, parece que las concentraciones de ZnO-NPs utilizadas por otros autores (40-60 mg/kg) también resultaron en mejoras en la producción de huevos, aunque en algunos casos, las concentraciones más altas utilizadas en nuestro estudio no proporcionaron una ventaja adicional significativa. Esto indica que puede haber un punto ideal para la cantidad de ZnO-NPs, donde se obtienen los mayores beneficios sin generar efectos adversos adicionales. En cuanto al uso de zeolita, nuestro

estudio utilizó una concentración del 4 %, mientras que otros estudios usaron concentraciones menores (2-3%). A pesar de las diferentes concentraciones, los efectos positivos en la producción de huevos y la estabilización del ambiente intestinal fueron consistentes con nuestros hallazgos. Donde la zeolita puede ser eficaz a diferentes concentraciones, pero se necesitan más investigaciones para determinar la concentración óptima.

Cuadro 4. Peso promedio del huevo de gallinas de postura, de la 20 a la semana 40 en un sistema libre de jaula

Semana	G90 Media (DE)	GC Media (DE)
20	46.4 ± 7.2	45.6 ± 6.4
21	46.8 ± 5.6	47.6 ± 5.4
22	47.8 ± 5.0	47.9 ± 4.8
23	49.4 ± 5.0	49.5 ± 4.9
24	51.1 ± 5.5	50.8 ± 5.0
25	52.4 ± 5.4	52.6 ± 5.4
26	53.7 ± 5.6	54.0 ± 5.3
27	55.3 ± 5.6	55.1 ± 4.6
28	55.3 ± 5.2	55.7 ± 5.4
29	55.8 ± 5.2	56.6 ± 5.5
30	56.7 ± 5.3	56.7 ± 5.3
31	56.6 ± 5.3	56.3 ± 5.3
32	56.9 ± 4.8	57.4 ± 4.5
33	57.5 ± 5.1	57.7 ± 4.8
34	57.7 ± 5.0	57.8 ± 5.2
35	58.5 ± 4.8	58.3 ± 4.9
36	58.2 ± 4.5	58.4 ± 4.5
37	58.4 ± 5.5	58.5 ± 4.9
38	58.8 ± 5.5	58.5 ± 4.6
39	59.0 ± 5.1	58.4 ± 5.2
40	59.2 ± 4.9	59.8 ± 5.1

5. CONCLUSIÓN

En conclusión, la inclusión de zeolita al 4% y nanopartículas de óxido de zinc a 90 mg/kg en la dieta de gallinas ponedoras en un sistema libre de jaulas puede tener efectos benéficos en la producción de huevos en ciertas semanas del ciclo productivo, sin afectar negativamente el peso de los huevos. Estos resultados respaldan la idea de que estos aditivos pueden mejorar la eficiencia productiva de las gallinas, probablemente debido a sus efectos positivos sobre la salud intestinal y la absorción de nutrientes. No obstante, se recomienda realizar estudios adicionales para comprender y optimizar la concentración de estos aditivos en conjunto. Asimismo, para el pesaje de las aves durante todas las semanas de estudio, se recomienda utilizar las mismas gallinas en lugar de elegir las al azar.

6. LITERATURA CITADA

- 1 Abd El-Hack, M. E., El-Saadony, M. T., Elbestawy, A. R., Gado, A. R., Nader, M. M., Saad, A. M., El-Tahan, A. M., Taha, A. E., Salem, H. M., & El-Tarabily, K. A. (2022). Hot red pepper powder as a safe alternative to antibiotics in organic poultry feed: An updated review. *Poultry Science*, 101(4), 101684. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101684>
- 2 Abedini, M., Shariatmadari, F., Torshizi, M. A. K., & Ahmadi, H. (2018). Effects of Zinc Oxide Nanoparticles on Performance, Egg Quality, Tissue Zinc Content, Bone Parameters, and Antioxidative Status in Laying Hens. *Biological Trace Element Research*, 184(1), 259-267. <https://doi.org/10.1007/s12011-017-1180-2>
- 3 Abo Ghanima, M. M., Alagawany, M., Abd El-Hack, M. E., Taha, A., Elnesr, S. S., Ajarem, J., Allam, A. A., & Mahmoud, A. M. (2020). Consequences of various housing systems and dietary supplementation of thymol, carvacrol, and euganol on performance, egg quality, blood chemistry, and antioxidant parameters. *Poultry Science*, 99(9), 4384-4397. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.05.028>
- 4 Ahammed, M., Chae, B. J., Lohakare, J., Keohavong, B., Lee, M. H., Lee, S. J., Kim, D. M., Lee, J. Y., & Ohh, S. J. (2014). Comparison of Aviary, Barn and Conventional Cage Raising of Chickens on Laying Performance and Egg Quality. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27(8), 1196-1203. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13394>
- 5 Ali, A. B. A., Campbell, D. L. M., Karcher, D. M., & Siegford, J. M. (2016). Influence of genetic strain and access to litter on spatial distribution of 4 strains of laying hens in an aviary system. *Poultry Science*, 95(11), 2489-2502. <https://doi.org/10.3382/ps/pew236>

- 6 Ali, A., Ponnampalam, E. N., Pushpakumara, G., Cottrell, J. J., Suleria, H. A. R., & Dunshea, F. R. (2021). Cinnamon: A Natural Feed Additive for Poultry Health and Production—A Review. *Animals*, 11(7), 2026. <https://doi.org/10.3390/ani11072026>
- 7 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>
- 8 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>
- 9 Ambrozova, P., Kynicky, J., Urubek, T., & Nguyen, V. (2017). Synthesis and Modification of Clinoptilolite. *Molecules*, 22(7), 1107. <https://doi.org/10.3390/molecules22071107>
- 10 Anene, D. O., Akter, Y., Thomson, P. C., Groves, P., & O'Shea, C. J. (2023). Effect of restricted feeding on hen performance, egg quality and organ characteristics of individual laying hens. *Animal Nutrition*, 14, 141-151. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2023.05.001>
- 11 Applegate, T. J., Onyango, E. M., Angel, R., & Powers, W. J. (2009). Effect of amino acid formulation and dietary direct-fed microbial supplementation on egg production and egg characteristics in laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*, 18(3), 552-561. <https://doi.org/10.3382/japr.2009-00010>
- 12 Beltcheva, M., Metcheva, R., Topashka-Ancheva, M., Popov, N., Teodorova, S., Heredia-Rojas, J., Rodríguez-de la Fuente, A., & Rodríguez-Flores, L. (2015).

- Zeolites versus Lead Toxicity. *Journal of Bioequivalence & Bioavailability*, 07(01).
<https://doi.org/10.4172/jbb.1000209>
- 13 Bestman, M., Van Niekerk, T., Göransson, L., Ferrante, V., Gunnarsson, S., Grilli, G., Arndt, S. S., & Rodenburg, T. B. (2023a). Free-range use and intestinal parasites in organic/free-range laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*, 32(2), 100321. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2022.100321>
- 14 Bestman, M., Van Niekerk, T., Göransson, L., Ferrante, V., Gunnarsson, S., Grilli, G., Arndt, S. S., & Rodenburg, T. B. (2023b). Free-range use and intestinal parasites in organic/free-range laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*, 32(2), 100321. <https://doi.org/10.1016/j.japr.2022.100321>
- 15 Bonnefous, C., Collin, A., Guilloteau, L. A., Guesdon, V., Filliat, C., Réhault-Godbert, S., Rodenburg, T. B., Tuytens, F. A. M., Warin, L., Steinfeldt, S., Baldinger, L., Re, M., Ponzio, R., Zuliani, A., Venezia, P., Väre, M., Parrott, P., Walley, K., Niemi, J. K., & Leterrier, C. (2022). Welfare issues and potential solutions for laying hens in free range and organic production systems: A review based on literature and interviews. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 952922. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.952922>
- 16 Byrne, L., & Murphy, R. A. (2022). Relative Bioavailability of Trace Minerals in Production Animal Nutrition: A Review. *Animals*, 12(15), 1981. <https://doi.org/10.3390/ani12151981>
- 17 Caisin, L., & Cara, A. (2023). Performance of laying hens fed diets incorporated with feather-based feed additive. *Journal of Biometry Studies*, 3(2), 27-31. <https://doi.org/10.61326/jofbs.v3i2.01>

- 18 Carvalho, C. L., Andretta, I., Galli, G. M., Bastos Stefanello, T., Camargo, N. D. O. T., Mendes, R. E., Pelisser, G., Balamuralikrishnan, B., Melchior, R., & Kipper, M. (2023). Dietary supplementation with β -mannanase and probiotics as a strategy to improve laying hen performance and egg quality. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1229485. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1229485>
- 19 Classen, H. L. (2017). Diet energy and feed intake in chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 233, 13-21. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.03.004>
- 20 Collazos, G. H. (2010). La aplicación de Zeolita en la producción avícola: Revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 1(1), 17. <https://doi.org/10.22490/21456453.904>
- 21 Cornescu, G. M., Criste, R. D., Untea, A. E., Panaite, T. D., & Olteanu, M. (2013). SUPPLEMENTATION OF MANGANESE AND ZINC IN LAYING HENS DIET IMPROVES EGG SHELL QUALITY. 60.
- 22 Coton, J., Guinebretière, M., Guesdon, V., Chiron, G., Mindus, C., Laravoire, A., Pauthier, G., Balaine, L., Descamps, M., Bignon, L., Huneau-Salaün, A., & Michel, V. (2019). Feather pecking in laying hens housed in free-range or furnished-cage systems on French farms. *British Poultry Science*, 60(6), 617-627. <https://doi.org/10.1080/00071668.2019.1639137>
- 23 Cufadar, Y., Göçmen, R., Kanbur, G., & Yıldırım, B. (2020). Effects of Dietary Different Levels of Nano, Organic and Inorganic Zinc Sources on Performance, Eggshell Quality, Bone Mechanical Parameters and Mineral Contents of the Tibia, Liver, Serum and Excreta in Laying Hens. *Biological Trace Element Research*, 193(1), 241-251. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01698-3>

- 24 De Lima, R. C. F., Oliveira, D. D. S., & Pergher, S. B. C. (2021). Interzeolitic Transformation of Clinoptilolite into GIS and LTA Zeolite. *Minerals*, 11(12), 1313. <https://doi.org/10.3390/min11121313>
- 25 Denli, M., Bukun, B., & Tutkun, M. (2016). COMPARATIVE PERFORMANCE AND EGG QUALITY OF LAYING HENS IN ENRICHED CAGES AND FREE-RANGE SYSTEMS. *Scientific Papers. Series D. Animal Science.*, LIX, 29-32.
- 26 Dumontier, L., Janczak, A. M., Smulders, T. V., & Nordgreen, J. (2023). Effects of the rearing environment complexity on laying hens' spatial cognition: A holeboard test approach. *Applied Animal Behaviour Science*, 260, 105878. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.105878>
- 27 ElKatcha, M., Soltan, M., & Elbadry, M. (2017). Effect of Dietary Replacement of Inorganic Zinc by Organic or Nanoparticles Sources on Growth Performance, Immune Response and Intestinal Histopathology of Broiler Chicken. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*, 55(2), 129. <https://doi.org/10.5455/ajvs.266925>
- 28 Elliott, C. T., Connolly, L., & Kolawole, O. (2020). Potential adverse effects on animal health and performance caused by the addition of mineral adsorbents to feeds to reduce mycotoxin exposure. *Mycotoxin Research*, 36(1), 115-126. <https://doi.org/10.1007/s12550-019-00375-7>
- 29 Emam, K. (2019). Effect of zeolite supplementation on productive performance and blood constituents of broiler chickens under drinking saline well water conditions. *Egyptian Poultry Science Journal*, 39(1), 117-132. <https://doi.org/10.21608/epsj.2019.28829>
- 30 Eskandani, M., Janmohammadi, H., Mirghelenj, S. A., Ebrahimi, M., & Kalanaky, S. (2021). Effects of zinc nanoparticles on growth performance, carcass

- characteristics, immunity, and meat quality of broiler chickens. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 11(1), 135-146.
- 31 España-Castillo, V., García, M. X., & Burgos-Arcos, A. (2019). SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE AVES DE POSTURA EN PASTOREO LIBRE: VIABILIDAD FINANCIERA E IMPACTO AMBIENTAL. *Revista Investigación Pecuaria*, 6(1), 83-23. <https://doi.org/10.22267/revip.1961.14>
- 32 Fanta, F. T., Dubale, A. A., Bebizuh, D. F., & Atlabachew, M. (2019). Copper doped zeolite composite for antimicrobial activity and heavy metal removal from waste water. *BMC Chemistry*, 13(1), 44. <https://doi.org/10.1186/s13065-019-0563-1>
- 33 FAOSTAT. (2022). <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
- 34 Farias, M. R. S. D., Bastos-Leite, S. C., Moura, C. P., Costa, A. C., Abreu, C. G. D., & Sena, T. L. D. (2019). Organic minerals with different chemical characteristics in diets for Hy-Line White laying hens: Performance, biometry of digestive organs, and bone quality. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 48, e20170329. <https://doi.org/10.1590/rbz4820170329>
- 35 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>
- 36 Fernyhough, M., Nicol, C. J., Van De Braak, T., Toscano, M. J., & Tønnessen, M. (2020). The Ethics of Laying Hen Genetics. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 33(1), 15-36. <https://doi.org/10.1007/s10806-019-09810-2>

- 37 Figueiredo Júnior, J. P., Costa, F. G. P., Givisiez, P. E. N., Lima, M. R., Silva, J. H. V., Figueiredo-Lima, D. F., Saraiva, E. P., & Santana, M. H. M. (2013). Substituição de minerais inorgânicos por orgânicos na alimentação de poedeiras semipesadas. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 65(2), 513-518. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352013000200030>
- 38 Gavril, R., & Usturoi, M. G. (2012). EFFECT OF STORAGE TIME AND TEMPERATURE ON HEN EGG QUALITY. *University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Iasi, Romania*, 57.
- 39 Geng, A. L., Zhang, Y., Zhang, J., Wang, H. H., Chu, Q., Yan, Z. X., & Liu, H. G. (2023). Lighting pattern and photoperiod affect the range use and feather cover of native laying hens under free range condition. *Poultry Science*, 102(1), 102264. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102264>
- 40 Ghasemi, H. A., Hajkhodadadi, I., Hafizi, M., Fakharzadeh, S., Abbasi, M., Kalanaky, S., & Nazaran, M. H. (2022). Effect of advanced chelate compounds-based mineral supplement in laying hen diet on the performance, egg quality, yolk mineral content, fatty acid composition, and oxidative status. *Food Chemistry*, 366, 130636. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130636>
- 41 Gilani, A., Kermanshahi, H., Golian, A., & Seifi, S. (2016). Appraisal of the impact of aluminosilicate use on the health and performance of poultry. *TURKISH JOURNAL OF VETERINARY AND ANIMAL SCIENCES*, 40, 255-262. <https://doi.org/10.3906/vet-1501-103>
- 42 Gilani, A.-M., Knowles, T. G., & Nicol, C. J. (2013). The effect of rearing environment on feather pecking in young and adult laying hens. *Applied Animal*

Behaviour Science, 148(1-2), 54-63.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.07.014>

- 43 Goff, J. P. (2018). Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid–base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *Journal of Dairy Science*, 101(4), 2763-2813.
<https://doi.org/10.3168/jds.2017-13112>
- 44 Golden, J. B., Arbona, D. V., & Anderson, K. E. (2012). A comparative examination of rearing parameters and layer production performance for brown egg-type pullets grown for either free-range or cage production. *Journal of Applied Poultry Research*, 21(1), 95-102. <https://doi.org/10.3382/japr.2011-00370>
- 45 González, N. K. P., Guzmán, D. D., Ramírez, M. V., García, F. L., Urbiola, E. A. C., Villanueva, L. E. T., & Cardona, M. R. (2024). Interzeolite conversion of a clinoptilolite-rich natural zeolite into merlinoite. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, S0366317524000062.
<https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2024.04.001>
- 46 Göransson, L., Abeyesinghe, S., Gunnarsson, S., & Yngvesson, J. (2023). Easier said than done! Organic farmers consider free-ranging important for laying hen welfare but outdoor areas need more shelter – important gaps between research and practice. *British Poultry Science*, 64(5), 544-551.
<https://doi.org/10.1080/00071668.2023.2220650>
- 47 Gradzki, Z., Jarosz, L., Stepień-Pyśniak, D., & Marek, A. (2020). The effect of feed supplementation with Transcarpathian zeolite (clinoptilolite) on the concentrations of acute phase proteins and cytokines in the serum and hepatic

- tissue of chickens. *Poultry Science*, 99(5), 2424-2437.
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.01.003>
- 48 Hasan, S. Q., Ezzat, H. N., & Razuki, W. M. (2022). Effect of Dietary Nano-Zinc Oxide on Performance and Egg Quality of Iraqi Local Chickens. *Indian Journal of Ecology*, 49(20), 338-344.
- 49 Hatab, M. H., E. R., Saleh, H. M., El-Sayed, E.-S. R., & A.M, A. T. (2022). Effects of Dietary Supplementation of Zinc Oxide Nanoparticles on Productive Performance, Physiological, Histological Changes and Tissues Zn Concentration in Broiler Chicks. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1523659/v1>
- 50 Hcini, E., Ben Slima, A., Kallel, I., Zormati, S., Traore, A. I., & Gdoura, R. (2018). Does supplemental zeolite (clinoptilolite) affect growth performance, meat texture, oxidative stress and production of polyunsaturated fatty acid of Turkey poults? *Lipids in Health and Disease*, 17(1), 177. <https://doi.org/10.1186/s12944-018-0820-7>
- 51 He, W., Li, P., & Wu, G. (2021). Amino Acid Nutrition and Metabolism in Chickens. En G. Wu (Ed.), *Amino Acids in Nutrition and Health* (Vol. 1285, pp. 109-131). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-54462-1_7
- 52 Heerkens, J. L. T., Delezie, E., Kempen, I., Zoons, J., Ampe, B., Rodenburg, T. B., & Tuytens, F. A. M. (2015). Specific characteristics of the aviary housing system affect plumage condition, mortality and production in laying hens. *Poultry Science*, 94(9), 2008-2017. <https://doi.org/10.3382/ps/pev187>
- 53 Herrerol, C. M. C. (1996). Consideraciones nutricionales en la formulacion y alimentacion de gallinas para postura aplicadas a la explotacion de huevos en

- Centro America. Centro de Investigaciones en Nutrición Animal, Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica, 51-55.
- 54 Hidalgo, A., Rossi, M., Clerici, F., & Ratti, S. (2008). A market study on the quality characteristics of eggs from different housing systems. *Food Chemistry*, 106(3), 1031-1038. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.019>
- 55 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>
- 56 Idowu, O. M. O., Ajuwon, R. O., Oso, A. O., & Akinloye, O. A. (2011). Effects of Zinc Supplementation on Laying Performance, Serum Chemistry and Zn Residue in Tibia Bone, Liver, Excreta and Egg Shell of Laying Hens. *International Journal of Poultry Science*, 10(3), 225-230. <https://doi.org/10.3923/ijps.2011.225.230>
- 57 Jarosz, Ł., Stępień-Pyśniak, D., Grądzki, Z., Kapica, M., & Gacek, A. (2017). The effect of feed supplementation with Zakarpacki zeolite (clinoptilolite) on percentages of T and B lymphocytes and cytokine concentrations in poultry. *Poultry Science*, 96(7), 2091-2097. <https://doi.org/10.3382/ps/pex030>
- 58 Johny, A., Guggisberg, D., Toscano, M. J., & Stratmann, A. (2023). This is the way: The effect of artificial cues on early life ramp use behaviour of laying hen chicks. *Applied Animal Behaviour Science*, 260, 105873. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.105873>
- 59 Jones, M. K. (2018). Feed additives: Assessing the next step towards an antibiotic-free commercial poultry industry.

- 60 Khachlouf, K., Hamed, H., Gdoura, R., & Gargouri, A. (2018). Effects of Zeolite Supplementation on Dairy Cow Production and Ruminant Parameters – A Review. *Annals of Animal Science*, 18(4), 857-877. <https://doi.org/10.2478/aoas-2018-0025>
- 61 Khumput, S., Muangchum, S., Yodprom, S., Panyasak, A., & Thiengtham, J. (2019). Feather Pecking of Laying Hens in Different Stocking Density and Type of Cage. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 9(3), 549-556.
- 62 Król, M. (2020). Natural vs. Synthetic Zeolites. *Crystales*, 10(622). <https://doi.org/Doi.org/10.3390/cryst10070622>
- 63 Lamprecht, M., Bogner, S., Steinbauer, K., Schuetz, B., Greilberger, J. F., Leber, B., Wagner, B., Zinser, E., Petek, T., Wallner-Liebmann, S., Oberwinkler, T., Bachl, N., & Schippinger, G. (2015). Effects of zeolite supplementation on parameters of intestinal barrier integrity, inflammation, redoxbiology and performance in aerobically trained subjects. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 12(1), 40. <https://doi.org/10.1186/s12970-015-0101-z>
- 64 Lay, D. C., Fulton, R. M., Hester, P. Y., Karcher, D. M., Kjaer, J. B., Mench, J. A., Mullens, B. A., Newberry, R. C., Nicol, C. J., O'Sullivan, N. P., & Porter, R. E. (2011). Hen welfare in different housing systems. *Poultry Science*, 90(1), 278-294. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00962>
- 65 Leeson, S., & Summers, J. D. (2012). *Commercial Poultry Nutrition Third Edition (3.a ed.)*. Nottingham University Press. <https://doi.org/10.7313/UPO9781904761099>

- 66 Leke, J. R., Sompie, F. N., Wantasen, E., & Tallei, T. E. (2018). Nutritional Characteristics and Quality of Eggs from Laying Hens Fed on Papaya Peel Meal Diet. *Animal Production.*, 32.
- 67 Li, L. L., Gong, Y. J., Zhan, H. Q., Zheng, Y. X., & Zou, X. T. (2019). Effects of dietary Zn-methionine supplementation on the laying performance, egg quality, antioxidant capacity, and serum parameters of laying hens. *Poultry Science*, 98(2), 923-931. <https://doi.org/10.3382/ps/pey440>
- 68 López, C. C. (2013). Nutrición de minerales traza orgánicos en pollos de engorde y reproductoras. Paper presented at: Scientific Congress of Poultry, WPSA-AECA Symposium.
- 69 Maciel, M. P., Saraiva, E. P., Aguiar, É. D. F., Ribeiro, P. A. P., Passos, D. P., & Silva, J. B. (2010). Effect of using organic microminerals on performance and external quality of eggs of commercial laying hens at the end of laying. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(2), 344-348. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000200017>
- 70 Makinde, T. O., & Adewole, D. I. (2022). Can feed additives be used to promote positive behaviour in laying hens? A review. *World's Poultry Science Journal*, 78(1), 21-40. <https://doi.org/10.1080/00439339.2022.2003171>
- 71 Manangi, M. K., Vazques-Añon, M., Richards, J. D., Carter, S., & Knight, C. D. (2015). The impact of feeding supplemental chelated trace minerals on shell quality, tibia breaking strength, and immune response in laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*, 24(3), 316-326. <https://doi.org/10.3382/japr/pfv029>
- 72 Martyshuk, T. V., Gutyj, B. V., & Khalak, V. I. (2021). System of antioxidant protection of the body of piglets under the action of feed additive "Butaselmevit-

- plus". *Ukrainian Journal of Veterinary and Agricultural Sciences*, 4(2), 38-43.
<https://doi.org/10.32718/ujvas4-2.07>
- 73 Mastinu, A., Kumar, A., Maccarinelli, G., & Bonini, S. A. (2019). AZenoAclinetnceiteCMnlitinMnoepirntaiellroallite: Therapeutic Virtues of an.
- 74 Milton L, S. (1965). Requerimiento de nutrientes para gallinas ponedoras. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*.
- 75 Moreano, J. S. I., Aquino, E. E. T., Flores, K. A. M., & Martinez, D. A. (2023). Effect of nutrient density on performance and egg quality of laying hens at high altitude. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3303993/v1>
- 76 Muaz, K., Riaz, M., Akhtar, S., Park, S., & Ismail, A. (2018). Antibiotic Residues in Chicken Meat: Global Prevalence, Threats, and Decontamination Strategies: A Review. *Journal of Food Protection*, 81(4), 619-627.
<https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-17-086>
- 77 National Research Council U.S. (Ed.). (1994). *Nutrient requirements of poultry* (9th rev. ed). National Academy Press.
- 78 Neidrauer, M., Ercan, U. K., Bhattacharyya, A., Samuels, J., Sedlak, J., Trikha, R., Barbee, K. A., Weingarten, M. S., & Joshi, S. G. (2014). Antimicrobial efficacy and wound-healing property of a topical ointment containing nitric-oxide-loaded zeolites. *Journal of Medical Microbiology*, 63(2), 203-209.
<https://doi.org/10.1099/jmm.0.067322-0>
- 79 Nielsen, S. S., Alvarez, J., Bicout, D. J., Calistri, P., Canali, E., Drewe, J. A., Garin-Bastuji, B., Gonzales Rojas, J. L., Gortázar Schmidt, C., Herskin, M., Miranda Chueca, M. Á., Padalino, B., Pasquali, P., Roberts, H. C., Spooler, H., Stahl, K., Velarde, A., Viltrop, A., Winckler, C., ... EFSA Panel on Animal Health

- and Animal Welfare (AHAW). (2023). Welfare of laying hens on farm. *EFSA Journal*, 21(2). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7789>
- 80 Olgun, O., Gül, E. T., Kılınç, G., Gökmen, F., Yıldız, A., Uygur, V., & Sarmiento-García, A. (2024). Comparative Effects of Including Inorganic, Organic, and Hydroxy Zinc Sources on Growth Development, Egg Quality, Mineral Excretion, and Bone Health of Laying Quails. *Biological Trace Element Research*. <https://doi.org/10.1007/s12011-024-04137-0>
- 81 Olgun, O., & Yildiz, A. Ö. (2017). Effects of dietary supplementation of inorganic, organic or nano zinc forms on performance, eggshell quality, and bone characteristics in laying hens. *Annals of Animal Science*, 17(2), 463-476. <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0055>
- 82 Ovchinnikov, A. A., Matrosova, Yu. V., Bryukhanov, D. S., & Mokin, S. V. (2023). Comparative use efficiency of the same type feed additives in the diet of replacement stock and laying hens of the parent herd. *E3S Web of Conferences*, 395, 03003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339503003>
- 83 Palanisamy, V., Pc, S., Pineda, L., & Han, Y. (2023). Effect of supplementing hydroxy trace minerals (Cu, Zn, and Mn) on egg quality and performance of laying hens under tropical conditions. *Animal Bioscience*, 36(11), 1709-1717. <https://doi.org/10.5713/ab.22.0416>
- 84 Papaioannou, D., Katsoulos, P. D., Panousis, N., & Karatzias, H. (2005). The role of natural and synthetic zeolites as feed additives on the prevention and/or the treatment of certain farm animal diseases: A review. *Microporous and Mesoporous Materials*, 84(1-3), 161-170. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2005.05.030>

- 85 Pardue, S. L., Thaxton, J. P., & Brake, J. (1985). Influence of Supplemental Ascorbic Acid on Broiler Performance Following Exposure to High Environmental Temperature^{1,2}. *Poultry Science*, 64(7), 1334-1338. <https://doi.org/10.3382/ps.0641334>
- 86 Perić, L., Đukić Stojčić, M., & Bjedov, S. (2016). Effect of Production Systems on Quality and Chemical Composition of Table Eggs. *Contemporary Agriculture*, 65(3-4), 27-31. <https://doi.org/10.1515/contagri-2016-0014>
- 87 Pires, P. G. D. S., Bavaresco, C., Prato, B. S., Wirth, M. L., & Moraes, P. D. O. (2021). The relationship between egg quality and hen housing systems—A systematic review. *Livestock Science*, 250, 104597. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104597>
- 88 Pratama, A. R., & Sugiharto, S. (2023). Effect of Novel Feed Additive on Egg Production and Blood Parameters of Hens during Post-Peak Production. *Jurnal Agripet*, 23(2), 182-186. <https://doi.org/10.17969/agripet.v23i2.26594>
- 89 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>
- 90 Ramos-Vidales, D., Gómez-Verduzco, G., Cortes-Cuevas, A., Del Río-García, J. C., Fernández-Tinoco, S., Chárraga-Aguilar, S., & Ávila-González, E. (2019). Organic trace minerals on productive performance, egg quality and immune response in Bovans White laying hens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 103(5), 1484-1491. <https://doi.org/10.1111/jpn.13156>

- 91 Rana, M. S., Lee, C., Lea, J. M., & Campbell, D. L. M. (2022). Commercial Free-Range Laying Hens' Preferences for Shelters with Different Sunlight Filtering Percentages. *Animals*, 12(3), 344. <https://doi.org/10.3390/ani12030344>
- 92 Ravindran, V. (2013). Poultry feed availability and nutrition in developing countries. *Poultry Development Review*, 2(11), 60-63.
- 93 Rizzi, C. (2023). A Study on Egg Production and Quality According to the Age of Four Italian Chicken Dual-Purpose Purebred Hens Reared Outdoors. *Animals*, 13(19), 3064. <https://doi.org/10.3390/ani13193064>
- 94 Rizzi, C., & Chiericato, G. M. (2010). Chemical composition of meat and egg yolk of hybrid and Italian breed hens reared using an organic production system. *Poultry Science*, 89(6), 1239-1251. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00045>
- 95 Rizzi, C., & Marangon, A. (2012). Quality of organic eggs of hybrid and Italian breed hens. *Poultry Science*, 91(9), 2330-2340. <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01966>
- 96 Rodriguez-Aurrekoetxea, A., & Estevez, I. (2016). Use of space and its impact on the welfare of laying hens in a commercial free-range system. *Poultry Science*, 95(11), 2503-2513. <https://doi.org/10.3382/ps/pew238>
- 97 Rondoni, A., Asioli, D., & Millan, E. (2020). Consumer behaviour, perceptions, and preferences towards eggs: A review of the literature and discussion of industry implications. *Trends in Food Science & Technology*, 106, 391-401. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.038>
- 98 Salamakha, I. Y., & Hordiichuk, L. M. (2022). Use of zeolite for the elimination of heavy metals from chicken eggs. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary*

- Medicine and Biotechnologies, 24(97), 123-127. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-a9721>
- 99 Saleh, A. A., Zaki, A., El- Awady, A., Amber, K., Badwi, N., Eid, Y., & Ebeid, T. A. (2020). The effect of substituting wheat bran with cumin seed meal on laying performance, egg quality characteristics and fatty acid profile in laying hens. *Veterinarski Arhiv*, 90(1), 47-56. <https://doi.org/10.24099/vet.arhiv.0500>
- 100 Sánchez, M. P., Villegas, K., N, I., & Ndez, R. (2023). Identification of reference genes for expression studies in the liver, and spleen of laying hens housed in cage and cage-free systems. *Open Veterinary Journal*, 13(3), 270. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2023.v13.i3.3>
- 101 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>
- 102 Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. (2010). Scientific basis for the definition of the term “nanomaterial”. European Commission. <https://data.europa.eu/doi/10.2772/39703>
- 103 Servatan, M., Zarrintaj, P., Mahmodi, G., Kim, S.-J., Ganjali, M. R., Saeb, M. R., & Mozafari, M. (2020). Zeolites in drug delivery: Progress, challenges and opportunities. *Drug Discovery Today*, 25(4), 642-656. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2020.02.005>
- 104 Siddiqi, K. S., Ur Rahman, A., Tajuddin, & Husen, A. (2018). Properties of Zinc Oxide Nanoparticles and Their Activity Against Microbes. *Nanoscale Research Letters*, 13(1), 141. <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2532-3>

- 105 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>
- 106 Sugiharto, S., Pratama, A. R., Yudiarti, T., & Ayasan, T. (2021). Effect of novel natural feed additive containing *Averrhoa bilimbi* L. fruit filtrate, wheat bran, and *Saccharomyces cerevisiae* on growth performance and meat characteristics of broilers. *Veterinary World*, 3007-3014. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.3007-3014>
- 107 Swain, P. S., Rao, S. B. N., Rajendran, D., Dominic, G., & Selvaraju, S. (2016). Nano zinc, an alternative to conventional zinc as animal feed supplement: A review. *Animal Nutrition*, 2(3), 134-141. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2016.06.003>
- 108 Tang, Z. G., Wen, C., Wang, L. C., Wang, T., & Zhou, Y. M. (2014). Effects of zinc-bearing clinoptilolite on growth performance, cecal microflora and intestinal mucosal function of broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*, 189, 98-106. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.12.014>
- 109 Tánori-Lozano, A., Montalvo-Corral, M., Pinelli-Saavedra, A., Valenzuela-Melendres, M., Libertad, G., Dávila-Ramírez, J. L., & González-Ríos, H. (2023). Dietary inclusion of clinoptilolite as a feed additive in ruminants production. *Biotechnia*, 25(1). <https://doi.org/Doi.org/10.18633/biotechnia.v25i1.1759>
- 110 Tomaszewska, E., Dobrowolski, P., Kwiecień, M., Wawrzyniak, A., & Burmańczuk, N. (2016). 15. Comparison of the Effect of a Standard Inclusion Level of Inorganic Zinc to Organic Form at Lowered Level on Bone Development

- in Growing Male Ross Broiler Chickens. *Annals of Animal Science*, 16(2), 507-519. <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0087>
- 111 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>
- 112 Utiah, W., Paputungan, U., & Tangkau, L. M. S. (2021). Analisis faktor konsentrat pakan komersil berbeda terhadap sifat-sifat produksi ayam ras petelur. *ZOOTEC*, 41(2), 525. <https://doi.org/10.35792/zot.41.2.2021.36928>
- 113 Valpotić, H., Gračner, D., Turk, R., Đuričić, D., Vince, S., Folnožić, I., Lojkić, M., Žaja, I. Ž., Bedrica, L., Maćešić, N., Getz, I., Dobranić, T., & Samardžija, M. (2017). Zeolite clinoptilolite nanoporous feed additive for animals of veterinary importance: Potentials and limitations. 119(3), 159-172. <https://doi.org/DOI:10.18054/pb.v119i3.5434>
- 114 Van, T. T. H., Yidana, Z., Smooker, P. M., & Coloe, P. J. (2020). Antibiotic use in food animals worldwide, with a focus on Africa: Pluses and minuses. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, 20, 170-177. <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2019.07.031>
- 115 Vasdal, G., Marchewka, J., Newberry, R. C., Estevez, I., & Kittelsen, K. (2022). Developing a novel welfare assessment tool for loose-housed laying hens – the Aviary Transect method. *Poultry Science*, 101(1), 101533. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101533>

- 116 Vieira, R., Ludke, M., Ludke, J., Lopes, C., Oliveira, E., Santos, A., Coldebella, A., & Rabello, C. (2023). Effect of Dietary Zeolite Supplementation on Production, Egg Quality, Ammonia Volatilization, Organ Morphometry and Blood Parameters in Brown Laying Hens. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 25(4), eRBCA-2023-1797. <https://doi.org/10.1590/1806-9061-2023-1797>
- 117 Villanueva, S. O., Carrillo-Domínguez, S., Chavira-Ramírez, R., Martínez-Marcial, M., Miranda-de-la-Lama, G., & ÁvilaGonzález, E. (2020). Evaluación del bienestar animal de gallinas ponedoras Bovans White alojadas en piso. *Abanico Veterinario*, 10(1). <https://doi.org/10.21929/abavet2020.5>
- 118 Vossenaar, M., Solomons, N. W., Muslimatun, S., Faber, M., García, O. P., Monterrosa, E., Van Zutphen, K. G., & Kraemer, K. (2021). Nutrient Density as a Dimension of Dietary Quality: Findings of the Nutrient Density Approach in a Multi-Center Evaluation. *Nutrients*, 13(11), 4016. <https://doi.org/10.3390/nu13114016>
- 119 Wang, X. L., Zheng, J. X., Ning, Z. H., Qu, L. J., Xu, G. Y., & Yang, N. (2009). Laying performance and egg quality of blue-shelled layers as affected by different housing systems. *Poultry Science*, 88(7), 1485-1492. <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00417>
- 120 Yang, K., Hu, S., Mu, R., Qing, Y., Xie, L., Zhou, L., Ajuwon, K. M., & Fang, R. (2021). Effects of Different Patterns and Sources of Trace Elements on Laying Performance, Tissue Mineral Deposition, and Fecal Excretion in Laying Hens. *Animals*, 11(4), 1164. <https://doi.org/10.3390/ani11041164>
- 121 Yilmaz Dikmen, B., İpek, A., Şahan, Ü., Petek, M., & Sözcü, A. (2016). Egg production and welfare of laying hens kept in different housing systems

- (conventional, enriched cage, and free range). *Poultry Science*, 95(7), 1564-1572. <https://doi.org/10.3382/ps/pew082>
- 122 Yu, Q., Liu, H., Yang, K., Tang, X., Chen, S., Ajuwon, K. M., Degen, A., & Fang, R. (2020). Effect of the 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(11), 6233-6238. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.06.029>
- 123 Zhao, C.-Y., Tan, S.-X., Xiao, X.-Y., Qiu, X.-S., Pan, J.-Q., & Tang, Z.-X. (2014). Effects of dietary zinc oxide nanoparticles on growth performance and antioxidative status in broilers. *Biological Trace Element Research*, 160(3), 361-367. <https://doi.org/10.1007/s12011-014-0052-2>
- 124 Zlatica, P., Zdenka, Š., & Miloš, L. (2011). Free systems of rearing of chickens and layer hens: Quality of meat and eggs. *Tehnologija Mesa*.