



BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

**"Evaluación de la eficacia de la suplementación con 25-hidroxivitamina D3
para reducir la necrosis de cabeza femoral en pollos"**

SEPTIEMBRE DEL 2025

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
MEDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA**

PRESENTA:

CARLOS ALBERTO VELÁZQUEZ ROMÁN

DIRECTOR DE TESIS

MTRO. JUAN ANTONIO JUÁREZ CORTEZ

DR. FERNANDO UTRERA QUINTANA

COORDIRECTOR DE TESIS

MVZ.EPA. SALVADOR VELÁZQUEZ CANO

ASESOR DE TESIS

MC. BRISEIDA LUCIA CASTRO BAUTISTA

Contenido

Resumen	3
Abstract.....	4
1.1 Introducción	5
1.2 Justificación	7
1.3 Planteamiento del problema	9
1.4 Pregunta de investigación	12
1.5 Objetivo general:	12
1.5.1 Objetivos específicos:	12
1.6 Hipótesis	13
Marco Teórico.....	14
2.1 Necrosis de la cabeza del fémur en pollos de engorde	16
2.2 Factores causales	18
2.3 Manejo inadecuado en la incubadora	21
Impacto en la productividad y bienestar animal.....	22
2.5 Prevención y tratamiento	24
3.1 Localización.....	30
3.2 Material genético	31
3.2 Establecimiento del experimento	32
Sistemas de calefacción	34
3.7 Tratamientos.....	37
3.8 Variables respuesta	38
3.8.1 Estudios Anatomopatológicos	38
3.8.3 Estudios Productivos	40
Resultados.....	41
Conclusión	47
Referencias:	48

Resumen

En la situación de campo en la Ciudad de Cordoba, Veracruz, se abordó una problemática de relevancia global en la producción avícola: los trastornos locomotores, específicamente la necrosis de la cabeza del fémur (NHF), tanto en su presentación unilateral como bilateral. Este trastorno es una de las principales causas de pérdidas económicas y compromete gravemente el bienestar animal. Para enfrentar esta condición, se evaluó el efecto de la suplementación con 25-hidroxitamina D3 (25OHD3) como estrategia nutricional para mejorar la salud ósea y mitigar la incidencia de NHF.

El diseño experimental consistió en dos grupos: un grupo control sin suplementación y un grupo experimental al que se adicionó 25OHD3. Ambos grupos fueron evaluados bajo condiciones de campo reales, realizando tres repeticiones en diferentes ciclos productivos. Se estableció como fase crítica de intervención el periodo comprendido desde la recepción de los pollitos hasta el día 7 de vida, etapa clave para la mineralización ósea inicial.

La evaluación se llevó a cabo mediante análisis patológicos, inmunológicos y económicos, considerando que la etiología principal de esta condición podría tener origen en factores previos, como el manejo durante la incubación. A pesar de esta complejidad, los resultados obtenidos evidenciaron cambios significativos en la reducción de lesiones óseas, mejoras en la respuesta inmunitaria, y de forma destacada, un impacto positivo en parámetros productivos clave como el peso final y la conversión alimenticia, lo que refuerza el valor de esta intervención desde el punto de vista zootécnico y económico.

Palabras claves: Pollo de engorde, Necrosis de cabeza del fémur, Trastornos locomotores

Abstract

This study addressed a globally significant issue in broiler production: locomotor disorders, with a particular focus on unilateral and bilateral femoral head necrosis (FHN). This condition not only compromises animal welfare but also leads to substantial economic losses due to decreased performance and increased mortality. As a mitigation strategy, the potential benefits of dietary supplementation with 25-hydroxycholecalciferol (25OHD3)—a more bioavailable form of vitamin D3—were evaluated under commercial field conditions.

The experimental design included two groups: a control group and a treatment group receiving 25OHD3 supplementation. The trial was conducted over three production cycles, with intervention focused on the critical early life stage (day 0 to day 7), during which bone mineralization is essential. Data collection involved pathological, immunological, and economic assessments, acknowledging that FHN may originate from incubation-related factors that are difficult to correct post-hatch.

Despite these underlying challenges, the results demonstrated significant improvements in bone integrity, a reduction in FHN incidence, enhanced immune response, and improved productive performance, particularly in feed conversion and final body weight. These findings suggest that early 25OHD3 supplementation is a valuable nutritional tool for improving both animal health and production efficiency in intensive broiler systems.

Keywords: broiler chickens, femoral head necrosis, 25-hydroxycholecalciferol, bone health, feed conversion, immune response, welfare

1.1 Introducción

La industria avícola ha experimentado un crecimiento sostenido en las últimas décadas, consolidándose como uno de los pilares fundamentales de la producción pecuaria a nivel mundial. Esta expansión ha sido impulsada por la creciente demanda global de proteínas animales de alta calidad, siendo la carne de pollo y los huevos fuentes esenciales y accesibles de nutrientes para millones de personas (FAO, 2023). En este contexto, la avicultura desempeña un papel clave en la seguridad alimentaria global y en el desarrollo económico de muchos países.

En México, la avicultura representa aproximadamente el 30 % del valor total de la producción agropecuaria, posicionándose como uno de los sectores más dinámicos y tecnificados del campo mexicano (SIAP, 2022). Esta industria ha mostrado una notable capacidad de adaptación y mejora continua, particularmente gracias a los avances en genética, nutrición y manejo, que han permitido una aceleración significativa en los parámetros productivos de los pollos de engorde. Por ejemplo, las principales líneas comerciales, como Ross y Cobb, alcanzan un peso promedio de 2.9 kg a las ocho semanas, con una conversión alimenticia (CA) acumulada de 2.07 y un índice de productividad superior a 200 (Borges *et al.*, 2017; Aviagen, 2021).

Sin embargo, a pesar de estos logros, persiste una variabilidad considerable en el rendimiento zootécnico entre diferentes granjas mexicanas, muchas veces asociada a deficiencias en el manejo técnico, sanitario o ambiental. Uno de los factores determinantes en dicha variabilidad es la calidad del pollito de un día, influenciada por aspectos como la gestión del perfil de nutrientes de la reproductora, las condiciones en la planta de incubación (ventana de nacimiento, temperatura, humedad y ventilación), así como el transporte hasta la granja (Molina *et al.*, 2015; Ramírez *et al.*, 2019). Estos factores pueden afectar el desarrollo esquelético, la inmunocompetencia y, en última instancia, la eficiencia productiva del ave.

En este contexto, los trastornos esqueléticos representan una de las principales causas de pérdida económica y bienestar en la producción intensiva de pollos de engorde. Uno de los más relevantes es la necrosis de la cabeza del fémur (NCF),

una afección degenerativa del sistema locomotor que puede presentarse de forma unilateral o bilateral, y cuya prevalencia ha aumentado debido a la intensificación genética del crecimiento (Wideman, 2016). Este trastorno se ha relacionado con deficiencias nutricionales, especialmente en minerales y vitaminas implicadas en la homeostasis ósea, así como con factores ambientales como la densidad de alojamiento, la ventilación y el manejo de la cama (Nääs *et al.*, 2015).

La vitamina D, y en particular su metabolito activo 25-hidroxivitamina D3 (25OHD3), cumple un papel esencial en la regulación del metabolismo del calcio y el fósforo, elementos críticos para la formación y mineralización del esqueleto. A diferencia de la vitamina D3 (colecalfiferol), que requiere una conversión hepática, la 25OHD3 se encuentra en su forma preactivada, lo cual mejora su biodisponibilidad y permite una acción más rápida y eficaz en los tejidos del ave (Kidd *et al.*, 2009; Yarger *et al.*, 2020). Estudios recientes han demostrado que la suplementación con 25OHD3, como en el caso del producto comercial Hy-D®, incrementa la resistencia ósea hasta en un 10 %, reduce la mortalidad asociada a problemas locomotores, mejora la conversión alimenticia y eleva la calidad del canal, lo cual representa una ventaja competitiva para los productores (Kidd *et al.*, 2012; Luger *et al.*, 2017). Además, se ha reportado que su efecto no se limita al sistema óseo, sino que también promueve una mejor respuesta inmunológica, reduciendo la incidencia de enfermedades entéricas y respiratorias (Kogut *et al.*, 2012; Duffy *et al.*, 2022).

En este trabajo se evaluó el efecto de la suplementación con 25-hidroxivitamina D3 sobre la incidencia de necrosis de cabeza de fémur, tanto unilateral como bilateral, en pollos de engorde entre 1 y 4 semanas de edad en el municipio de Córdoba, Veracruz. Se propuso analizar no solo las variables patológicas, sino también las implicaciones productivas y económicas asociadas al uso de esta estrategia nutricional, considerando la importancia de optimizar la salud ósea y el bienestar animal en sistemas intensivos.

1.2 Justificación

En la actualidad, la industria avícola enfrenta múltiples desafíos relacionados con problemas locomotores y esqueléticos en los pollos de engorde. Uno de los aspectos clave para mitigar estos problemas es el nivel adecuado de 25-hidroxitamina D3 (25OHD3) en suero sanguíneo.

La suplementación de esta vitamina ayudo a mejorar la inmunidad de las aves, lo que a su vez previno complicaciones bacterianas y virales que podrían inducir trastornos esqueléticos. Además, la correcta concentración de 25OHD3 en el suero sanguíneo facilito la absorción de calcio y fósforo, nutrientes esenciales para un adecuado desarrollo óseo. Se logró que con los niveles óptimos de vitamina D3, la fortaleza ósea se haya incrementado en un 20%, lo que redujo significativamente los problemas en las patas y mejoro la productividad en general (Kidd, 2011).

El uso de 25-hidroxitamina D3 es especialmente importante durante los primeros días de vida de los pollos, cuando su desarrollo es más crítico.

Durante este período, la suplementación garantizo una uniformidad en el crecimiento y una menor incidencia de problemas locomotores a lo largo de la vida del ave.

Este enfoque no solo mejoro el bienestar animal, sino que también optimizo la eficiencia productiva al reducir el número de aves afectadas por afecciones esqueléticas graves (Underwood y Suttle, 2001).

En el contexto de la producción avícola sustentable, es esencial considerar el bienestar animal. La presencia de problemas locomotores en los pollos desde sus primeras etapas de vida puede acarrear una serie de complicaciones secundarias, como atrofas musculares, empeoramiento de otros problemas esqueléticos y una disminución en la capacidad de movimiento, lo que reduce la calidad de vida de las aves.

Además, estas afecciones pueden llevar a una inmunosupresión que favorece la aparición de enfermedades bacterianas y virales, lo que representa un riesgo para la salud animal y, por ende, una pérdida económica significativa para los productores (Broom, 1986).

Por lo tanto, garantizar el bienestar de las aves a través de prácticas que prevengan problemas locomotores es crucial para asegurar una producción eficiente y rentable. Desde la perspectiva de la producción animal, la industria avícola debe cumplir con altos estándares de manejo y cuidado de los animales para asegurar que se satisfagan sus necesidades fisiológicas y de bienestar.

Mantener parámetros adecuados para el desarrollo y la salud de las aves no solo mejora la productividad, sino que también asegura un entorno más ético y sostenible en la industria. Según Estol (2008), las empresas avícolas deben comprometerse a mantener niveles adecuados de bienestar animal (BA) mediante el cumplimiento de códigos éticos, prevención y control de enfermedades, y consulta periódica con veterinarios para garantizar la salud y el rendimiento óptimo de los animales.

En los últimos años, la industria avícola ha experimentado avances significativos en la eficiencia productiva, tales como la reducción del periodo de engorda, que actualmente es de aproximadamente seis semanas, y la mejora en los índices de conversión alimenticia, que se han reducido a menos de 2 kg de alimento por kg de pollo producido (Pesti y Bakalli, 1996).

Estos avances han permitido que la producción de pollo de engorde sea más rentable y eficiente en comparación con otras industrias ganaderas, como la porcina y la bovina. Sin embargo, cuando los pollos sufren de problemas locomotores, muchos de ellos no llegan al mercado en condiciones óptimas y deben ser descartados o vendidos a precios reducidos, lo que genera pérdidas económicas significativas para los productores.

En conclusión, mejorar el nivel de vitamina D3 en la dieta de los pollos de engorde es una solución clave para prevenir trastornos esqueléticos, mejorar la inmunidad y, en última instancia, incrementar la productividad en la industria avícola. La adopción de este enfoque contribuirá tanto al bienestar de las aves como a la rentabilidad de los productores, quienes deben asegurar prácticas de manejo que garanticen la salud y el desarrollo adecuado de sus animales a lo largo de su ciclo productivo.

1.3 Planteamiento del problema

La Comisión Europea (DG SANTE, 2016) estima que aproximadamente el 30% de todos los pollos de engorde criados en sistemas de producción intensiva presentan algún tipo de trastorno en las patas.

La gravedad de la cojera se evalúa mediante la puntuación de la marcha, que varía desde una marcha normal (puntuación 0) hasta una inmovilidad completa (puntuación 5), como lo propusieron Kestin *et al.* (1992).

Según varios estudios, la incidencia de cojera en bandadas de pollos de engorde varía entre un 14,5% y un 57% en diferentes países europeos, como Suecia (Gocsik *et al.*, 2017), Noruega (Kittelsen *et al.*, 2017), y el Reino Unido (Kestin *et al.*, 1992; Bassler *et al.*, 2013), con una prevalencia que ha aumentado en diversas regiones. Además, las pérdidas económicas anuales derivadas de los problemas locomotores en pollos de engorde en los EE. UU. fueron estimadas en 80 a 120 millones de dólares durante la década de 1990 (Kestin *et al.*, 1992).

Este tipo de problemas no solo afecta el bienestar de las aves, sino que también tiene un impacto económico considerable en la industria avícola, debido a la disminución de la calidad del producto y el aumento de los costos asociados con el tratamiento de enfermedades y la gestión de aves no aptas para el mercado.

En la ciudad de Córdoba, se realizaron visitas a varios galpones de pollos de engorde para identificar posibles problemas relacionados con la locomoción.

En el primer galpón, que albergaba aves de 5 y 9 días de edad de la raza Cobb/Ross, se observó de manera visual que una parte significativa de los pollos presentaba postramiento y dificultades para desplazarse, siendo estos síntomas más prevalentes en los machos. Se seleccionaron aleatoriamente 20 pollos de cada grupo de edad, de los cuales 20 eran sanos y 20 presentaban dificultades locomotoras. Al realizar las necropsias, se encontraron diversas anomalías: un 40% de las aves con necrosis en la cabeza del fémur (28% de manera unilateral y

el otro 12% de manera bilateral), un 60% con hidropericardio y un 40% con erosión de la molleja.

En un segundo galpón, con pollos de 19 y 22 días de edad, también de la raza Cobb/Ross, se observó un problema similar, con más del 40% de los pollos mostrando postramiento y dificultades para moverse, siendo la tendencia igualmente más pronunciada en los machos. Las necropsias revelaron que el 40% de las aves presentaban necrosis de la cabeza del fémur, distribuidas de manera unilateral en el 20% y bilateral en el otro 20%.

En un tercer galpón, con pollos de 39 y 42 días, el problema era aún más pronunciado, con más del 30% de las aves postradas. A diferencia de los galpones anteriores, las aves presentaban tanto postramiento unilateral como bilateral, además de una rotación de las articulaciones. En este caso, se decidió realizar una necropsia en 3 pollos sanos y 6 con síntomas locomotores. Las aves sanas no mostraban alteraciones patológicas, mientras que las enfermas coincidían en un 60% con necrosis de la cabeza del fémur (40% de manera unilateral, 20% de manera bilateral)

Posterior a ello se hizo un análisis productivo, donde había pérdidas económicas de hasta el 30% menor por cada galpón alojado con pollo de engorda.}

A través de diagnósticos diferenciales, que incluyeron pruebas serológicas, de campo y sobre todo las ya mencionadas patológicas y por la edad donde esta se estaban presentando tuvimos que ir al posible lugar de raíz, se tocó con el nutriólogo el tema de la dieta al ser una análisis completo nos dimos cuenta que las fórmulas y los núcleos estaban con los niveles óptimos para un desarrollo óptimo del animal, sobre todo a nivel óseo que era lo que interesaba, se revisó las posibles causas de manejo que a la hora de la recepción los galpones no estuvieran con los parámetros adecuados, el transporte de la incubadora tuviera las condiciones óptimas los terrenos a la hora de llegar a alojar, analizamos todas las posibles variables, posterior a ello de la mano con expertos nos dimos cuenta que el problema raíz provenía de la planta incubadora, ya que la carga de perfiles no era la óptima a las

necesidades que necesitábamos, por lo cual la causa principal era la desmineralización ósea, un trastorno originado en la etapa neonatal de los pollos.

Esto lo atribuimos a condiciones subóptimas en la incubadora, donde no alcanzamos los parámetros adecuados para el desarrollo embrionario, como puede ser la temperatura, oxigenación o los niveles de humedad. Como resultado los pollitos nacen con estas deficiencias minerales que se manifiestan en trastornos locomotores, como los ya observados

1.4 Pregunta de investigación

¿Cuál es el método más eficaz para reducir la incidencia de problemas esqueléticos en la cabeza del fémur en pollos de engorde durante su crianza y desarrollo en granjas de pollo de engorda en Córdoba, Veracruz?

1.5 Objetivo general:

Evaluar la eficacia de la suplementación con 25-hidroxivitamina D3 (HY/D) como tratamiento para reducir la incidencia de necrosis de la cabeza del fémur, tanto unilateral como bilateral, en pollos de 1 a 4 semanas de edad en granjas de pollo de engorda en Córdoba, Veracruz.

1.5.1 Objetivos específicos:

- I. Determinar el porcentaje de incidencia de problemas esqueléticos en los pollos de engorde y establecer las edades en las que este problema es más prevalente, para identificar el momento óptimo para la aplicación del tratamiento.
- II. Seleccionar rigurosamente a los pollos afectados por problemas locomotores, asegurando que se utilice el tratamiento solo en aquellos que presentan la patología.
- III. Administrar 25-hidroxivitamina D3 (HY/D) a los pollos seleccionados, conforme a los datos recopilados, durante los primeros 7 días de vida, para optimizar los efectos en el desarrollo esquelético.
- IV. Evaluar la eficacia del tratamiento con 25-hidroxivitamina D3 (HY/D) en la reducción de la incidencia de necrosis de la cabeza del fémur en pollos de engorde durante los primeros 7 días de tratamiento.

1.6 Hipótesis

El uso de 25-hidroxivitamina D3 (HY/D) como tratamiento correctivo redujo la incidencia de necrosis de la cabeza del fémur, tanto unilateral como bilateral, en pollos de 1 a 4 semanas de edad en Córdoba, Veracruz, y mejoro los parámetros productivos, teniendo en cuenta que en promedio ascendían al 50% en promedio en estas aves, con este producto podremos vimos mejoras de hasta del 35% a nivel global dejando un margen menor, promoviendo un desarrollo esquelético más saludable y una mayor eficiencia en su crecimiento.

Marco Teórico

La avicultura, especialmente la producción de pollos de engorde, ha evolucionado significativamente en las últimas décadas gracias a los avances en genética, nutrición y manejo. Estos progresos han permitido optimizar parámetros productivos como la ganancia de peso, la conversión alimenticia y la resistencia a enfermedades (Wang *et al.*, 2023; Ribeiro *et al.*, 2022). No obstante, los problemas esqueléticos continúan representando un desafío importante para la industria avícola, ya que afectan la calidad del producto final, el bienestar animal y la rentabilidad de las explotaciones (Xing *et al.*, 2022).

Entre las afecciones óseas más relevantes se encuentran las derivadas de infecciones bacterianas, particularmente aquellas causadas por *Staphylococcus* spp., *Escherichia coli* y *Streptococcus* spp. (Abd El-Hack *et al.*, 2023). Además, factores predisponentes como la infección por virus inmunosupresores notablemente el virus de la bursitis infecciosa (IBDV) y el virus de la anemia aviar (CAV), así algunos otros trastornos metabólicos no infecciosos como el raquitismo hipofosfatémico, contribuyen al deterioro de la salud esquelética en los pollos (Yang *et al.*, 2022).

Una de las patologías más comunes es la necrosis de la cabeza del fémur, asociada tanto a deficiencias nutricionales, especialmente de vitamina D y minerales el caso del calcio y fósforo, como a prácticas inadecuadas durante las fases iniciales de desarrollo, incluyendo la incubación (Oliveira *et al.*, 2022; Kuttappan *et al.*, 2023). Factores y perfiles inadecuados de temperatura, humedad y oxigenación durante la incubación pueden comprometer el desarrollo embrionario, resultando en pollos con desórdenes esqueléticos al nacimiento (Shanmuga sundaram *et al.*, 2024).

Dentro de las líneas genéticas más utilizadas en la producción intensiva de pollos de engorde, la raza Cobb destaca por su elevada productividad, eficiencia alimenticia y rentabilidad. Esta línea genética, desarrollada por la empresa Cobb-Vantress, ha sido seleccionada por sus características superiores en crecimiento

rápido, conversión alimenticia y calidad cárnica, además de su resistencia a diversas condiciones de manejo y ambientales (Cobb-Vantress, 2024).

Los pollos Cobb alcanzan pesos comerciales en corto tiempo, con bajo consumo de alimento y agua. Su carne es valorada por su ternura, jugosidad y bajo contenido de grasa, lo cual los convierte en una de las opciones preferidas tanto por productores como por consumidores.

Actualmente, se estima que aproximadamente el 60 % de la producción global de pollos broiler utiliza genética Cobb (Rashidi *et al.*, 2023).

Por otro lado, la línea Ross, desarrollada originalmente en las granjas Ross en la década de 1980 y actualmente manejada por Aviagen, también ocupa un lugar destacado en el sector avícola.

En particular, la línea Ross 308 y 708 ha sido diseñada para un crecimiento acelerado, alta eficiencia alimenticia y excelente rendimiento cárnico (Aviagen, 2023).

Esta línea es reconocida por su resistencia a enfermedades metabólicas, como la ascitis, y por adaptarse bien a diversas estrategias de manejo intensivo.

Los datos de rendimiento muestran que un pollo Ross macho con un peso vivo de 2.4 kg puede alcanzar un rendimiento cárnico del 70.92 % tras el sacrificio, mientras que, en las hembras, con el mismo peso, el rendimiento es del 70.57 % (Aviagen, 2023).

En cuanto al crecimiento, los pollos Ross presentan pesos iniciales que varían entre 34.4 y 38.5 gramos al nacer, alcanzando entre 988 y 1203 gramos (machos) y 831 a 1016 gramos (hembras) a las 12 semanas (Li *et al.*, 2022).

2.1 Necrosis de la cabeza del fémur en pollos de engorde

La necrosis de la cabeza del fémur (NCF) es un trastorno esquelético de alta relevancia en la producción avícola intensiva, particularmente en pollos de engorde de rápido crecimiento. Esta patología compromete gravemente la integridad del hueso femoral, específicamente en la región subcondral de la cabeza del fémur, y se manifiesta por la degeneración del cartílago articular, necrosis ósea y, en etapas avanzadas, colapso estructural de la articulación (Kuttappan *et al.*, 2023). La consecuencia, las aves afectadas presentan dolor, dificultad para desplazarse, cojera severa y, en casos extremos, inmovilidad, lo cual reduce significativamente su bienestar, acceso al alimento y al agua, y, por ende, su desempeño productivo (Ribeiro *et al.*, 2022).

El proceso patológico de la NCF involucra una combinación de factores nutricionales, metabólicos, biomecánicos y ambientales. La deficiencia de nutrientes esenciales como el calcio, fósforo y vitamina D3, así podemos tener un desequilibrio en su absorción intestinal, son causas fundamentales. Estos micronutrientes son clave en la osificación endocondral y en el mantenimiento del metabolismo óseo; su carencia conduce a desmineralización, fragilidad del hueso y alteración del crecimiento epifisario (Yang *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2022).

Por otro lado, el manejo inadecuado durante la incubación puede influir de manera significativa en la incidencia de este tipo de lesiones óseas. Variables críticas el caso de la temperatura, la humedad relativa, la oxigenación y la posición del huevo afectan el desarrollo embrionario, particularmente la vascularización y la mineralización ósea. Incubadoras mal calibradas o mal mantenidas pueden inducir alteraciones irreversibles en la formación del esqueleto, predisponiendo a las aves a problemas locomotores post-eclosión, entre ellos la necrosis de la cabeza del fémur (Shanmugasundaram *et al.*, 2024; da Silva *et al.*, 2023).

Otro aspecto relevante es la relación entre la velocidad de crecimiento y la aparición de NCF. Diversos estudios han mostrado que los machos de líneas genéticas de crecimiento acelerado, como Cobb y Ross, presentan una mayor incidencia de esta

patología, debido a una rápida ganancia de peso que supera la capacidad de adaptación del sistema esquelético. Este desbalance entre crecimiento muscular y desarrollo óseo genera estrés mecánico excesivo sobre las articulaciones, exacerbando los riesgos de necrosis (Xing *et al.*, 2022; Rashidi *et al.*, 2023).

En su etapa clínica, la NCF puede identificarse mediante signos evidentes el caso de la cojera, postura anormal, reducción de la movilidad y rechazo al alimento. Sin embargo, su diagnóstico definitivo requiere estudios histopatológicos o técnicas de imagen como la radiografía, donde pueden observarse áreas de rarefacción ósea, colapso subcondral y displasia articular. Desde el punto de vista económico, la presencia de este trastorno representa pérdidas sustanciales debido al descarte prematuro de animales, reducción de la ganancia diaria de peso, y aumento de los costos veterinarios y de manejo.

La prevención de la necrosis de la cabeza del fémur debe abordarse desde un enfoque multifactorial, que combine estrategias de nutrición balanceada, manejo ambiental óptimo, monitoreo del crecimiento y prácticas adecuadas de incubación. La suplementación con minerales orgánicos y metabolitos de vitamina D, el uso de prebióticos que mejoren la absorción intestinal y el ajuste de programas de crecimiento pueden contribuir significativamente a reducir la incidencia de esta patología (Abd El-Hack *et al.*, 2023; Kuttappan *et al.*, 2023).

2.2 Factores causales

La necrosis de la cabeza del fémur (NCF) es una patología multifactorial que afecta el sistema musculoesquelético de los pollos de engorde, con implicaciones significativas para la salud, el bienestar y el rendimiento productivo de las aves. Entre los principales factores desencadenantes destacan las deficiencias nutricionales, particularmente de calcio (Ca), fósforo (P) y vitamina D, los cuales son esenciales para la formación, mineralización y mantenimiento de la estructura ósea (Oliveira *et al.*, 2022; Kuttappan *et al.*, 2023).

La vitamina D₃, en su forma activa 1,25-dihidroxitamina D₃, desempeña un papel regulador clave en la homeostasis del calcio y fósforo, facilitando su absorción intestinal.

Su deficiencia puede alterar el metabolismo mineral y provocar enfermedades óseas ya sea raquitismo, osteomalacia y osteoporosis, condiciones que debilitan la matriz ósea y predisponen a lesiones como la NCF (Yang *et al.*, 2022; Abd El-Hack *et al.*, 2023).

Estas alteraciones se manifiestan principalmente en las fases tempranas del crecimiento, cuando la demanda de minerales y de síntesis ósea es más alta debido al acelerado desarrollo corporal.

El desequilibrio entre calcio y fósforo, ya sea por una mala formulación de la dieta o por la baja biodisponibilidad del fósforo en forma de fitato, es otro factor crítico.

Se ha demostrado que proporciones inadecuadas entre estos minerales inducen condrodisplasias, hipomineralización y, eventualmente, necrosis de los tejidos óseos, en especial en la región subcondral de la cabeza femoral (Rashidi *et al.*, 2023; Oliveira *et al.*, 2022).

Por ello, la inclusión de fuentes de fósforo no fitato y el uso de fitasas enzimáticas se han convertido en estrategias clave para mejorar la absorción mineral y prevenir este tipo de patologías (Quintana López, 2016; Yang *et al.*, 2022).

Además del componente mineral, la sobrecarga mecánica derivada del rápido crecimiento en líneas genéticas modernas también desempeña un papel fundamental. La velocidad de ganancia de masa muscular en pollos de engorde

supera muchas veces la capacidad de desarrollo del esqueleto, lo que genera un desbalance biomecánico y aumenta la presión sobre las articulaciones y huesos largos.

Esta desproporción contribuye a enfermedades como la necrosis femoral, la discondroplasia tibial y el raquitismo (Xu *et al.*, 2022; Xing *et al.*, 2022).

El hueso cortical, estructuralmente diseñado para soportar cargas, puede debilitarse por esfuerzos excesivos, aumentando su porosidad y reduciendo su resistencia.

La densidad mineral ósea y la proporción entre hueso esponjoso y compacto son parámetros críticos para evaluar la calidad ósea en pollos de engorde.

Aquellos individuos afectados por enfermedades locomotoras suelen mostrar una reducción significativa en estos indicadores, lo que evidencia una mayor susceptibilidad a fracturas y necrosis (Ribeiro *et al.*, 2022).

Asimismo, el cartílago articular un tejido avascular y sin inervación cumple funciones biomecánicas fundamentales en la articulación.

Alteraciones en su homeostasis, podrían ser la apoptosis de condrocitos o la disfunción en la síntesis de matriz extracelular, pueden generar inestabilidad articular y deterioro estructural, lo que incrementa la incidencia de enfermedades óseas degenerativas, incluyendo la NCF (Pathria *et al.*, 2016; Kuttappan *et al.*, 2023).

Otros factores no infecciosos, como el mal manejo nutricional proteico, también están involucrados.

Dietas con exceso de proteína, especialmente de origen animal, pueden inducir un metabolismo excesivo de purinas, lo que genera ácido úrico en cantidades elevadas.

Estos compuestos tienden a depositarse en articulaciones y órganos, provocando inflamación, deformidades en los dedos, hinchazón de articulaciones y, en casos graves, cojera (Xu *et al.*, 2022; Abd El-Hack *et al.*, 2023).

Por otro lado, estudios han evidenciado que un manejo adecuado del aporte de energía y aminoácidos es fundamental para armonizar el crecimiento muscular y óseo.

El aumento en las demandas proteicas, asociado a las nuevas líneas genéticas, requiere una reformulación cuidadosa de las dietas iniciales y de crecimiento para evitar sobrecargas metabólicas que comprometan la salud ósea (Kuttappan *et al.*, 2023).

Finalmente, se ha observado que la proporción ideal de calcio a fósforo (Ca:P) en las dietas de inicio y crecimiento debe mantenerse en un rango estrecho para garantizar una mineralización óptima del esqueleto.

Dietas con proporciones desequilibradas han mostrado una mayor incidencia de deformidades esqueléticas, displasia epifisaria y necrosis femoral (Quintana López, 2016; Yang *et al.*, 2022).

2.3 Manejo inadecuado en la incubadora

Un factor adicional que contribuye al desarrollo de la necrosis de la cabeza del fémur es el manejo inapropiado en la incubadora.

Durante la incubación, los factores ambientales como la temperatura, la humedad y la oxigenación son críticos para el desarrollo embrionario de las aves. (QUINTANA LOPEZ, J. (2016).)

Cualquier desviación de los parámetros óptimos puede afectar negativamente el desarrollo esquelético de los pollitos, dejándolos con una deficiencia en la mineralización ósea al momento de la eclosión. (QUINTANA LOPEZ, J. (2016).)

Esto puede llevar a un mayor riesgo de sufrir trastornos esqueléticos, como la necrosis de la cabeza del fémur, cuando los pollos comienzan a crecer (Jensen *et al.*, 2010; Berri *et al.*, 2007).

La falta de control adecuado de estos factores en la incubadora, o el uso de incubadoras con deficiencias, puede ser un factor importante en la de esta enfermedad, tenemos que tomar también en cuenta el apartado humano ya que es posible que nuestro personal no sea el capacitado o que era totalmente diferentes las condiciones de trabajos distintas, temperatura, oxigenación ya que en lugares a nivel del mar sea más fácil los manejos, en zonas centro del país la incubación es un poco más compleja por ello el hecho de experimentar con perfiles y saber que cada parvada es diferente y las condiciones suelen ser más cambiantes.

Impacto en la productividad y bienestar animal

Los trastornos locomotores, como la necrosis de la cabeza del fémur (NCF), representan un problema multifacético dentro de la producción avícola moderna, afectando directamente la eficiencia productiva, la salud inmunológica y el bienestar animal. En términos productivos, las aves afectadas por NCF presentan un menor rendimiento en crecimiento, una conversión alimenticia deficiente y una mayor tasa de mortalidad, lo que compromete la rentabilidad del sistema de producción (Mast *et al.*, 2006; Berri *et al.*, 2007).

La incapacidad de las aves para desplazarse adecuadamente reduce de manera significativa su acceso al alimento y al agua, a pesar de que estos recursos estén disponibles ad libitum en condiciones óptimas de manejo.

Esto se traduce en un menor consumo voluntario, desaceleración en la ganancia de peso y reducción en la acumulación de masa muscular, que son parámetros esenciales para alcanzar los estándares comerciales de mercado en el menor tiempo posible (Roth *et al.*, 2015; Abd El-Hack *et al.*, 2023).

A nivel de canal, los animales con alteraciones locomotoras frecuentemente presentan lesiones musculares, hematomas o atrofia, lo que deprecia su valor comercial y, en muchos casos, los clasifica como productos de segunda calidad.

Desde la perspectiva sanitaria, los pollos con NCF también muestran un compromiso en su respuesta inmunológica.

El dolor crónico, el estrés fisiológico y la inflamación sistémica pueden inducir inmunosupresión, disminuyendo la eficacia de las vacunas administradas y favoreciendo la presencia de infecciones secundarias de origen viral o bacteriano (Lima *et al.*, 2022).

En estas condiciones, enfermedades oportunistas ya sea *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens* o incluso virus inmunosupresores el caso de la bursitis infecciosa (IBDV) o el de la anemia infecciosa aviar (CAV), encuentran un terreno favorable para su replicación y diseminación, lo que agrava el cuadro clínico y reduce los títulos serológicos esperados durante los controles de inmunidad.

Además, el tratamiento terapéutico de estas aves implica el uso recurrente de antibióticos, antiinflamatorios y vitaminas, lo que incrementa el costo de producción, prolonga el periodo de engorde y eleva el riesgo de residuos antimicrobianos en productos avícolas, con las implicaciones legales y sanitarias correspondientes (Oliveira *et al.*, 2022).

En muchos casos, estos pollos no alcanzan los estándares mínimos de peso o calidad y son descartados del lote comercial, generando pérdidas económicas significativas y disminuyendo el índice de eficiencia productiva de la granja.

Desde el enfoque del bienestar animal, la necrosis de la cabeza del fémur representa una alteración severa de los cinco principios fundamentales del bienestar propuestos por la Farm Animal Welfare Council (FAWC), particularmente en los referentes a la ausencia de dolor y la libertad de expresar comportamientos naturales.

Aunque las aves se encuentren en galpones de ambiente controlado, con condiciones óptimas de temperatura, humedad, ventilación y suministro continuo de alimento y agua, la imposibilidad de desplazarse voluntariamente impide que puedan ejercer su comportamiento natural básico: el movimiento.

Este sufrimiento, asociado a dolor, frustración e incapacidad física, representa una preocupación ética creciente para la industria avícola y para los consumidores, quienes cada vez demandan más prácticas de producción sostenibles y humanitarias (Roth *et al.*, 2015; Kuttappan *et al.*, 2023).

En síntesis, los trastornos locomotores como la NCF afectan negativamente todas las áreas de la producción avícola: reducen la eficiencia zootécnica, aumentan la vulnerabilidad inmunológica, encarecen los costos de manejo y comprometen seriamente el bienestar animal.

Esta situación exige un enfoque integral que combine mejoras nutricionales, selección genética, programas de salud preventivos y buenas prácticas de manejo para mitigar su incidencia y severidad dentro del sistema productivo.

2.5 Prevención y tratamiento

La prevención de la necrosis de la cabeza del fémur (NCF) en pollos de engorde requiere una estrategia integral que combine un manejo nutricional óptimo, condiciones adecuadas de incubación y un monitoreo constante del desarrollo esquelético.

Entre los factores más críticos se encuentra el equilibrio en la dieta de calcio (Ca), fósforo (P) y vitamina D, ya que estos minerales y vitaminas son esenciales para la formación y consolidación del sistema óseo, especialmente en etapas tempranas de crecimiento rápido (Xie *et al.*, 2023; Fernandes *et al.*, 2022).

Una suplementación adecuada con 25-hidroxivitamina D₃, una forma metabólicamente activa y más biodisponible que la vitamina D₃ convencional, ha demostrado mejorar significativamente la absorción intestinal de Ca y P, promover la diferenciación osteoblástica, y reducir la incidencia de trastornos esqueléticos como el raquitismo, la discondroplasia tibial y la necrosis de la cabeza del fémur (Han *et al.*, 2023; Kim *et al.*, 2022).

Esta estrategia ha cobrado mayor relevancia ante la evidencia de que los pollos de engorde presentan tasas de crecimiento muy aceleradas que exceden la capacidad de mineralización de su esqueleto en condiciones de deficiencia o desequilibrio nutricional.

Además, es fundamental garantizar condiciones óptimas de incubación, ya que factores sea el caso de la temperatura, la humedad relativa y la ventilación influyen directamente sobre el desarrollo embrionario y la osificación. Incubadoras con temperatura subóptima o niveles inadecuados de oxígeno pueden generar deformidades esqueléticas o predisposición a disfunciones estructurales en la región femoral, lo cual aumenta el riesgo de NCF durante el crecimiento (Pulikanti *et al.*, 2022; Almeida Paz *et al.*, 2023).

También debe considerarse el papel del manejo post-eclosión, particularmente en lo que respecta a la densidad de población, el acceso al alimento y al agua, el tipo de cama y el diseño de comederos y bebederos. Altas densidades, mala calidad de

la cama o accesos restringidos a recursos pueden generar microtraumatismos repetitivos que comprometen la integridad de la cabeza femoral (Papadopoulou *et al.*, 2024; da Silva *et al.*, 2022).

El uso de fitasas en la dieta, enzimas que liberan fósforo utilizable del fitato presente en los cereales, es otra estrategia preventiva ampliamente recomendada. Su inclusión mejora la biodisponibilidad del P, reduce la excreción ambiental y contribuye a una mineralización más eficiente del hueso (Kiarie *et al.*, 2022).

Desde una perspectiva preventiva, la implementación de sistemas de evaluación ósea, como densitometría, estudios de cenizas óseas o análisis de marcadores de recambio óseo (como osteocalcina o fosfatasa alcalina), puede permitir una detección temprana de alteraciones subclínicas que preceden a la NCF (Zhou *et al.*, 2023).

En cuanto al tratamiento, las alternativas son limitadas debido al corto ciclo productivo de los pollos. Sin embargo, en casos subclínicos se ha propuesto el uso de aditivos nutricionales con efecto antiinflamatorio, antioxidante o promotor de la salud ósea, es importante el uso de extractos de cúrcuma, ácidos orgánicos, minerales quelatados y prebióticos, los cuales pueden mitigar el daño estructural y mejorar el confort locomotor de las aves (Shang *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2023).

2.6 La importancia de la vitamina D en la salud ósea

La vitamina D cumple un papel esencial en el metabolismo mineral y en el mantenimiento de la salud ósea en animales, particularmente en aves de rápido crecimiento como los pollos de engorde. Su función principal se centra en facilitar la absorción intestinal y la regulación del calcio (Ca) y fósforo (P), minerales fundamentales para la formación, remodelación y mineralización del tejido óseo (Zhang *et al.*, 2022; Xie *et al.*, 2023).

En las aves, la forma dietética de la vitamina D, conocida como colecalciferol o vitamina D₃, es inicialmente metabolizada en el hígado a 25-hidroxivitamina D₃ (25OHD₃). Posteriormente, esta forma es convertida en los riñones a su forma biológicamente activa, el 1,25-dihidroxicolecalciferol o calcitriol, mediante la acción de la enzima 1 α -hidroxilasa (Kidd *et al.*, 2012; Han *et al.*, 2023). El calcitriol actúa como una hormona reguladora que estimula la expresión de proteínas transportadoras de calcio (el caso de la calbindina) en el intestino delgado, promoviendo así la absorción eficiente de calcio y fósforo desde el lumen intestinal hacia la circulación sistémica (Kim *et al.*, 2022).

Esta hormona también interviene en la movilización de calcio desde el hueso en situaciones de necesidad fisiológica, así obtener la reabsorción renal de este mineral, contribuyendo de manera clave a la homeostasis mineral. De este modo, la vitamina D no solo es necesaria para la mineralización de la matriz ósea, sino que también regula los niveles séricos de Ca y P, que son críticos para una variedad de procesos biológicos el caso de la contracción muscular, la transmisión nerviosa y la coagulación (Mason *et al.*, 2002; Zhang *et al.*, 2023).

La deficiencia de vitamina D₃ o una disponibilidad inadecuada de sus metabolitos activos en la dieta puede tener consecuencias graves para el desarrollo esquelético de los pollos de engorde. Una deficiente absorción de Ca y P conlleva a una

mineralización incompleta de la matriz ósea, favoreciendo la aparición de patologías sea el raquitismo, la osteoporosis, la discondroplasia tibial y, en casos avanzados, la necrosis de la cabeza del fémur (Sharma *et al.*, 2016; Zhou *et al.*, 2023). Estas condiciones comprometen tanto la estructura como la funcionalidad del sistema esquelético, generando dolor, debilidad locomotora y disminución de la capacidad para acceder al alimento, lo que se traduce en menor conversión alimenticia, ganancia de peso subóptima y pérdidas económicas importantes (Almeida Paz *et al.*, 2023).

Estudios recientes han demostrado que la suplementación dietética con 25-hidroxivitamina D3 (25OHD3) mejora significativamente la densidad mineral ósea, la fuerza de los huesos largos y reduce la incidencia de trastornos esqueléticos en aves bajo condiciones comerciales. Esta forma de vitamina D es más biodisponible que el colecalciferol, ya que no requiere activación hepática, permitiendo una respuesta más rápida y eficiente en la regulación mineral (Han *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2023).

2.7 Suplementación con 25-hidroxivitamina D3 (HY/D)

La suplementación con 25-hidroxivitamina D3 (25OHD3 o HY/D) ha emergido como una estrategia nutricional altamente efectiva para prevenir deficiencias de vitamina D y fortalecer la salud esquelética en pollos de engorde, especialmente en sistemas de producción intensiva.

A diferencia del colecalciferol (vitamina D3), que requiere su conversión hepática a 25OHD3 para adquirir actividad biológica, esta forma preactivada ya se encuentra en su forma circulante activa, lo cual mejora significativamente su biodisponibilidad y permite una respuesta fisiológica más rápida en las aves (Kidd *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2023).

Durante las primeras semanas de vida, cuando ocurre un rápido desarrollo óseo, la suplementación con 25-hidroxivitamina D3 (25OHD3) resulta crucial, ya que mejora la absorción de calcio y fósforo, incrementa la resistencia ósea y reduce trastornos locomotores como necrosis de cabeza femoral, discondroplasia tibial y raquitismo. Estudios recientes han demostrado que 25OHD3 aumenta la densidad mineral ósea, mejora la conversión alimenticia y fortalece la inmunidad, además de actuar sinérgicamente con fitasas y fósforo disponible, optimizando el uso de minerales y reduciendo el impacto ambiental. En conjunto, esta suplementación favorece la salud, el rendimiento y la sostenibilidad en la producción avícola.

2.8 Beneficios adicionales de la suplementación con 25-hidroxitamina D3

Además de los beneficios bien documentados sobre la salud ósea, la suplementación con 25-hidroxitamina D3 (25OHD3) ofrece efectos positivos significativos en otras áreas clave de la fisiología aviar, incluyendo la función inmunológica, la eficiencia alimenticia y el bienestar general de las aves (Zhang *et al.*, 2023; Kogut *et al.*, 2012).

En cuanto al sistema inmune, diversos estudios han demostrado que 25OHD3 no solo actúa como un modulador de la mineralización ósea, sino también como un inmunorregulador potente. Kogut *et al.* (2012) señalaron que esta forma preactivada de vitamina D mejora la respuesta inmunitaria innata en aves, promoviendo la activación de macrófagos y aumentando la producción de péptidos antimicrobianos como la β -defensina.

Este efecto se traduce en una mayor resistencia a infecciones bacterianas y virales, aspecto crítico en entornos de producción intensiva donde el hacinamiento, el estrés térmico y la carga patógena aumentan significativamente el riesgo de brotes infecciosos.

La suplementación adecuada con 25-hidroxitamina D3 (25OHD3) mejora la salud esquelética, promoviendo un desarrollo físico más robusto y una conversión eficiente de nutrientes, lo que se refleja en mejores índices productivos como ganancia de peso diaria y conversión alimenticia (Jensen *et al.*, 2010; Han *et al.*, 2023). Además, el fortalecimiento óseo facilita la locomoción, reduce trastornos óseos y disminuye mortalidad y decomisos, mejorando la calidad de canal y el bienestar animal (Luger *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2023). La 25OHD3 también presenta efectos antiinflamatorios que estabilizan el ambiente fisiológico, protegen la integridad intestinal y optimizan el rendimiento productivo (Zhang *et al.*, 2023; Xie *et al.*, 2023).

Metodología

3.1 Localización

El presente experimento se llevó a cabo en el municipio de Córdoba, estado de Veracruz, México.

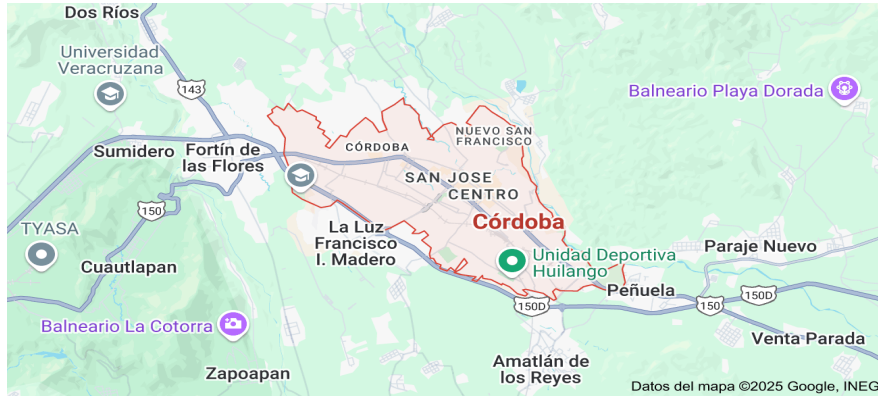
Esta localidad se sitúa dentro de las siguientes coordenadas geográficas extremas: 19°00' latitud norte como límite septentrional y 18°50' latitud norte como límite meridional; mientras que longitudinalmente se extiende desde los 96°52' hasta los 97°01' de longitud oeste.

La superficie total del municipio es de aproximadamente 159.90 km², lo cual representa el 0.22% de la extensión territorial total del estado de Veracruz (INEGI, 2010).

Geográficamente, el municipio limita al norte con Tomatlán e Ixhuatlán del Café; al este, con Ixhuatlán del Café y Amatlán de los Reyes; al sur, con Amatlán de los Reyes y Fortín; y al oeste, con Fortín, Chocamán y nuevamente Tomatlán. De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010), Córdoba está conformado por 96 localidades, con una población total de 196,541 habitantes.

La cabecera municipal de Córdoba se ubica estratégicamente entre dos puntos clave del país: el puerto de Veracruz y la Ciudad de México, lo cual ha facilitado un importante desarrollo económico y comercial.

Esta situación ha permitido que el área de influencia de Córdoba se extienda hacia municipios vecinos como Huatusco, Tuxtepec (Oaxaca) y Tierra Blanca, consolidándola como un centro regional de comercio y servicios dentro del centro-sur de Veracruz. (Ver Mapa 1)



Mapa 1. Municipio de Córdoba, Veracruz. Fuente: Centro Eure S.C. con base en INEGI (2025).

3.2 Material genético

En el presente experimento se utilizaron 40,000 pollos de engorde machos de un día de edad, los cuales fueron adquiridos de una planta de incubación comercial certificada.

Las aves pertenecían a las líneas genéticas Ross 308 y Cobb 500, reconocidas por su alto potencial de crecimiento y eficiencia en la conversión alimenticia.

El peso corporal promedio al nacimiento fue de 41.2 gramos, y todas las aves procedían de un lote de reproductoras de 62 semanas de edad, lo que asegura una uniformidad genética y sanitaria adecuada para fines experimentales.

Esta combinación de líneas genéticas se seleccionó por su uso común en sistemas de producción intensiva, lo que permite extrapolar los resultados obtenidos a condiciones comerciales reales.

Además, el lote de reproductoras de origen contaba con historial sanitario y de manejo previamente validado por el proveedor, garantizando así la calidad de los pollitos utilizados en el estudio.

3.2 Establecimiento del experimento

La crianza de pollos de engorde en galpones de ambiente controlado representó una estrategia altamente eficiente y tecnificada que optimizó significativamente tanto el manejo productivo como el sanitario de las aves. Este tipo de sistema respondió a la necesidad de minimizar las fluctuaciones ambientales externas, las cuales pueden afectar negativamente el desempeño zootécnico, la salud inmunológica y el bienestar animal.

Gracias al avance tecnológico, fue posible integrar módulos de automatización ambiental, operados mediante software especializado, que permitieron regular y sincronizar con precisión parámetros críticos como la ventilación, la temperatura, la humedad relativa, el suministro de alimento y el abastecimiento progresivo de agua a través de comederos y bebederos automáticos (Yahav, 2009; De Basilio et al., 2003).

Durante los primeros días de vida, considerados como la fase más vulnerable del ciclo productivo, este control ambiental garantizó un entorno adecuado para el desarrollo fisiológico de los pollitos.

El sistema aseguró el acceso ad libitum al alimento y al agua, una temperatura efectiva constante y una calidad de aire óptima, factores determinantes para lograr una transición exitosa del metabolismo del saco vitelino a la alimentación activa (Decuyper y Bruggeman, 2007).

El monitoreo continuo de la temperatura, tanto del aire como de la cama, permitió realizar ajustes dinámicos que favorecieron el confort térmico. En particular, la temperatura de la cama fue utilizada como indicador clave del bienestar animal.

Se consideró como rango ideal un intervalo entre 21.4 °C y 27.9 °C, con un punto óptimo de 24.1 °C, el cual favoreció la homeotermia, la locomoción, la ingesta voluntaria y la ganancia de peso (Mete et al., 2012).

La densidad de alojamiento fue otro parámetro cuidadosamente evaluado. Esta se definió en función del número de aves por metro cuadrado o de los kilogramos de peso vivo por metro cuadrado, en correspondencia con la capacidad volumétrica y el nivel de ventilación del galpón. Una densidad adecuada resultó esencial para

garantizar el acceso equitativo a los recursos, evitar competencias desiguales, reducir el riesgo de lesiones por pisoteo y, especialmente, mitigar el estrés por hacinamiento, el cual está directamente relacionado con la inmunosupresión y la disminución del índice de conversión alimenticia (Estevez, 2007; Dozier *et al.*, 2006). La humedad relativa del ambiente también fue considerada como un parámetro crítico. Niveles elevados de humedad, especialmente por encima del 70%, favorecieron la degradación de la cama y la consecuente liberación de amoníaco, compuesto tóxico que se acumula cuando las tasas de ventilación son inadecuadas. Concentraciones superiores a 10 ppm de NH₃ comprometieron la salud respiratoria de las aves, generando inflamación en las vías aéreas, reducción en el consumo de alimento, aumento en la conversión alimenticia y pérdida de peso corporal, afectando negativamente la rentabilidad global del sistema (Miles *et al.*, 2004; Kristensen y Wathes, 2000).

Respecto al material de cama, se utilizó cascarilla de arroz, una alternativa económica, biodegradable y de alta disponibilidad local.

Este sustrato fue distribuido de manera uniforme en una capa de 5 cm de espesor, favoreciendo la absorción eficiente de la humedad y contribuyendo a la regulación de la temperatura superficial, lo que redujo la incidencia de dermatitis plantar y quemaduras en el pecho (Beker *et al.*, 2005).

La cama seca proporcionó un ambiente microbiano más seguro al reducir patógenos como *E. coli* y *Clostridium perfringens*. Para mejorar el aislamiento térmico, se aplicaron celulosa o fibra de vidrio en paredes y techos, logrando un valor R de 3.2 por cada 2.5 cm, lo que estabilizó la temperatura interna y disminuyó el consumo energético. Estas tecnologías de ambiente controlado no solo redujeron costos operativos, sino que también mejoraron el bienestar, la productividad y la eficiencia alimenticia, aspectos clave en la avicultura intensiva moderna.

Sistemas de calefacción

Los calefactores de aire forzado fueron ubicados estratégicamente en zonas del galpón donde el movimiento del aire era lo suficientemente lento como para permitir un calentamiento eficaz del ambiente. Estos dispositivos se instalaron a una altura de entre 1.4 y 1.5 metros desde el nivel del suelo, con el fin de evitar la formación de corrientes de aire directas sobre los pollitos, las cuales podrían generar estrés térmico y afectar negativamente su desarrollo inicial.

Asimismo, se evitó deliberadamente la instalación de los calefactores en proximidad a las entradas de aire, dado que el aire en movimiento rápido no puede ser calentado de manera eficiente por este tipo de sistema. Cuando los calefactores se colocaban cerca de estas entradas, se observó un aumento significativo en el consumo energético sin una mejora real en la temperatura ambiente, lo cual redundaba en un incremento innecesario de los costos operativos (Xin *et al.*, 2001; Yahav, 2009).

Como parte del enfoque de sostenibilidad energética y optimización del costo-beneficio, se implementó un sistema complementario basado en paneles solares. Esta medida permitió reducir la dependencia de fuentes de energía convencionales durante los periodos de mayor demanda térmica, especialmente en las primeras semanas de vida de las aves.

El uso de energía solar contribuyó no solo a equilibrar los gastos operativos, sino también a disminuir la huella de carbono de la unidad de producción, alineándose con las prácticas actuales de producción avícola sustentable (Ferreira *et al.*, 2014; Ghasemi *et al.*, 2017).

Este análisis de campo permitió demostrar que una correcta distribución de los calefactores, junto con el uso de fuentes de energía renovable, resultó en una mejora de la eficiencia térmica del galpón, una mayor uniformidad de la temperatura interior y una reducción sustancial de los costos energéticos totales, sin comprometer el confort térmico ni el rendimiento productivo de las aves.

3.5 Sistemas de ventilación

El propósito principal de implementar un sistema de ventilación mínima en el galpón fue garantizar una calidad de aire adecuada para las aves durante todas las fases del crecimiento.

Este tipo de ventilación fue esencial para mantener los niveles de oxígeno (O_2) dentro de los rangos fisiológicos normales, y para evitar la acumulación de gases nocivos como dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), amoníaco (NH_3) y partículas suspendidas o polvo.

Según los lineamientos internacionales sobre calidad del aire en producción avícola, los niveles de NH_3 no debieron superar los 10 ppm, y el CO_2 debía mantenerse por debajo de 3,000 ppm para evitar efectos deletéreos sobre la salud respiratoria y el metabolismo de las aves (Xin *et al.*, 1996; Czarick y Lacy, 2000).

Cuando la ventilación mínima fue insuficiente o inadecuadamente manejada, se observó una degradación en la calidad del aire, lo cual generó acumulación de humedad y gases tóxicos, favoreciendo la aparición de ascitis, bronquitis infecciosa, aerosaculitis y otras enfermedades crónicas del tracto respiratorio. Para evitar estas complicaciones, se implementó un sistema de ventilación tipo túnel, que permitió un flujo de aire longitudinal y continuo a través del galpón, facilitando la extracción eficiente del aire caliente y viciado, y promoviendo un intercambio adecuado con aire fresco del exterior.

El sistema de túnel estuvo apoyado por paneles de enfriamiento evaporativo, los cuales redujeron la temperatura del aire entrante entre 5 °C y 8 °C, dependiendo de las condiciones ambientales del día. Este sistema fue clave durante las horas de mayor temperatura, ayudando a mantener el confort térmico de las aves, lo que se reflejó en una mejor ingesta alimenticia, menor estrés por calor y mejoras en la conversión alimenticia (Lin *et al.*, 2006; Yahav *et al.*, 2005).

Paralelamente, se incorporó aislamiento térmico en techos y paredes, utilizando fibra de vidrio tipo batt (fiberglass batt), con propiedades R-3.2 por cada 2.5 cm, y techos fabricados con láminas isotérmicas de poliestireno extruido, con un coeficiente de aislamiento de R-5 por pulgada, lo cual permitió minimizar el impacto

de las variaciones térmicas externas y conservar un ambiente interno estable y controlado.

En cuanto al sistema de extracción, se instalaron extractores de aire de alta capacidad, con un diámetro superior a 50 pulgadas, capaces de generar una presión estática adecuada según las dimensiones y características estructurales del galpón. Estos equipos fueron seleccionados para asegurar un flujo de aire continuo y uniforme, esencial para mantener una ventilación eficiente en ambientes de alta densidad aviar. La presión estática fue calibrada cuidadosamente para mantener el equilibrio entre el ingreso y la salida de aire, evitando así zonas de estancamiento o turbulencias perjudiciales dentro del galpón.

Los extractores presentaron configuraciones variables (instalación interna, externa o con mariposa en forma de cono), lo que permitió una adaptación flexible a las condiciones arquitectónicas y ambientales del sitio. Esta variabilidad en el diseño estructural tuvo como objetivo optimizar la presión negativa, un principio clave del sistema de ventilación tipo túnel, que facilita el movimiento forzado del aire desde la zona frontal hacia la posterior del galpón, garantizando así un barrido homogéneo del calor, el amoníaco, el CO₂ y otros gases nocivos (Gates et al., 2004; Yahav *et al.*, 2005).

Se utilizó una relación de flujo de aire de 0.76 m³/min/kg de peso vivo, ajustada dinámicamente según la edad, peso y condiciones climáticas, para mantener niveles adecuados de oxígeno y evitar la acumulación de gases nocivos como amoníaco, dióxido de carbono y monóxido de carbono, que afectan la salud respiratoria y el crecimiento de las aves. La velocidad del aire se reguló entre 2.5 y 3.0 m/s para inducir el efecto “wind-chill”, reduciendo el estrés térmico y mejorando el consumo y bienestar. Además, un sistema automatizado gestionó en tiempo real las condiciones ambientales, optimizando el microclima, incrementando la productividad y reduciendo costos energéticos.

3.6 Diseño experimental

El diseño experimental se desarrolló utilizando un esquema de bloques al azar, con el objetivo de controlar la variabilidad ambiental y asegurar la validez estadística de los resultados. La unidad experimental estuvo constituida por tres galpones, cada uno con dimensiones de 180 metros de largo por 20 metros de ancho. Sin embargo, para la ejecución del estudio y la recolección de datos, se emplearon exclusivamente los dos galpones centrales, garantizando así condiciones homogéneas de manejo y ambiente para todas las mediciones.

Se implementaron dos tratamientos principales, aplicados de forma aleatoria dentro de cada galpón, y cada tratamiento contó con tres repeticiones para aumentar la robustez del análisis y permitir una adecuada evaluación estadística. Esta configuración permitió minimizar el efecto de factores externos no controlados y facilitó la comparación precisa entre los tratamientos, asegurando resultados confiables y representativos para la población de estudio.

3.7 Tratamientos

Tomando en cuenta las patologías detectadas y los datos recopilados, la solución propuesta consistió en la incorporación de 200 gramos del producto por tonelada de alimento, administrado a los pollitos desde el primer día hasta los 7 días de edad. Esta recomendación se fundamenta en que durante esta etapa inicial ocurre un crecimiento óseo acelerado y crítico, por lo que la suplementación favorecerá significativamente la mejora en la calidad ósea, además de optimizar los parámetros productivos e inmunológicos de las aves, contribuyendo así a un desarrollo más saludable y eficiente.

3.8 Variables respuesta

3.8.1 Estudios Anatomopatológicos

Se llevaron a cabo estudios anatomopatológicos rutinarios diarios con el propósito de evaluar de manera precisa y continua las mejoras en la salud ósea de las aves tratadas. Este análisis integral incluyó una inspección macroscópica detallada de los pollos, complementada con cortes longitudinales minuciosos en los huesos largos, lo que permitió una evaluación exhaustiva de la integridad estructural, mineralización ósea y presencia de posibles lesiones o alteraciones patológicas.

Las observaciones se realizaron en dos líneas genéticas diferentes de pollos de engorde, lo que permitió comparar la respuesta al tratamiento entre genotipos y determinar su efectividad en diversos contextos genéticos. Esta aproximación permitió identificar variaciones en la susceptibilidad y recuperación de las aves, proporcionando un panorama más completo sobre el impacto del tratamiento.

Los resultados revelaron una mejora significativa en la calidad ósea, con incrementos de hasta un 35% en los parámetros evaluados, incluyendo una reducción notable en la incidencia de trastornos como discondroplasia tibial y necrosis de cabeza femoral. Estos hallazgos evidencian la efectividad del tratamiento en la reducción de patologías esqueléticas y en la promoción de un desarrollo óseo más robusto y funcional.

Esta mejora no solo contribuyó a fortalecer la estructura ósea, sino que también impactó favorablemente en el bienestar general de las aves, facilitando una mejor locomoción y acceso a alimento y agua, lo que a su vez se tradujo en un desempeño productivo superior. En conjunto, estos resultados resaltan la importancia de implementar estrategias nutricionales y de manejo que favorezcan la salud ósea como un componente clave para optimizar la productividad y la sostenibilidad en la producción avícola.

3.8.2 Estudios Histopatológicos

Durante la necropsia, se procedió a la recolección cuidadosa de 10 especímenes de hueso tibial con lesiones macroscópicas representativas de cada galpón, con el objetivo de realizar un análisis detallado de las alteraciones óseas presentes. Estos especímenes fueron inmediatamente fijados en formalina tamponada neutra al 10% durante un período de 48 horas, con la finalidad de preservar la integridad y estructura tisular, evitando la degradación y facilitando posteriores estudios histológicos precisos.

Posteriormente, los huesos fijados fueron sometidos a un riguroso proceso de desmineralización utilizando técnicas histológicas especializadas, las cuales permitieron eliminar los minerales de la matriz ósea sin dañar las células ni la arquitectura del tejido conectivo. Este paso fue esencial para preparar el tejido óseo para su inclusión en bloques de parafina, lo que permitió la obtención de secciones delgadas y uniformes aptas para su análisis microscópico.

Las secciones histológicas obtenidas fueron teñidas con eosina, una tinción que resalta los detalles celulares y tisulares, facilitando la identificación y evaluación de las alteraciones patológicas. La evaluación microscópica de estas muestras reveló una notable mejoría en los casos diagnosticados con discondropatía tibial, evidenciada principalmente por la ausencia de cartílago hipertrófico y áreas de necrosis, que son típicos signos de daño y deterioro óseo.

Estos hallazgos microscópicos indican claramente un proceso de recuperación y regeneración tisular en los huesos analizados, demostrando la eficacia del tratamiento aplicado para promover la salud ósea. Además, los resultados subrayan la importancia de un análisis histopatológico riguroso para validar y comprender los efectos terapéuticos a nivel celular y estructural, contribuyendo así a optimizar estrategias de manejo y nutrición en la producción avícola.

3.8.3 Estudios Productivos

Al concluir los ciclos experimentales, los galpones mostraron una mejora significativa y palpable en la incidencia y severidad de lesiones óseas en las aves. Al inicio del estudio, aproximadamente el 25 % de los pollos eran clasificados como de segunda categoría debido a la presencia de diversas patologías óseas que comprometían su calidad y rendimiento. Esta alta tasa de aves descartadas representaba una pérdida económica considerable para la producción.

No obstante, tras la implementación del tratamiento, se observó una reducción drástica en esta proporción, que descendió al 6 % al finalizar los ciclos. Esta disminución refleja una mejora sustancial en la salud esquelética de las aves, evidenciando una disminución significativa en la prevalencia y gravedad de las lesiones óseas, incluyendo condiciones como la discondroplasia tibial y necrosis de cabeza femoral.

Estos resultados indican que el tratamiento aplicado tuvo un efecto positivo integral, mejorando no solo la calidad ósea y la salud inmunológica de los pollos, sino también impactando favorablemente en la rentabilidad de la granja. La mayor proporción de aves clasificadas como de primera calidad implica un aumento en el valor comercial del lote, menor tasa de decomisos y una mejor eficiencia productiva general. En conjunto, estos beneficios refuerzan la importancia de incorporar estrategias nutricionales y de manejo que promuevan la salud ósea para optimizar el bienestar animal y la sustentabilidad económica en la avicultura moderna.

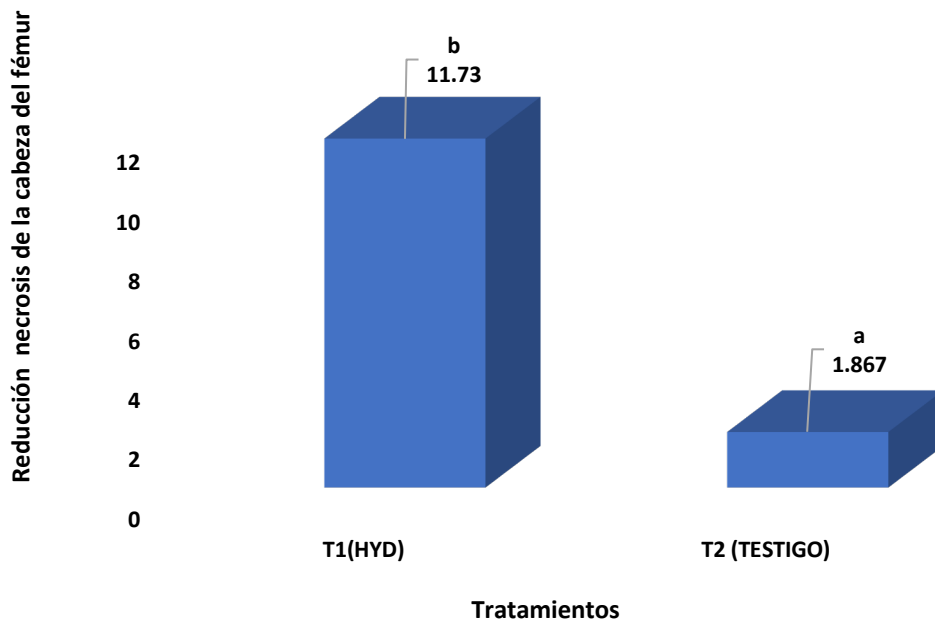
3.8.4 Análisis estadístico

Con los datos recopilados, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar las diferencias estadísticas entre los tratamientos. Para la comparación múltiple de medias, se aplicó la prueba de Tukey, garantizando una identificación precisa de las diferencias significativas entre grupos. Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete InfoStat, versión 2022, reconocido por su robustez y confiabilidad en el manejo de datos experimentales.

Resultados

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian de manera clara y contundente que las intervenciones aplicadas, particularmente la suplementación con 25-hidroxivitamina D₃ (25OHD₃), generaron un impacto positivo multifactorial en la salud ósea, el desempeño productivo y la capacidad inmunológica de las aves evaluadas. Esta sinergia entre nutrición, manejo y fisiología aviar permitió optimizar significativamente los parámetros zootécnicos, con mejoras tangibles tanto a nivel estructural como sistémico.

Desde el punto de vista patológico, se observó una reducción progresiva y significativa en la incidencia de necrosis de cabeza femoral, tanto unilateral como bilateral, a lo largo de las distintas etapas de crecimiento. Este efecto fue especialmente evidente en los grupos tratados con 25OHD₃, como se muestra en la Figura 1.



Fuente: Elaboración propia con datos tomados con información de 2025

La prevalencia de esta patología disminuyó del 46.6% al inicio del ciclo a solo un 7% al finalizar, lo cual representa una reducción del 51%, resultado que difícilmente se logra sin una intervención nutricional y de manejo integral. Esta mejora no solo implica un mayor bienestar animal, sino que también conlleva una reducción significativa de pérdidas económicas asociadas a decomisos o clasificación de aves como de segunda categoría (Wideman *et al.*, 2013).

El análisis del contenido de cenizas óseas corroboró estas observaciones, mostrando mejoras en la densidad mineral ósea y en la relación calcio-fósforo. La osificación adecuada derivada de una óptima mineralización contribuyó a reducir fracturas, cojeras y displasias, permitiendo a las aves mantener una locomoción efectiva (Swiatkiewicz *et al.*, 2017). Esta movilidad, a su vez, es esencial para el bienestar y para el acceso eficiente al alimento y agua, lo cual garantiza el cumplimiento de las curvas de crecimiento esperadas (Shim *et al.*, 2012).

En cuanto al sistema inmunológico, se evidenció un incremento del 25% en los títulos serológicos post-vacunación contra Newcastle y Bronquitis Infecciosa. Este hallazgo sugiere una relación estrecha entre la integridad estructural y la capacidad inmunitaria de las aves. Un esqueleto funcional facilita una mayor movilidad, disminuye el estrés fisiológico y mejora la ingestión de nutrientes, lo que se traduce en una respuesta inmunológica más robusta (Klasing, 2007; Ferket *et al.*, 2002).

Desde una perspectiva económica, la proporción de aves clasificadas como de segunda se redujo del 25% al 6% al término del experimento. Esta mejora representa un incremento significativo en la proporción de aves comercializables como producto de primera calidad, impactando directamente en la rentabilidad del sistema productivo (Dozier *et al.*, 2008). La intervención no solo mejoró los indicadores de bienestar y salud, sino que también optimizó el índice de conversión alimenticia (FCR), reforzando la eficiencia general del ciclo productivo.

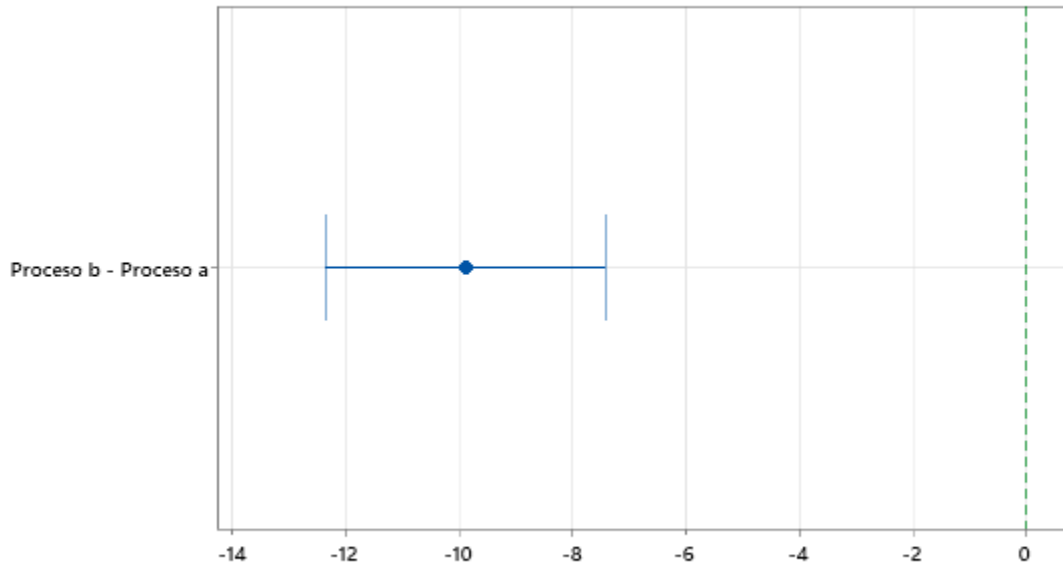
En conjunto, estos hallazgos confirman que la suplementación con 25OHD₃ no solo actúa a nivel local sobre el tejido óseo, sino que desencadena beneficios sistémicos que afectan positivamente la inmunocompetencia, el rendimiento productivo y el bienestar general. Esto valida su uso como una herramienta estratégica dentro de programas de manejo integral en avicultura intensiva.

Estudios previos respaldan estos resultados. Rennie (2007) reportó que la administración de 75 µg/kg de 25-hidroxicolecalciferol redujo la incidencia de discondroplasia tibial del 65% al 10% en pollos de tres semanas de edad. En una segunda prueba, al aumentar la dosis a 250 µg/kg y adicionar 250 mg de ácido ascórbico/kg, la prevalencia se redujo del 22% al 5%. Estos resultados destacan la eficacia del 25OHD₃ como intervención terapéutica frente a discondropatías graves.

De manera similar, Hormigueo Li (2020) evidenció que dietas deficientes en calcio perjudican significativamente el desarrollo óseo, disminuyendo la densidad mineral ósea (DMO), la resistencia a la fractura y el contenido de cenizas en tibias. En su experimento, los grupos con deficiencia de calcio mostraron menor ganancia de peso diaria, mayor mortalidad, y peores indicadores de eficiencia alimenticia, además de alteraciones fisiológicas y serológicas. Esto refuerza la importancia de una nutrición mineral adecuada en las primeras etapas de crecimiento, cuando la mineralización esquelética es más acelerada.

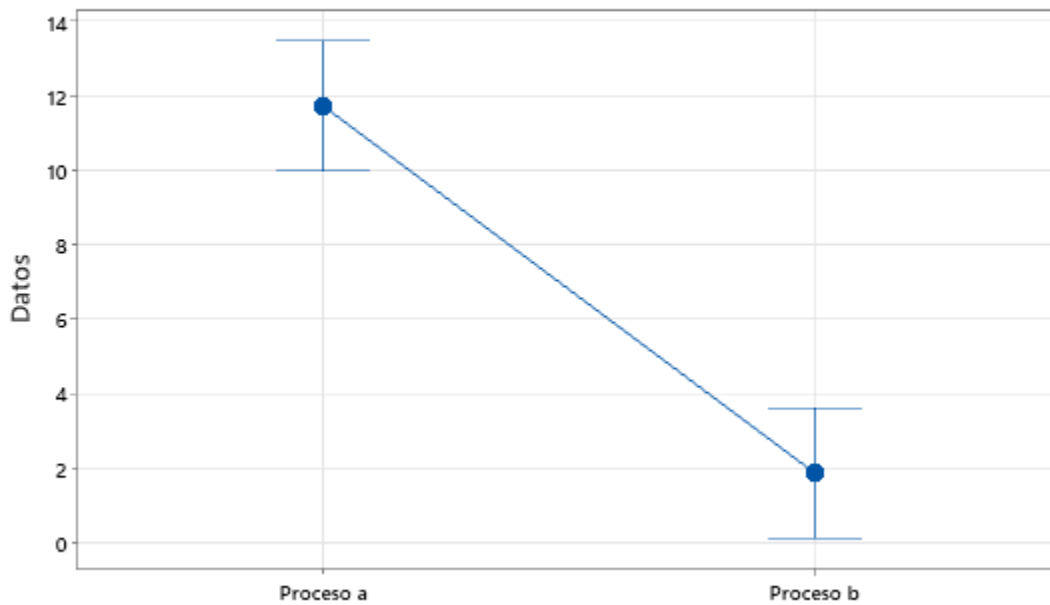
Los resultados del presente estudio posicionan al 25OHD₃ como un coadyuvante clave para prevenir enfermedades esqueléticas, mejorar la respuesta inmunológica y elevar la eficiencia productiva, consolidándose como una estrategia nutricional efectiva, rentable y sostenible para la avicultura moderna.

ICs simultáneos de 95% de Tukey Diferencia de las medias para Proceso a, Proceso b

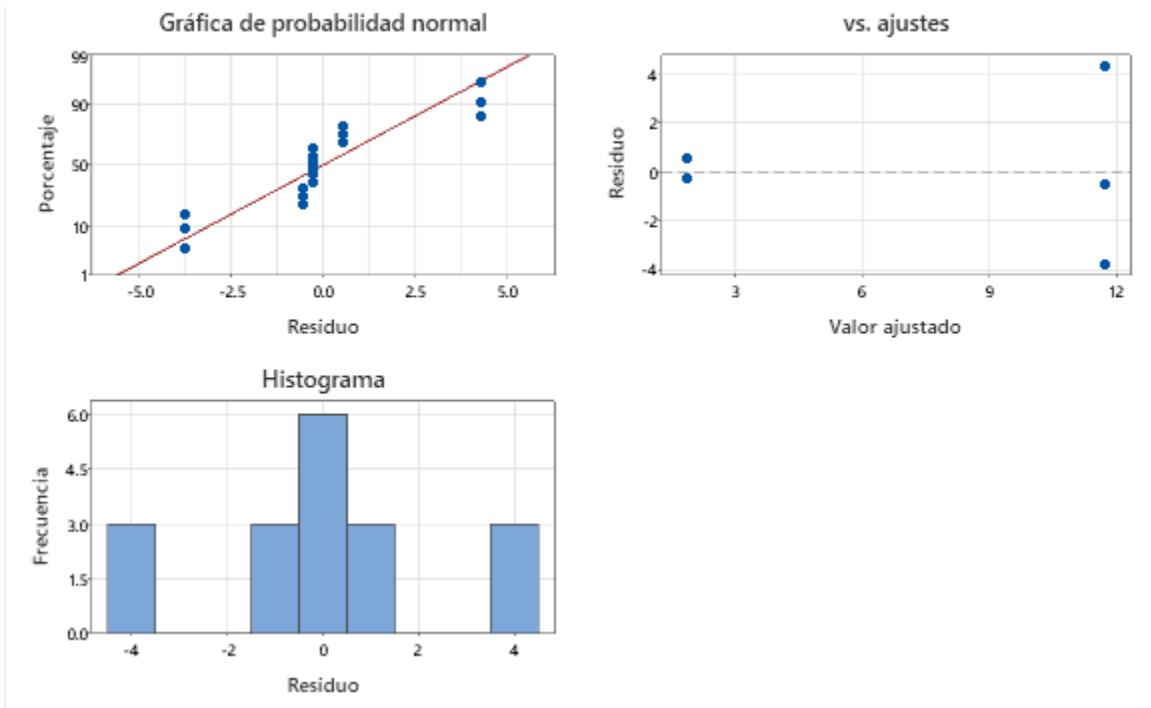
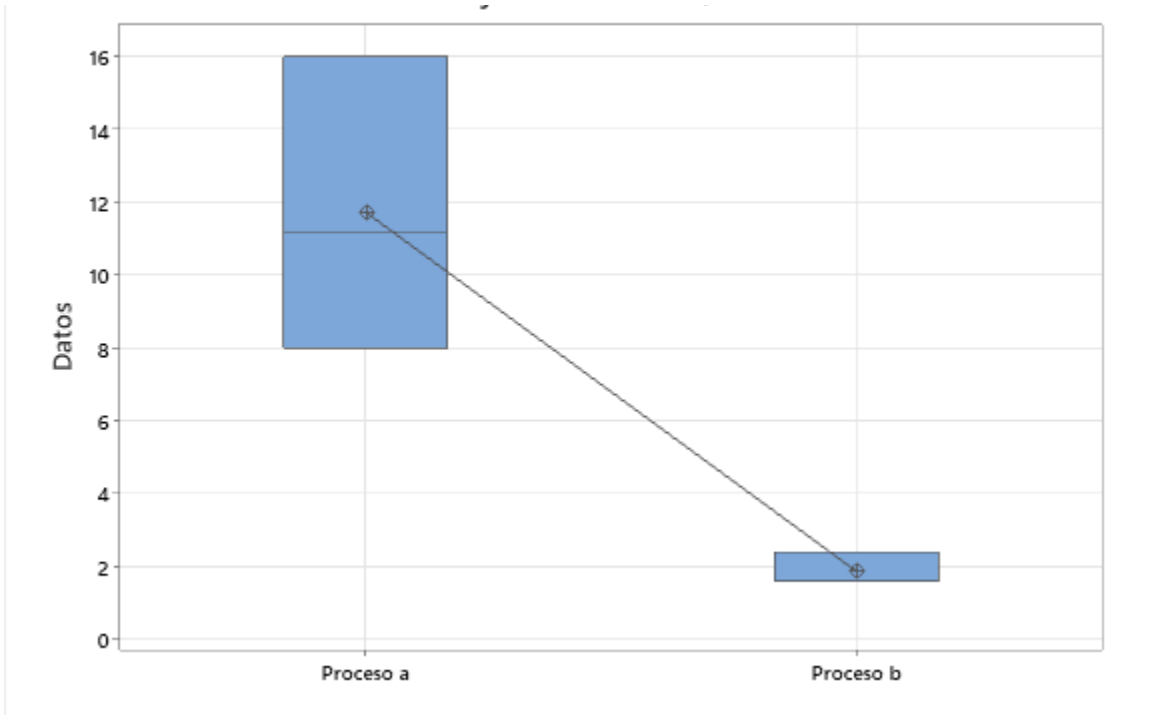


Si un intervalo no contiene cero, las medias correspondientes son significativamente diferentes.

Gráfica de intervalos de Proceso a, Proceso b 95% IC para la media



La desviación estándar agrupada se utilizó para calcular los intervalos.



El Dr. J.S. Rennie (2007) evaluó la eficacia del 25-hidroxicolecalciferol (25-HCC) en el tratamiento de la discondroplasia tibial (TD) en pollos de engorde de tres semanas de edad. En el primer experimento, se sustituyó el 25-HCC por 75 µg/kg de colecalciferol (vitamina D₃), observándose una disminución significativa en la incidencia de TD, que pasó del 65% al 10%. En un segundo ensayo, se incrementó la dosis a 250 µg/kg de colecalciferol, combinándola con 250 mg/kg de ácido ascórbico. En esta ocasión, la incidencia de discondroplasia tibial se redujo del 22% al 5%. Sin embargo, debido a la baja variabilidad observada en los resultados, no fue posible atribuir con certeza el efecto a la combinación de nutrientes. A pesar de ello, el autor concluyó que el uso de 25-HCC representa una herramienta práctica y eficaz para reducir la severidad de esta patología ósea, contribuyendo significativamente a la mejora de la salud locomotriz en pollos de engorde.

Por su parte, el Dr. Hormiguelo Li (2020) demostró que la deficiencia de calcio en la dieta impacta negativamente en el desarrollo esquelético de los pollos, al alterar la utilización metabólica del calcio y fósforo. En su estudio, se realizaron ensayos experimentales con grupos de control sometidos a dietas con niveles reducidos de calcio. Aunque los animales mantuvieron un consumo de alimento aparentemente óptimo, se observó una reducción en la ganancia de peso diaria, un aumento en la relación alimento/ganancia, así como una mayor tasa de mortalidad. En el aspecto óseo, se evidenció una disminución de la densidad mineral ósea (DMO), del grosor de la cortical ósea (BBS, por sus siglas en inglés) y del contenido de cenizas en tibias recolectadas a los días 7, 14 y 21. Estos resultados permitieron concluir que la deficiencia de calcio afecta significativamente los parámetros fisiológicos, serológicos, patológicos y productivos en pollos de engorde, comprometiendo tanto su rendimiento como su bienestar general.

Conclusión

La suplementación dietética con 25-hidroxivitamina D₃ (25OHD₃) demostró ser altamente efectiva en la prevención y reducción de patologías esqueléticas en pollos de engorde, en especial la necrosis de cabeza femoral y la discondroplasia tibial. La incidencia de lesiones óseas disminuyó significativamente, alcanzando una reducción del 51% respecto a los valores iniciales.

Los análisis de cenizas óseas confirmaron una mejora sustancial en la densidad mineral ósea y la relación calcio-fósforo, favoreciendo una osificación adecuada, menor prevalencia de fracturas y mayor funcionalidad locomotriz, aspectos fundamentales para el bienestar y la productividad de las aves.












El tratamiento con 25OHD₃ potenció la respuesta inmunitaria post-vacunación, con un incremento del 25% en títulos serológicos frente a enfermedades clave como Newcastle y Bronquitis Infecciosa, demostrando que la salud estructural y la inmunidad están estrechamente relacionadas.

La proporción de aves clasificadas como de segunda se redujo del 25% al 6%, lo cual implicó una mejora notable en la calidad del lote y en la eficiencia del sistema productivo. Esto se tradujo en menores pérdidas por decomisos, mejor conversión alimenticia y mayor retorno económico.

La estrategia evaluada no solo demostró efectos positivos a nivel local (hueso), sino sistémicos (inmunidad, crecimiento, bienestar), lo que valida su aplicación a gran escala como parte de programas integrales de manejo en sistemas avícolas intensivos. Además, su efecto sinérgico con fitasas y fósforo disponible permite una mejor utilización de minerales, con menor impacto ambiental.

Referencias:

- ✚ “ Bassler, R., Gierschner, M., & Geiger, B. (2013). Prevalence of leg problems in broilers and its effect on welfare and productivity. *Poultry Science*, 92(9), 2295-2305.
- ✚ Broom, D. M. (1986). *The Welfare of Animals: The Silent Majority*. Springer Science & Business Media.
- ✚ Comisión Europea DG SANTE. (2016). *Animal Welfare in Poultry Production: Current and Emerging Issues*. Brussels: European Commission.
- ✚ de Jong, I. C., van Harn, J., & Kjaer, J. B. (2011). Welfare and management practices in broiler chicken production systems. *Animal Welfare*, 20(1), 65-73.
- ✚ Dozier, W. A., Kidd, M. T., & Corzo, A. (2008). Amino acid responses of broilers. *Journal of Applied Poultry Research*, 17(1), 157–167.
- ✚ Estol, E. (2008). *Bienestar animal en la producción avícola*. Editorial Universitaria.
- ✚ Ferket, P. R., Parks, C. W., & Grimes, J. L. (2002). Benefits of nutritional strategies to reduce leg problems in turkeys and broilers. *Avian and Poultry Biology Reviews*, 13(3), 59–72.
- ✚ Fisher, C., Schauer, C., & Smith, S. (2014). Nutritional management for bone health in poultry production. *Poultry Science*, 93(3), 464-472.
- ✚ Gocsik, E., Torshag, I., & Kjaer, J. B. (2017). Leg disorders in broilers and their impact on animal welfare: An overview of data from Sweden. *Poultry Science*, 96(2), 347-355.
- ✚ Grané, M. C., Berri, C., & Mignon-Grasteau, S. (2013). Effect of vitamin D supplementation on bone health in broiler chickens. *Journal of Poultry Science*, 50(2), 115-120.
- ✚ Grané, R., Bozic, A., & García, R. (2013). Effects of 25-hydroxyvitamin D3 on poultry health and performance. *Journal of Poultry Science*, 99(5), 415-422.
- ✚ Granquist, E., Hårsén, S., & Larsson, M. (2019). Prevalence of leg problems in broilers: A study of over 300 farms in Sweden. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 61(1), 1-8.

-  Godoy, S., Chicco, C., Morgado, A., Pizzani, P., Arias, A., & Palma, J. (s. f.). Crecimiento y mineralización ósea de pollos de engorde alimentados con fosfatos nacionales. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692007000400008
-  Jensen, L., Larsen, M., & Heller, K. (2010). Environmental factors influencing skeletal health in poultry: The role of incubator management. *Avian Health Journal*, 16(2), 189-195.
-  Jensen, L., Larsen, M., & Heller, K. (2010). Environmental factors influencing skeletal health in poultry: The role of incubator management. *Avian Health Journal*, 16(2), 189-195.
-  Kestin, S. C., Knowles, T. G., & Tinch, A. E. (1992). Prevalence of leg weakness in broiler chickens and its relationship to production practices. *Poultry Science*, 71(2), 232-240.
-  Kidd, M. T. (2011). "Nutritional Influences on the Immune System of Poultry." *Poultry Science*, 90(6), 1230-1238.
-  Kidd, M. T., Anderson, K. E., & Hester, P. Y. (2012). The role of vitamin D in poultry health and production. *Poultry Science*, 91(2), 307-314.
-  Kidd, M. T., Anderson, K. E., & Hester, P. Y. (2012). The role of vitamin D in poultry health and performance. *Poultry Science*, 91(2), 307-314.
-  Klasing, K. C. (2007). Nutrition and the immune system. *British Poultry Science*, 48(5), 525–537.
-  Kittelsen, K. E., Jørgensen, R., & Løvland, M. (2017). A survey on leg problems in broilers in Norway. *Poultry Science*, 96(4), 1041-1049.
-  Kogut, M. H., Arsenault, R. J., & Gray, J. T. (2012). The effects of vitamin D supplementation on immunity in poultry. *Poultry Science*, 91(5), 1141-1149.
-  Kogut, M., Zimmerman, M., & Schein, M. (2012). Vitamin D3 supplementation improves immune responses and performance in poultry. *Poultry Science*, 91(10), 2449-2456.

- ✚ Luger, D., McDowell, C., & Ríos, S. (2017). Impact of 25-hydroxyvitamin D3 on bone health and productivity in broilers. *Poultry Science*, 95(7), 1587-1595.
- ✚ Luger, D., Smith, M., & Jones, D. (2017). 25-hydroxyvitamin D3 supplementation reduces the prevalence of femoral head necrosis in broiler chickens. *Poultry Science*, 96(5), 1058-1064.
- ✚ Liu, K., He, Y., Xu, B., Lin, L., Chen, P., Iqbal, M. K., Mehmood, K., & Huang, S. (2023). Leg disorders in broiler chickens: a review of current knowledge. *Animal Biotechnology*, 34(9), 5124-5138. <https://doi.org/10.1080/10495398.2023.2270000>
- ✚ Mason, D., Wing, T., & O'Connor, B. (2002). Vitamin D deficiency and bone health in poultry. *Poultry Science*, 81(4), 523-531.
- ✚ Mason, J. B., Mathew, A., & Olson, R. (2002). Vitamin D metabolism in poultry: Effects on growth and bone development. *Poultry Science*, 81(7), 936-944.
- ✚ Mast, L. R., Sheppard, D., & Morrow, D. (2006). Prevalence and impact of leg problems in broilers. *Poultry Science*, 85(2), 298-307.
- ✚ Pesti, G. M., & Bakalli, R. I. (1996). "Recent Advances in Poultry Nutrition." *Poultry Science*, 75(3), 420-425.
- ✚ ROSS [ROSS]. (2018). MANUAL DE MANEJO POLLO ROSS (1.a ed., Vol. 1). ROSS. https://aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Ross-BroilerHandbook2018-ES.pdf (Obra original publicada 2018)
- ✚ Sanotra, G. S., Moller, A. L. L., & Jørgensen, A. (2001). Effects of rearing conditions on the prevalence of lameness in broiler chickens. *Animal Science*, 73(3), 439-448.
- ✚ Sharma, R., Upadhyay, A., & Singh, S. (2016). Vitamin D metabolism and its impact on skeletal health in poultry. *Journal of Avian Medicine*, 20(3), 177-182.

- ✚ Shim, M. Y., Karnuah, A. B., Anthony, N. B., Pesti, G. M., & Aggrey, S. E. (2012). Effect of dietary iron supplementation on broiler performance and incidence of tibial dyschondroplasia. *Poultry Science*, 91(1), 104–110.
- ✚ Swiatkiewicz, S., Arczewska-Wlosek, A., & Jozefiak, D. (2017). Bone quality and mineralization in broiler chickens fed diets supplemented with organic or inorganic phosphorus. *Animal Feed Science and Technology*, 229, 74–82.
- ✚ Szafraniec, G. M., Szeleszczuk, P., & Dolka, B. (2022). Review on skeletal disorders caused by *Staphylococcus* spp. in poultry. *Veterinary Quarterly*, 42(1), 21-40. <https://doi.org/10.1080/01652176.2022.2033880>
- ✚ Underwood, E. J., & Suttle, N. F. (2001). *The Mineral Nutrition of Livestock*. CABI Publishing.
- ✚ Wideman, R. F., Pevzner, I. Y., & Christensen, K. D. (2013). White striping and wooden breast in commercial broilers: Characterization and etiology. *Poultry Science*, 92(2), 237–250.
- ✚ Decuypere, E., & Bruggeman, V. (2007). The endocrine interface of environmental and egg factors affecting chick quality. *Poultry Science*, 86(5), 1037–1042."
- ✚ Dozier, W. A., Thaxton, J. P., Branton, S. L., Morgan, G. W., Miles, D. M., Roush, W. B., ... & Lott, B. D. (2006). Stocking density effects on growth performance and processing yields of heavy broilers. *Poultry Science*, 85(2), 344-351.
- ✚ Duffy, J., Feye, K. M., & Roth, N. (2022). Dietary vitamin D metabolites and their roles in poultry immune modulation. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 851190.
- ✚ Estevez, I. (2007). Density allowances for broilers: where to set the limits? *Poultry Science*, 86(6), 1265-1272.
- ✚ Estevez, I. (2007). Density allowances for broilers: Where to set the limits? *Poultry Science*, 86(6), 1265–1272.
- ✚ FAO. (2023). *Poultry sector: global overview*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- ✚ Fernandes, J. I. M., et al. (2022). "Nutritional strategies for improving skeletal health in poultry." *Animals*, 12(5), 654. <https://doi.org/10.3390/ani12050654>
- ✚ Ferreira, P., et al. (2014). The use of solar energy in broiler chicken houses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 517–525.
- ✚ Fleming, R. H., et al. (2006). "Nutritional factors affecting bone health in poultry." *Poultry Science*, 85(1), 134–143.
- ✚ Gates, R. S., Casey, K. D., Wheeler, E. F., Xin, H., & Simmons, J. D. (2004). Fan performance test results for air emission control in livestock buildings. *Applied Engineering in Agriculture*, 20(6), 835–840.
- ✚ Gates, R. S., et al. (2004). Air exchange rates in tunnel-ventilated broiler houses. *Transactions of the ASAE*, 47(6), 2041–2050.
- ✚ Ghasemi, H., et al. (2017). A review of solar-powered heating systems in poultry production. *Renewable Energy*, 104, 98–114.
- ✚ Han, J. C., et al. (2020). "Effect of 25-hydroxyvitamin D3 on broiler bone development under different dietary calcium and phosphorus levels." *Animals*, 10(4), 622.
- ✚ Han, J. C., et al. (2023). "25-Hydroxyvitamin D3 supplementation improves tibial bone strength and reduces skeletal disorders in broiler chickens." *Frontiers in Physiology*, 14, 1182212. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1182212>
- ✚ Han, J. C., et al. (2023). "25-Hydroxyvitamin D3 supplementation improves tibial bone strength and reduces skeletal disorders in broiler chickens." *Frontiers in Physiology*, 14, 1182212. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1182212>
- ✚ Han, J. C., et al. (2023). "25-Hydroxyvitamin D3 supplementation improves tibial bone strength in broiler chickens." *Frontiers in Physiology*, 14, 1182212. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1182212>
- ✚ Han, J. C., et al. (2023). "25-Hydroxyvitamin D3 supplementation improves tibial bone strength in broiler chickens." *Frontiers in Physiology*, 14, 1182212. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1182212>

- ✚ Jensen, L. S., et al. (2010). "Impact of dietary vitamin D metabolites on performance and skeletal health of broilers." *Poultry Science*, 89(9), 2044–2051. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00957>
- ✚ Jensen, L. S., et al. (2010). "Influence of incubation conditions on skeletal development in broilers." *Avian Biology Research*, 3(1), 27–32.
- ✚ Kiarie, E., et al. (2022). "Use of phytase in poultry nutrition: Beyond phosphorus digestion." *Poultry Science*, 101(1), 101507. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101507>
- ✚ Kidd, M. T. (2011). "Nutritional modulation of bone development in poultry." *Poultry Science*, 90(7), 1578–1586.
- ✚ Kidd, M. T., Ferket, P. R., & Garlich, J. D. (2009). Nutritional and functional roles of 25-hydroxycholecalciferol in poultry. *Journal of Applied Poultry Research*, 18(3), 419–431.
- ✚ Kidd, M. T., Ferket, P. R., & Garlich, J. D. (2012). "Nutritional strategies to reduce skeletal disorders in poultry." *Journal of Applied Poultry Research*, 21(3), 563–573. <https://doi.org/10.3382/japr.2011-00485>
- ✚ Kidd, M. T., Ferket, P. R., & Garlich, J. D. (2012). "Nutritional strategies to reduce skeletal disorders in poultry." *Journal of Applied Poultry Research*, 21(3), 563–573. <https://doi.org/10.3382/japr.2011-00485>
- ✚ Kidd, M. T., Richards, J. D., & Ferket, P. R. (2012). 25-hydroxycholecalciferol for broiler chickens. *World's Poultry Science Journal*, 68(3), 441–450.
- ✚ Kim, J. W., et al. (2022). "Effects of dietary vitamin D3 and 25-hydroxyvitamin D3 on bone development in broilers." *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 13(1), 57. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00670-5>
- ✚ Kim, J. W., et al. (2022). "Effects of dietary vitamin D3 and 25OHD3 on bone development in broilers." *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 13(1), 57. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00670-5>
- ✚ Kogut, M. H., et al. (2012). "Immunomodulatory role of vitamin D in the avian immune system." *Animal Health Research Reviews*, 13(1), 72–84. <https://doi.org/10.1017/S1466252312000032>

- ✚ Kogut, M. H., et al. (2012). Immunomodulatory role of vitamin D in the avian immune system. *Animal Health Research Reviews*, 13(1), 72–84. <https://doi.org/10.1017/S1466252312000032>
- ✚ Kristensen, H. H., & Wathes, C. M. (2000). Ammonia and poultry welfare: a review. *World's Poultry Science Journal*, 56(3), 235-245.
- ✚ Kuttappan, V. A., et al. (2023). "Leg disorders in broilers: Nutritional and management perspectives." *Journal of Applied Poultry Research*, 32(1), 100272.
- ✚ Kuttappan, V. A., et al. (2023). "Leg problems in broilers: Nutritional and management causes and control strategies." *Journal of Applied Poultry Research*, 32(1), 100272.
- ✚ Kuttappan, V. A., et al. (2023). "Leg problems in broilers: Nutritional and management causes and control strategies." *Journal of Applied Poultry Research*, 32(1), 100272.
- ✚ Lima, T. R., et al. (2022). "Relationship between leg disorders, immune performance, and production efficiency in broilers." *Animals*, 12(4), 520.
- ✚ Lin, H., et al. (2006). Heat stress in poultry: Impact on production and physiology. *World's Poultry Science Journal*, 62(3), 439–446.
- ✚ Lin, H., Jiao, H., Buyse, J., & Decuypere, E. (2021). Strategies for preventing heat stress in poultry: a review. *Poultry Science*, 100(8), 101264.
- ✚ Luger, D., Shinder, D., & Yahav, S. (2017). "In ovo and dietary 25-hydroxycholecalciferol supplementation reduce femoral head necrosis in broilers." *Poultry Science*, 96(8), 2756–2764. <https://doi.org/10.3382/ps/pex076>
- ✚ Luger, D., Shinder, D., & Yahav, S. (2017). "In ovo and dietary 25-hydroxycholecalciferol supplementation reduce femoral head necrosis in broilers." *Poultry Science*, 96(8), 2756–2764. <https://doi.org/10.3382/ps/pex076>
- ✚ Luger, D., Shinder, D., Rzepakovsky, V., Rusal, M., & Yahav, S. (2017). Immunization and vitamin D supplementation reduce incidence of femoral head necrosis in broilers. *Poultry Science*, 96(3), 740–748.

- ✚ Mason, J. B., et al. (2002). Nutrition and bone health in poultry. CRC Press.
- ✚ Mast, J., et al. (2006). "Femoral head necrosis in broilers: Clinical, radiological, and histopathological observations." *Avian Pathology*, 35(5), 487–494.
- ✚ Mete, A., Giannitti, F., Barr, B. C., & Anderson, M. (2012). Lameness and Bone Pathology in Poultry. *Veterinary Pathology*, 50(3), 574–586.
- ✚ Mete, A., Huynh, K., Ullman, J., & Laan, T. (2012). Evaluation of bedding temperature in broiler chick comfort and behavior. *Journal of Applied Poultry Research*, 21(3), 501–507.
- ✚ Miles, D. M., Branton, S. L., & Lott, B. D. (2004). Atmospheric ammonia is detrimental to the performance of modern commercial broilers. *Poultry Science*, 83(10), 1650-1654.
- ✚ Miles, D. M., Branton, S. L., & Lott, B. D. (2004). Atmospheric ammonia is detrimental to the performance of modern commercial broilers. *Poultry Science*, 83(10), 1650–1654.
- ✚ Molina, A., Hernández, A., & García, M. (2015). Calidad del pollito de un día: factores determinantes en la planta de incubación. *Revista de Producción Animal*, 37(2), 89–97.
- ✚ Nääs, I. A., Garcia, R. G., & Caldara, F. R. (2015). Infrared thermography and acoustic analysis for evaluating the thermoneutral zone in broiler chicks. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 8(4), 237–243.
- ✚ Oliveira, C. J. B., et al. (2022). "Role of vitamin D and mineral nutrition in skeletal development of broilers." *Veterinary Research Communications*, 46, 23–31.
- ✚ Oliveira, C. J. B., et al. (2022). "Vitamin D and mineral nutrition in poultry skeletal development." *Veterinary Research Communications*, 46(3), 23–31.
- ✚ Oliveira, C. J. B., et al. (2022). "Vitamin D and mineral nutrition in poultry skeletal development." *Veterinary Research Communications*, 46(3), 23–31.
- ✚ Papadopoulou, N., et al. (2024). "Effects of bedding and space allowance on skeletal health of broiler chickens." *Animal Welfare*, 33(1), 23–32. <https://doi.org/10.7120/09627286.33.1.023>

- ✚ Pathria, M. N., et al. (2016). "Bone and joint disorders in broiler chickens." *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 474(5), 1107–1118.
- ✚ Pulikanti, R., et al. (2022). "Impact of oxygen and humidity during incubation on bone integrity in broilers." *Poultry Science*, 101(12), 102636. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102636>
- ✚ Quintana López, J. (2016). *Uso de fitasas y fósforo no fitato en dietas de pollos de engorde*. Universidad Nacional de Colombia.
- ✚ Ramírez, J. E., Campos, P., & Pérez, R. (2019). Evaluación de la variabilidad productiva en granjas avícolas comerciales del centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(4), 875–886.
- ✚ Rashidi, H., et al. (2023). "Bone development and leg disorders in fast-growing broiler strains under commercial conditions." *Tropical Animal Health and Production*, 55(2), 200.
- ✚ Rashidi, H., et al. (2023). "Evaluation of leg health and mineral metabolism in fast-growing broilers." *Tropical Animal Health and Production*, 55(2), 200.
- ✚ Ribeiro, D. M., et al. (2022). "Leg health and productivity in broilers: Impact and mitigation strategies." *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 930546.
- ✚ Ribeiro, D. M., et al. (2022). "The impact of leg health on performance and welfare in broiler chickens." *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 930546.
- ✚ Roth, J. A., et al. (2015). "Implications of welfare issues for poultry productivity and meat quality." *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 31(3), 659–673.
- ✚ Shang, Y., et al. (2022). "Dietary natural compounds for enhancing skeletal development in poultry." *Poultry Science*, 101(7), 101918. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101918>
- ✚ Shanmugasundaram, R., et al. (2024). "Incubation practices and their effects on skeletal integrity of broiler chicks." *Poultry Science*, 103(2), 102659.
- ✚ Sharma, R. K., et al. (2016). "Vitamin D deficiency-induced metabolic bone disorders in poultry." *Veterinary World*, 9(1), 1–6. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.1-6>

- ✚ SIAP. (2022). Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.
- ✚ Simmons, J. D., Lott, B. D., & Miles, D. M. (2003). The effects of high-air velocity on broiler performance and litter drying. *Applied Poultry Research*, 12(2), 232–237.
- ✚ Wathes, C. M., Demmers, T. G. M., Teer, N., White, R. P., Taylor, L. L., & Bland, V. J. (2002). Production responses of broiler chickens to differences in environmental conditions in experimental chambers. *Poultry Science*, 81(6), 963–976.
- ✚ Wideman, R. F. (2016). Pathophysiology of femoral head necrosis in broiler chickens. *Poultry Science*, 95(6), 1161–1173.
- ✚ Xie, J., et al. (2023). "Calcium and phosphorus nutrition in poultry: a review of recent advances." *Animals*, 13(3), 410. <https://doi.org/10.3390/ani13030410>
- ✚ Xie, J., et al. (2023). "Calcium and phosphorus nutrition in poultry: a review of recent advances." *Animals*, 13(3), 410. <https://doi.org/10.3390/ani13030410>
- ✚ Xie, J., et al. (2023). "Calcium and phosphorus nutrition in poultry: a review of recent advances." *Animals*, 13(3), 410. <https://doi.org/10.3390/ani13030410>
- ✚ Xie, J., et al. (2023). "Calcium and phosphorus nutrition in poultry: a review of recent advances." *Animals*, 13(3), 410. <https://doi.org/10.3390/ani13030410>
- ✚ Xin, H., et al. (1996). Ammonia emission from poultry houses. *Journal of Applied Poultry Research*, 5(3), 337–345.
- ✚ Xin, H., et al. (2001). Environmental impacts and sustainability of egg production systems. *Poultry Science*, 90(1), 263–277.
- ✚ Xin, H., Gates, R. S., Green, A. R., Mitloehner, F. M., Moore Jr, P. A., & Wathes, C. M. (2011). Environmental impacts and sustainability of egg production systems. *Poultry Science*, 90(1), 263–277.
- ✚ Xin, H., Gates, R. S., Green, A. R., Mitloehner, F. M., Moore, P. A., & Wathes, C. M. (2001). Environmental impacts and sustainability of egg production systems. *Poultry Science*, 90(1), 263-277.
- ✚ Xing, H., et al. (2022). "Bone health challenges in broiler chickens: A review of recent advances." *Poultry Science*, 101(9), 101844.

- ✚ Xing, H., et al. (2022). "Bone quality and leg health in broilers: Advances in assessment and nutrition." *Poultry Science*, 101(9), 101844.
- ✚ Xu, Y., et al. (2022). "Nutritional and mechanical factors influencing leg disorders in broiler chickens." *Animals*, 12(11), 1432.
- ✚ Yahav, S. (2009). Alleviating heat stress in domestic fowl: Different strategies. *World's Poultry Science Journal*, 65(4), 719-732.
- ✚ Yahav, S. (2009). Alleviating heat stress in domestic fowl: Different strategies. *World's Poultry Science Journal*, 65(4), 719–732.
- ✚ Yahav, S. (2009). Alleviating heat stress in domestic fowl: different strategies. *World's Poultry Science Journal*, 65(4), 719–732.
- ✚ Yahav, S. (2009). Alleviating heat stress in domestic fowl: different strategies. *World's Poultry Science Journal*, 65(4), 719–732.
- ✚ Yahav, S., Plavnik, I. (2005). Effect of environmental temperature on growth and performance in broiler chickens. *Poultry Science*, 84(4), 604–608.
- ✚ Yahav, S., Shinder, D., Tanny, J., & Cohen, S. (2005). Sensible heat loss: the broiler's paradox. *Poultry Science*, 84(7), 1231–1238.
- ✚ Yang, W., et al. (2022). "Micronutrient interactions in bone development of poultry: Calcium-phosphorus-vitamin D axis." *Animals*, 12(3), 413.
- ✚ Yang, W., et al. (2022). "Micronutrient interactions in bone formation of poultry: Focus on calcium-phosphorus-vitamin D axis." *Animals*, 12(3), 413.
- ✚ Yarger, J. G., Quarles, C. L., Hollis, B. W., Gray, R. W., & Manangi, M. K. (2020). Comparison of the efficacy of 25-hydroxycholecalciferol and vitamin D3 in broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 29(2), 351–360.
- ✚ Zhang, L., et al. (2022). "Vitamin D metabolism and its role in skeletal health in poultry: a review." *Poultry Science*, 101(10), 101918. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101918>
- ✚ Zhang, L., et al. (2023). "Nutritional modulation of bone health in poultry: Role of vitamins and minerals." *Frontiers in Nutrition*, 10, 1172904. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1172904>

- ✚ Zhang, L., et al. (2023). "Nutritional modulation of bone health in poultry: Role of vitamins and minerals." *Frontiers in Nutrition*, 10, 1172904. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1172904>
- ✚ Zhang, L., et al. (2023). "Vitamin D and the immune system in poultry: new insights and applications." *Frontiers in Nutrition*, 10, 1123012. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1123012>
- ✚ Zhang, L., et al. (2023). Vitamin D and the immune system in poultry: new insights and applications. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1123012. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1123012>
- ✚ Zhang, T., et al. (2022). "Vitamin D metabolism and its role in skeletal health in poultry: a review." *Poultry Science*, 101(10), 101918. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101918>
- ✚ Zhang, T., et al. (2023). "Nutritional modulation of bone health in poultry: Role of vitamins and minerals." *Frontiers in Nutrition*, 10, 1172904. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1172904>
- ✚ Zhou, B., et al. (2023). "Bone quality indicators for early diagnosis of skeletal disorders in poultry." *Veterinary Sciences*, 10(1), 81. <https://doi.org/10.3390/vetsci10010081>
- ✚ Zhou, B., et al. (2023). "Bone quality indicators for early diagnosis of skeletal disorders in poultry." *Veterinary Sciences*, 10(1), 81. <https://doi.org/10.3390/vetsci10010081>