



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



EVALUACIÓN ÓSEA MEDIANTE RADIOGRAFÍAS DE LA  
QUILLA Y RESISTENCIA EN DOS HUESOS LARGOS DE GALLINAS QUE  
FINALIZARON EL CICLO DE POSTURA BAJO TRES SISTEMAS DE  
PRODUCCIÓN

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

PRESENTA

ADILENE JIMÉNEZ GASPAR

ASESORAS:

MVZ. ALMA SELENE VÁZQUEZ DELGADO

MVZ. ROSA ELENA MÉNDEZ AGUILAR

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD MX, 2024



Universidad Nacional  
Autónoma de México

**Biblioteca Central**

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**

**Tesis Digitales**

**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **Dedicatorias**

A mi mamá Petra Gaspar Jiménez por su esfuerzo, amor y confianza.

A mis hermanos Gustavo y Sergio, a mis sobrinos Astrid y Sergio por su apoyo y amor.

A Alfredo por su confianza, amor, por su apoyo incondicional y por motivarme todos los días.

A mis padrinos Margarita y Jose, porque esperamos los tiempos mejores y por la promesa que hicimos.

A Delilah por llegar a mi vida en el momento justo y motivarme todos los días.

A todas las aves que dieron su vida para esta tesis.

A todos los doctores del CEIPAv por la oportunidad y apoyo: Dra Alma, Dr Jorge, Dr Ezequiel, Dra Ma. del Pilar, Dra Elizabeth.

## **Agradecimientos**

Esta tesis no hubiera sido posible sin el apoyo durante todo el tiempo de muchas personas, especialmente de la Dra. Alma Selene Vázquez Delgado por ser mi asesora todo este largo tiempo.

De igual manera a mi segunda asesora Rosa Elena Méndez Aguilar por sus revisiones a mi trabajo final.

A los doctores Ezequiel Sánchez, Elizabeth Morales, Jorge Iriarte, Ma. Del Pilar Castañeda, por su apoyo.

Al Centro de Enseñanza e investigación de producción avícola por la oportunidad, espacio, por los conocimientos que adquirí.

Al Hospital Veterinario de Especialidades UNAM de la facultad, principalmente a la sección de imagenología por la oportunidad y espacio.

Agradezco a toda mi familia por su apoyo incondicional.

Por todo el apoyo y animo que siempre me brindaron, a mis amigos Jessica, Mariela, Alexis, Felipe, Alejandra, Ithai.

A los compañeros de servicio social que colaboraron en la realización de la tesis.

Gracias por confiar en mí.

## Contenido

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Resumen</b>                                                                  | <b>4</b>  |
| <b>Introducción</b>                                                             | <b>6</b>  |
| Importancia de la avicultura y producción de huevo                              | 6         |
| Historia de la producción de huevo                                              | 7         |
| Importancia fisiológica del calcio y fósforo en la producción de huevo.         | 12        |
| Los huesos de las aves                                                          | 14        |
| Anatomía de la quilla                                                           | 16        |
| Daño del hueso de la quilla                                                     | 16        |
| Causas del daño al hueso de la quilla                                           | 19        |
| Tipos de fracturas                                                              | 23        |
| Métodos para la evaluación del hueso de la quilla                               | 24        |
| Radiografía en aves                                                             | 27        |
| <b>Hipótesis</b>                                                                | <b>28</b> |
| <b>Objetivos</b>                                                                | <b>28</b> |
| <b>Material y métodos</b>                                                       | <b>29</b> |
| <b>Diseño experimental y análisis estadístico.</b>                              | <b>33</b> |
| <b>Resultados</b>                                                               | <b>34</b> |
| Cuadro 1. Daños en el hueso de quilla a la palpación (callos o fracturas) n (%) | 35        |

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 2. Presencia de desviación en el hueso de quilla a la palpación n (%) -----                                           | 35 |
| Cuadro 3. Presencia de fracturas, grado de severidad según la escala de Rufener<br>n (%)-----                                | 37 |
| Cuadro 4. Efecto del sistema productivo en las variables de estudio-----                                                     | 37 |
| Cuadro 4. Efecto del sistema productivo en las variables de estudio-----                                                     | 39 |
| <i>Discusión</i> -----                                                                                                       | 39 |
| <i>Conclusión.</i> -----                                                                                                     | 52 |
| <i>Tabla de resultados.</i> -----                                                                                            | 55 |
| Cuadro 1.-----                                                                                                               | 55 |
| Cuadro 2.-----                                                                                                               | 55 |
| Cuadro 3. Presencia de fracturas, grado de severidad según la escala de Rufener<br>n (%)-----                                | 56 |
| Cuadro 4. Efecto del sistema productivo en las variables de estudio-----                                                     | 56 |
| <i>Imágenes</i> -----                                                                                                        | 57 |
| Imagen 1 Radiografía de una gallina del sistema convencional, escala 0-----                                                  | 57 |
| Imagen2 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema<br>convencional con escala número 3.-----              | 58 |
| Imagen 3 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema de piso<br>con evaluación 1. -----                    | 59 |
| Imagen 2 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema de jaula<br>enriquecida evaluada en la escala 0 ----- | 60 |

|                                                                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Imagen 3 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema enriquecido evaluado en la escala 1 ..... | 61        |
| Imagen 4 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema enriquecido en la escala 2 .....          | 62        |
| Imagen 5 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema enriquecido evaluado en escala 3.....     | 63        |
| Imagen 6 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema enriquecido evaluado en escala 4.....     | 64        |
| Imagen 7 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema de piso evaluada en escala 0. ....        | 65        |
| Imagen 8 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema de piso evaluada en escala 1 .....        | 66        |
| Imagen 9 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema de piso evaluado en escala 2 .....        | 67        |
| Imagen 10 Radiografía de una gallina alojada en sistema de piso con escala 3 ---                                 | 68        |
| <b>Referencias</b> .....                                                                                         | <b>69</b> |

## Resumen

AUTOR Adilene Jiménez Gaspar

Título: Evaluación ósea mediante radiografías de la quilla y resistencia en dos huesos largos de gallinas que finalizaron el ciclo de postura bajo tres sistemas de producción

Asesoras: Alma Selene Vázquez Delgado y Rosa Elena Méndez Aguilar

Resumen: Los daños en el esternón llamado comúnmente como “quilla” de las aves se dividen en fracturas y desviaciones, las causas son múltiples, los factores asociados son: el alojamiento, aspectos de nutrición, genética y edad. Algunos métodos de evaluación existentes son: palpación, disección; radiografías, ultrasonografía y tomografía. En el presente estudio se evaluaron las quillas de 90 gallinas Bovans White de 106 semanas de edad, por medio del análisis de radiografías y palpación. Los grupos de estudio estaban divididos en tres sistemas de alojamiento: sistema de piso, jaula convencional y jaula enriquecida. Mediante el método de palpación no hubo una diferencia estadística entre los alojamientos y la presencia de fracturas, en el caso de las desviaciones el sistema de piso presentó mayor incidencia ( $\chi^2=21.202$   $p<0.001$ ).

En la evaluación de las imágenes radiográficas el análisis estadístico mostró que existió diferencia significativa ( $\chi^2=30.210$ ,  $p<0.001$ ) entre los sistemas. En la categoría “Ausencia de fracturas” el mayor porcentaje corresponde a las aves alojadas en jaulas convencionales, es decir, de las 90 aves evaluadas 35 estaban

libres de fracturas, de éstas el 60% provenían de las jaulas convencionales. En la categoría “al menos una fractura en el último tercio” se encontraron 28 de las 90 aves evaluadas, de éstas el 53.6% corresponden a aves del sistema de piso. De las 30 gallinas del sistema de piso la mitad, tenían al menos una fractura.

En cuanto a la longitud de la quilla, las gallinas alojadas en las jaulas enriquecidas tuvieron menor longitud ( $p<0.05$ ).

Referente a la resistencia a la ruptura del tibiotarso si hubo diferencias estadísticas entre los sistemas de producción, los huesos de menor resistencia ( $p<0.05$ ) fueron los provenientes de las aves de las jaulas convencionales.

En lo que respecta al húmero, los de las aves alojadas en el sistema de piso presentaron resistencia significativamente mayor ( $p<0.05$ ) que los otros sistemas.

El método de palpación es una alternativa en la detección de los daños en el hueso de la quilla, sin embargo, los resultados están influenciados por la experiencia del evaluador. El uso de imágenes radiográficas es un método eficaz de diagnóstico, pero complejo de implementar a nivel de campo. Los sistemas alternativos como las jaulas enriquecidas y los sistemas sin jaulas aumentan el riesgo de daños en el hueso esternal por lo que ante el aumento de los mismos es necesario explorar mejores métodos diagnósticos y trabajar en seleccionar aves que se adapten mejor a los nuevos sistemas de producción así como en estrategias nutricionales que contribuyan a la salud ósea de las gallinas de postura.

## Introducción

### Importancia de la avicultura y producción de huevo

La avicultura, en México, como actividad productiva, es de suma importancia, ya que contribuye con el 63% de la producción pecuaria. De este porcentaje, el 28.5% corresponde a la producción de huevo, 34.44% a pollo de engorda y 0.17% a pavo.

[1]

Cabe destacar que, nuestro país, tiene el consumo per cápita más alto a nivel mundial (23 kg). En cuanto a producción, en 2019 se alcanzaron 2,802,656 toneladas de huevo, siendo Jalisco el estado con la mayor producción, seguido de Puebla y Sonora.

El huevo, como fuente de alimento, es un producto que contiene grasas de fácil digestión, aminoácidos esenciales, vitaminas (A, D, E, K, vitaminas B), minerales (calcio, magnesio, selenio, sodio, zinc y fósforo), así como proteína de buena calidad, que lo hace el producto estándar de evaluación proteica [2]<sup>l</sup>

Los componentes del huevo son: 31 % de yema, clara 59 % y la cáscara 10 % del peso total del huevo. De dichos componentes el cascarón está formado por 1.6 % de agua, 3.5 % de matriz orgánica, y 95 % de minerales inorgánicos [3]

La formación del huevo se lleva a cabo en 26 horas, de las cuales 19 a 20 horas corresponden a la formación del cascarón, misma que se divide en 3 fases: crecimiento de cristales, crecimiento lineal de cristales y mineralización [3]. Todo el proceso requiere de grandes cantidades de calcio (Ca), proveniente no sólo por el

útero sino también del hueso medular, por ello una buena alimentación es de suma importancia. [4]

## Historia de la producción de huevo

La forma como se produce el huevo ha cambiado a lo largo del tiempo, debido a la demanda creciente y preferencias del consumidor, así como los aspectos económicos. En un inicio la crianza de gallinas fue una actividad dirigida por mujeres, esta crianza se caracterizaba por realizarse en grandes espacios, con poco control sobre la alimentación y la salud de las aves. Eran comunes los cruces de especies con gallos de pelea, lo que generó que estas aves fueran resistentes al entorno y a ciertas enfermedades. En la actualidad aún se conservan estas condiciones en la avicultura de pequeña escala, en la que el objetivo principal es el autoconsumo [5]

Posteriormente, por su fácil manejo y reproducción, más personas se interesaron en la producción avícola; por lo que se importaron razas especializadas en la producción provenientes de E.U y Canadá. Se modificaron las condiciones del alojamiento; las aves se mantuvieron en entornos confinados, con una alimentación un poco más controlada de maíz y salvado. También se aumentó la inversión, por lo tanto, dichos cambios se vieron reflejados en el aumento de la producción y en el precio del huevo [5].

A nivel mundial, en 1930 se introdujeron las jaulas convencionales como sistema de alojamiento .[5] Este sistema se caracteriza por ofrecer 433.3 cm<sup>2</sup> de espacio

por gallina, posee un comedero y un bebedero de tetina o copa frente a la jaula; el alimento se encuentra disponible todo el tiempo. Cuenta con un piso inclinado para que el huevo ruede al frente de la jaula y se evite la contaminación con excretas, así mismo el diseño permite que el manejo de las aves sea más fácil. La introducción del sistema de jaulas género que se pudieran albergar más gallinas en menos espacio por lo que se obtenían mayores ganancias [6,7].

De acuerdo con Mench y Rodenburgn [8], en México, este sistema predomina hasta en un 100 % en la producción intensiva; en países de Europa el porcentaje comenzó a disminuir, debido al interés por parte del consumidor en el tema del bienestar animal, que busca que las aves produzcan en un ambiente libre de estrés y sufrimiento. Por ello, en la actualidad, se buscan alternativas a la producción de huevo en jaulas convencionales, en sistemas que cuenten con enriquecimiento ambiental.

El enriquecimiento ambiental se refiere a proporcionar a los animales un entorno que estimule comportamientos naturales propios de su especie, y así disminuir enfermedades por comportamientos anormales como picaje y canibalismo. El enriquecimiento ambiental se puede implementar de dos formas:

- \* Físico: aumento de espacio por gallina, perchas de diferentes modelos y tamaños, nidos, material de cama, material para baños de tierra.
- \* Social: convivencia de varias gallinas en un mismo alojamiento [9].

Por lo anterior los sistemas de jaula convencional son altamente criticados, debido a que restringen el movimiento, además no permite que las aves expresen pautas

conductuales como; anidar, perchar, forrajear o los baños de tierra. Algunos países europeos, en el año 2012, comenzaron a prohibir el uso de jaulas convencionales y se promovieron los sistemas alternativos, como las jaulas enriquecidas o sistemas sin jaulas como; piso, aviario y corral [10]. Además, se introdujeron materiales adecuados para que las aves pudieran mostrar sus comportamientos naturales [11].

La jaula enriquecida es un sistema que permite la convivencia entre un mayor número de aves. Además ofrece mayor espacio para cada gallina (748.4 cm<sup>2</sup>). Fue desarrollada en Europa en el año 2000. Dentro de las características que la diferencian del sistema tradicional o convencional, es la presencia de un nido, perchas (que pueden ser de diferentes formas y materiales), un área para búsqueda de alimento o para desplazarse. Algunas jaulas cuentan con espacios de baños de tierra. Lo anterior, da la oportunidad a las gallinas de expresar mayores pautas conductuales.

Al igual que la jaula convencional, el piso está inclinado para permitir que los huevos rueden a la canastilla y no se ensucien. Cuenta con comederos de canal a los dos lados de la jaula, y bebederos de tetina [6,11].

Uno de los primeros diseños, fue elaborado por Elson en 1976 y fue denominado “jaula de escape”. Esta jaula solo tenía un nido, perchas y mayor espacio, pero con el paso del tiempo se fue modificando y mejorando para ser más eficiente [12]. Sin embargo, algunos autores consideran que, a pesar de todo, el espacio es aún limitado para que las gallinas expresen sus pautas conductuales. Doyon et al [10] afirman que en este sistema es más difícil manipular a las aves y que hay mayor prevalencia de enfermedades infecciosas, canibalismo y mortalidad [13].

Casey-Trott et al. [14] y Regmi et al. [15] reportaron que la ventaja principal de tener a las gallinas bajo este sistema es que los huesos son más resistentes como consecuencia del aumento de espacio para realizar ejercicio. Los autores, encontraron mayor contenido mineral cortical de los huesos y disminución de fracturas.

Según Liu K. et al. [16] la población de gallinas que se alojan en este tipo de sistemas es de 58 % en la Unión Europea. En contraposición, en México su uso no se ha implementado a gran escala.

Por otro lado, en la producción en piso se lleva a cabo de dos formas: con acceso a áreas exteriores o sin él. La ventaja del sistema que no permite el acceso al exterior es que hay protección contra depredadores y a condiciones ambientales adversas [11]. El alojamiento de piso permite espacios aún mayores para cada gallina que van desde los 0.09 m<sup>2</sup> a 0.14 m<sup>2</sup> para cada una. Dentro del alojamiento hay elementos como nidos, material de cama, perchas, comederos y bebederos. En cuanto a las excretas, éstas se mezclan con el material de cama y se eliminan al final del ciclo. Los huevos se pueden encontrar dentro de los nidos o fuera de ellos, por lo que la higiene del huevo puede comprometerse [6].

Con respecto a los costos de producción, cuando se comparan diferentes sistemas productivos, algunos autores señalan que, los alojamientos alternativos aumentan los costos de producción comparados con las jaulas convencionales. En el caso de producción sin jaulas, los costos aumentan un 36 %, así mismo con las jaulas enriquecidas el costo aumenta un 13 %. Esto debido a varios factores, como el

incremento en las necesidades de mano de obra, diferentes requerimientos nutricionales y el uso menos eficiente del espacio [10].

Además del impacto económico, se ha reportado que cambiar a un sistema alternativo produce problemas de salud en las gallinas como; daños en el hueso de la quilla, pododermatitis e infecciones bacterianas. Por ende, mayores tasas de mortalidad; adicionalmente McMullin [18] publicó que es menos sostenible ambientalmente [19].

No obstante, existe un interés creciente, por parte de los consumidores de productos de origen animal por el nivel de bienestar que tienen los animales de granja. Un ejemplo de lo anterior es la encuesta realizada en México por La Lama et al. [20]. Los resultados mostraron que las personas encuestadas estaban interesadas en las cuestiones de bienestar animal y que estaban dispuestos a pagar más por productos provenientes de granjas con prácticas encaminadas a elevar el bienestar. Sin embargo, de forma general, solo estaban dispuestos a pagar un 10 % extra por esos productos.

La jaula convencional, que es el sistema predominante en México, ha sido fuertemente criticada pues se considera que el nivel de bienestar animal es bajo, debido principalmente al espacio con el que cuentan las aves (433.3 cm<sup>2</sup>).

## Importancia fisiológica del calcio y fósforo en la producción de huevo.

El calcio y fósforo son los minerales más importantes para la salud ósea y la formación de huevo, por ello se debe mantener el equilibrio de estos minerales. La formación del cascarón requiere de grandes cantidades de calcio (Ca), de 2 a 2.5 gramos del mineral. El origen del Ca, por un lado, proveniente de la dieta, que se encuentra disponible en el suero y ya que la mayor demanda se da durante la noche cuando la gallina no está consumiendo alimento, por otro lado este calcio también se obtiene del hueso medular, proceso que es regulado por la glándula paratiroides que secreta la parathormona y 25-OH-D3 [21, 22].

El proceso de resorción comienza al disminuirse la concentración de Ca en el plasma, lo que activa a la parathormona. Esta es la encargada de convertir a la vitamina D a D3 (1,25-(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>) o calcitriol, misma que tiene efecto sobre el riñón, intestino, hueso y piel. Lleva a cabo las siguientes acciones:

- Intestino: actúa en la absorción de calcio y fósforo.
- Hueso: degradación del hueso medular para liberar partículas de calcio y fósforo de forma rápida.
- Riñón: reabsorbe calcio y suprime la absorción de fósforo para mantener una adecuada relación [23].

En los huesos, el calcio se encuentra en forma de hidroxapatita. Cuando se detecta la ausencia de calcio sérico, la parathormona empieza a actuar, estimula a los osteoclastos para liberar partículas de calcio acompañadas de fósforo [23]. El hueso

medular es el que suministra calcio con mayor rapidez en momentos de alta demanda, y es más eficiente al inicio del ciclo de postura [24].

Cuando cesa la demanda de Ca, los receptores para calcitonina presentes en los osteoclastos cesan su actividad. Después, los osteoblastos utilizan el Ca libre para restaurar el hueso, con la limitante de que el fósforo debe estar disponible para que se almacenen juntos como hidroxapatita. Si la resorción ósea es mayor que la formación de hueso, el volumen del hueso disminuye, ocasionando osteoporosis [25]. A mayor edad de las aves los osteoblastos pierden la capacidad de llenar completamente el espacio de resorción, sumado a la pérdida de capacidad para almacenar calcio, así como mayor demanda de calcio debido a la formación de huevos de mayor tamaño; dan como resultado una disminución en la masa ósea generando que aumente la predisposición a fracturas [25,21].

Con el objetivo de aumentar el calcio sérico, se han realizado estudios, modificando el tamaño de la partícula de este mineral. Se ha observado que las partículas grandes proporcionan mayor disponibilidad sérica ya que permanecen por más tiempo en la molleja y con ello la absorción intestinal continúa durante la formación del cascarón; mientras que las partículas finas de calcio administran de forma rápida calcio, pero por poco tiempo [26].

Olgun y Aygun [22] encontraron correlación positiva de la resistencia ósea con la administración de mayores cantidades de calcio en la dieta. De igual forma existió mayor resistencia a la ruptura cuando se cambiaba una proporción de calcio fino por calcio grueso en gallinas de más de 60 semanas. Molnar et al [27] realizaron un experimento en el que compararon una dieta con relación de Ca fino y grueso de

70/30 y otra con alimentación dividida en dos raciones al día; durante la mañana se daba más calcio fino y durante la noche más calcio grueso. Los autores, encontraron que, la resistencia de los huesos de las aves alimentadas con dos raciones diarias fue mayor.

Así pues, el tamaño adecuado de partículas de este mineral en la dieta, así como modificaciones en la alimentación, generan una mejor disponibilidad en sangre, y con ello el calcio proveniente de las reservas del hueso se utilice en menor cantidad, lo que genera que a largo plazo se evite el daño óseo [28].

La manera en la que se distribuyen los minerales es importante. Los huesos de aves en sistemas convencionales se caracterizan por tener un hueso cortical más reducido, así como hueso medular con más cavidades absorbidas, mientras que las aves de sistemas enriquecidos tienen un hueso cortical más grueso y no presenta cavidades de absorción. Por lo anterior la homeostasis del calcio es de suma importancia para que las gallinas conserven en buen estado el hueso cortical y sean menos susceptibles a las fracturas [29,30].

### Los huesos de las aves

Las aves poseen tres tipos de hueso: trabecular, cortical y medular [31]. El hueso trabecular se caracteriza por tener una red delgada de trabéculas, separadas por médula ósea y células hematopoyéticas. Las aves, tienen pocos huesos de este tipo, se encuentra principalmente en la metáfisis de los huesos del cráneo, pelvis, esternón, costillas y húmero, son pocos debido a la presencia de los huesos neumáticos [31]. Por otro lado, el hueso cortical es más compacto y duro por lo tanto es más resistente, es la capa externa de los huesos del esqueleto [32]. Por tal motivo

es importante mantenerlo saludable; la pérdida de este hueso por resorción debe tomarse en consideración debido a su baja tasa de remodelación durante la puesta [33].

Así mismo, otra de las particularidades de los huesos de las aves, es que algunos son de tipo neumático. Los huesos neumáticos son huecos y están infiltrados por los sacos aéreos, que abarcan el espacio de la médula. Estos huesos son el húmero y fémur [34].

Otro tipo de hueso importante es el hueso medular. Puede aportar de 40 a 60 % del calcio requerido para formar la cáscara de un huevo, ya que posee propiedades que lo hacen la fuente principal de calcio, como:

- \* Depende del estrógeno; permite la diferenciación de osteoblastos, así como la disminución de osteoclastos según las necesidades.
- \* Tiene un papel de depósito de calcio de rápido acceso, debido a la distribución aleatoria de los cristales de hidroxapatita y menor grado de mineralización [35].

Este tipo de hueso según Kerschnitzki M et al. [36] se encuentra dentro de la cavidad medular en la diáfisis media de huesos largos, principalmente en el fémur, quilla, ulna y tibio tarso proximal [37]. En general este tipo de hueso tiene la característica de ser más débil comparado con otros tipos de hueso y su formación comienza antes de la puesta por los osteoblastos [38,35].

## Anatomía de la quilla

El hueso esternal en las aves, mejor conocido como quilla o quilla del esternón, se encuentra en posición ventral y sagital. Es un hueso neumático debido a que puede almacenar aire que proviene de los sacos aéreos [39]. Su longitud es de 9 a 12 cm [40]. Este hueso detiene su crecimiento aproximadamente a la semana 18 de vida del ave, pero su osificación termina hasta la semana 40. Sin embargo, la parte caudal a menudo no logra osificarse por la alta demanda de calcio durante el ciclo de producción, lo que resulta en que sea cartilaginosa [40, 41, 42].

Las características del hueso dependen de la especie de ave. Las aves no voladoras presentan una quilla poco desarrollada, en comparación con aquellas que sí vuelan [42].

## Daño del hueso de la quilla

El hueso de la quilla es susceptible sufrir daños, algunos autores utilizan las siglas KBD del inglés “*keel bone damage*” para referirse a dicho daño, mismo que engloba varios tipos de lesiones y se ha descrito solo en gallinas de postura. Comenzó a reportarse en la Unión Europea, posterior a la prohibición de las jaulas convencionales, se buscaron las causas y se asoció a factores genéticos, ambientales y nutricionales [43]. En un principio, se relacionó con las jaulas convencionales, por la restricción de movimiento, pero se observó un incremento con la introducción de sistemas alternativos [44, 45]. Tiene una prevalencia de 25 a 36% en jaula convencional, prevalencias mayores a 30 % en jaulas enriquecidas [46], mientras que en los sistemas sin jaulas es de 48-90 % [47].

El daño al hueso de la quilla usualmente se divide en dos tipos; desviaciones y fracturas. En las desviaciones la quilla no sigue una línea recta en su borde ventral, puede desviarse hacia dorsal o ventral y adquirir forma de “S”, también pueden presentarse protuberancias o muescas. Las fracturas son fisuras o discontinuidad del hueso, pueden estar presentes en cualquiera de sus bordes, dorsal, ventral, caudal o craneal [41].

Uno de los factores involucrados en el daño es el alojamiento. En el estudio realizado por Petrick et al [48] evaluaron por el método de palpación las quillas de aves alojadas en dos sistemas productivos, encontraron mayor presencia de fracturas en el sistema de piso que en el de jaula 48.3 % a 24.8 % respectivamente.

De igual forma, Spiridonović et al [49] compararon la presencia de fracturas y desviaciones en la quilla, de aves alojadas en jaulas convencionales y aves alojadas en aviario, la evaluación se realizó a las 43 semanas de vida y posteriormente a las 72 semanas. Encontraron una mayor incidencia de fracturas (28%) y desviaciones (16%) en las aves del aviario, que en las de jaula enriquecida, que correspondieron a 27 % de fracturas y 4 % de desviaciones.

Según las características y severidad de las fracturas Thofner et al [50] concluyen que las quillas de gallinas alojadas en sistemas enriquecidos presentan mayor formación de callos óseos, mientras que en sistemas de jaulas las fracturas son más discretas; en ambos sistemas las fracturas coinciden en la parte caudal del hueso.

El daño se ha observado con mayor frecuencia en el borde ventral del hueso, así como, con diferentes grados de severidad. Autores como Saraivaa et al [47] y

Chargo et al. [51] concuerdan en que las deformaciones se crean a partir de la formación de callos asociados a la reparación de una fractura. No obstante, Riber et al [41] reportó que las desviaciones son producto de la presión que se ejerce sobre el hueso cuando las aves perchan por un largo período.

La prevalencia aumenta con la edad [41], la parte más susceptible es el borde ventral, debido a su posición, relativamente expuesta, lo que aumenta la susceptibilidad a golpes con objetos dentro del alojamiento [51, 40].

Se menciona que, las aves disminuyen su actividad, presentan dificultades respiratorias, compresión medular [14], así mismo, disminuyen su productividad y bienestar a causa del dolor que genera, Riber et al [41] en su revisión encontró que las aves afectadas optan por permanecer en un lugar fijo del alojamiento, disminuyen sus movimientos y evitan los lugares altos.

En el estudio realizado por Riber et al [41], se reporta que las gallinas que presentan fracturas producen menos huevos y con menor grosor del cascarón.

Diversos autores han establecido escalas para evaluar y clasificar el daño. Donaldson et al, [52] clasifican las lesiones en 5: 0, sin ningún daño; 1, una fractura muy pequeña; 2, dos a tres fracturas; 3, varias fracturas, presencia de callos y desviación; 4, múltiples fracturas, callos y severa desviación. Habig et al [43] y Grafl et al, [53] utilizaron 3 descripciones: sin fracturas, deformidad leve, deformidad moderada a severa. Djukic et al, [19] solo evalúan la presencia o no de daño: 0, sin presencia de daño; 1, presencia de daño. Rufener et al, [54] proponen una escala visual que utiliza radiografías para la evaluación del daño. Incluye la gravedad de la

lesión y la localización, va del nivel 0 al 5, 0 implica que no hay fracturas ni daños, en el nivel 5 hay varias lesiones en el hueso a lo largo del mismo, es por ello que en el presente trabajo se empleó dicha escala.

### Causas del daño al hueso de la quilla

Las causas del daño al hueso de la quilla han sido objeto de muchos trabajos de investigación, se han asociado a diversos factores como aspectos genéticos, sistema de producción y en menor medida a aspectos nutricionales [55, 38].

Así mismo se han realizado estudios de la osteoporosis y su relación con la aparición de fracturas, lo que representa otra posible causa de dicho problema [56, 38, 57].

La osteoporosis se caracteriza por la pérdida de material estructural de los huesos, de esta manera los huesos son susceptibles a daños, principalmente fracturas [56].

Cuando la osteoporosis es severa ocasiona fracturas, principalmente en las uniones costocondrales, en el hueso de la quilla y en las vértebras torácicas [58].

Wang et al [59] realizaron un estudio para evaluar la conformación de los huesos en diferentes edades de las gallinas, mediante microscopio de fuerza atómica. Observaron que las fibras de minerales y colágeno eran más amplias y uniformes conforme avanzaba la edad del ave. A su vez, evaluaron la mineralización con espectroscopia Raman y encontraron que la materia orgánica disminuyó con la edad, pero aumentó el grado de mineralización. En cuanto al tamaño de las partículas de calcio, también se observó disminución con la edad. Concluyeron que

las aves son más propensas a la osteoporosis por la conformación de las fibras de mineral y colágeno, así como la pérdida de calcio sustituido por bioapatita y no por el tamaño de las partículas como se planteaba.

Rodríguez, et al, [30] en su investigación encontraron que la osteoporosis es causada por factores como genética, alojamiento y dieta. Cuando no existe suficiente cantidad de calcio en sangre ni en el hueso medular, los osteoclastos toman la reserva del hueso cortical, lo que genera que el hueso sea más susceptible a fracturas. Compararon aves alojadas en jaulas y en aviario, al final reportaron que las aves del aviario presentaron un hueso cortical con menos mineralización, madurez y organización del colágeno que las aves en jaula convencional. Concluyeron que los huesos de las aves de aviario fueron más resistentes por su alta tasa de reabsorción debida a la posibilidad de realizar ejercicio.

Así pues, Casey-Trott et al [14] estudiaron la relación ejercicio-resistencia desde una edad temprana, pollitas alojadas en aviarios se trasladaron a sistemas convencionales o alternativos (aviario, jaula enriquecida de 30 gallinas y jaula enriquecida de 60 gallinas) al entrar en producción, observaron que la posibilidad de realizar ejercicio mejoró las características de resistencia y contenido mineral en aves de sistemas alternativos.

Neijat et al, [60] realizaron la comparación de las propiedades del hueso de aves alojadas en diferentes sistemas a lo largo de la etapa de crianza y producción como se muestra a continuación:

→ Crianza en aviario-producción en aviario

- Crianza en jaula-producción en jaula
- Crianza en jaula-producción en aviario
- Crianza aviario-producción en jaula

Los resultados mostraron que las gallinas de jaula- jaula tuvieron huesos menos resistentes, los huesos de las aves de aviario-aviario fueron más resistentes a la fractura, aunque había buenos resultados si la crianza era en jaula y la producción en aviario. Ellos concluyen que este aumento de la resistencia es por el aumento de ejercicio, que proporciona mejores cualidades a los huesos tal como lo muestran estudios anteriores.

En cuanto a la genética, se ha observado que tiene una relación estrecha con el daño al hueso de la quilla [45]. Stratmann et al [61] realizaron una comparación de dos líneas genéticas; una seleccionada por su alta resistencia ósea contra una de baja resistencia, encontrando menor prevalencia de fracturas óseas en la línea de mayor resistencia ósea.

Candelotto et al [62] compararon una línea comercial de gallinas consideradas susceptibles al daño del hueso de la quilla, contra líneas genéticas puras experimentales elegidas por su alta resistencia ósea, los resultados mostraron una menor prevalencia de fracturas en las líneas puras, por lo que concluyen que, una selección genética adecuada para la resistencia de huesos reduciría los daños fracturas y desviaciones en la quilla [57, 38].

Estudios señalan, que el tipo de alojamiento tiene una gran influencia con la aparición de daños en el hueso de la quilla, principalmente por el diseño, espacio y

equipos disponibles dentro del sistema como: perchas, comederos, bebederos, y nidos.

A pesar de los beneficios que tienen los sistemas alternativos en cuanto a la expresión de comportamientos naturales y mayor resistencia ósea, también se ha observado una mayor prevalencia de fracturas, algunos autores lo asocian a los elementos dentro del alojamiento [44], ya que las gallinas chocan con ellos en sus aterrizajes ocasionando fracturas [63].

Se ha observado que el uso de perchas es una de las causas de la deformidad del hueso de la quilla, no obstante, depende del material y su forma. Materiales rígidos dañan más el hueso que materiales suaves o con cubiertas blandas [44]. Baker et al [46] sugieren que el daño se genera cuando el ave se dirige del piso a la percha, empujones entre gallinas que están en la percha, pérdida del equilibrio cuando están sobre ésta y movimientos de percha a percha debidos a la dominancia.

Como medida para disminuir el daño al hueso de la quilla y pododermatitis a causa de las perchas, Heerkens et al [63] propusieron el uso de rampas entre el piso y las perchas, obtuvieron buenos resultados; el daño disminuyó en el sistema aviarío con rampas y mejoras genéticas (alta y baja productividad), las gallinas presentaban menor daño al hueso de la quilla por el método de palpación, así como disminución de la presentación de pododermatitis.

Por otro lado, el aumento de espacio da a las gallinas la posibilidad de planear hacia distintas áreas, lo que genera, que los músculos pectorales ejerzan mayor presión

sobre el hueso de la quilla [63], por ello se menciona que el aumento de espacios predispone a fracturas [44].

En cuanto a nutrición, el nutriente que se toma en mayor consideración es el calcio, debido a su alta demanda en la producción de huevo [64, 65]. Un estado de nutrición deficiente puede generar una mayor prevalencia y gravedad de fracturas [65].

Para mejorar la disponibilidad de calcio durante el periodo de postura, se han hecho estudios en los que se administra el calcio en diferentes tamaños de partículas, las partículas grandes de calcio permanecen mayor tiempo en la molleja, para proporcionar calcio durante la formación de cascarón, lo que disminuye la resorción ósea, y resulta en una mayor resistencia a la ruptura [65, 26, 66].

## Tipos de fracturas

Las fracturas son discontinuidad en un hueso o cartílago, con posible daño a tejidos aledaños; lo que afecta el suministro de sangre y la función normal [67]. Existen diversas formas para clasificar a las fracturas, dependiendo de:

- \* El grado de desplazamiento: desplazado- no desplazado
- \* Estado de la piel cercana a la fractura: cerrada, abierta
- \* Forma de la fractura: transversal, espiral, oblicua, simple, segmentaria, conminuta.
- \* Sección del hueso que involucra: intraarticular, metáfisis, diáfisis
- \* Causa: traumática, estrés, insuficiencia mineral, patológica [68].

Sin embargo, en el caso de la evaluación al daño del hueso de la quilla, algunos autores como Rufener et al [54], Richards et al [69], Baur et al [70] han clasificado las fracturas de acuerdo con:

- Su forma: transversal, oblicua, espiral, fisuras y conminutas [67].
- El número de fracturas presentes en la quilla.
- La localización de la fractura: punta, tercio medio, dorsal, ventral.
- Edad de la fractura: antigua, nueva.

### Métodos para la evaluación del hueso de la quilla

Para la evaluación del hueso de la quilla existen diversos métodos, la elección depende del grado de invasividad, precio, disponibilidad del equipo y precisión del mismo.

Los métodos usados en la actualidad son: palpación, disección y técnicas de imagenología (radiografía, ultrasonido y tomografía computarizada).

La palpación es el método más utilizado por ser económico, no invasivo, fácil de implementar, así como rápido de realizar [15]. Consiste en pasar los dedos en la parte ventral del hueso de la quilla, así como los bordes, prestando atención en la presencia de elevaciones, muescas, depresiones o desviaciones [52].

Con este método se puede dar seguimiento al daño causado durante el ciclo de postura y así determinar su aparición. Según los estudios de Wilkins et al. [72] tiene una sensibilidad de 0.87 y una especificidad de 0.38 a 0.76, pero depende de la

experiencia previa del evaluador, evaluadores sin experiencia tienden a reportar resultados falsos positivos [73].

Mediante la palpación las fracturas en la parte dorsal de la quilla pueden no ser detectadas, así mismo la parte caudal de la quilla es difícil de evaluar, por lo anterior se requiere el uso de otro método complementario; como radiografías o disección [74].

El método considerado como “prueba de oro” es la disección, debido a que el hueso se remueve del ave, sin embargo, es un método que no permite una evaluación a lo largo del tiempo [14, 42, 62].

Las técnicas de imagenología se han utilizado con mayor frecuencia para el diagnóstico de fracturas. Dentro de estas técnicas se encuentra la radiografía, el ultrasonido y la tomografía computarizada.

La radiografía es la primera herramienta de diagnóstico a utilizar en el caso de fracturas, tiene la característica de no ser invasiva [75], de fácil disponibilidad, baja dosis de radiación y costo relativamente accesible [33]. Al igual que la palpación, se puede realizar un estudio longitudinal a lo largo del ciclo productivo [76].

Permite realizar evaluaciones más certeras en toda el área del hueso de la quilla, así como aquellas zonas que no se pueden evaluar mediante palpación, se puede evaluar el tipo de fractura, número de fracturas, y con esta información se puede determinar el grado de severidad de forma más certera [41, 55].

Con el uso de esta herramienta se puede determinar la “edad” de la fractura; las recientes (antes del proceso de inflamación) se observan como líneas radiolúcidas,

en las fracturas antiguas se observa la formación de callos, bordes indefinidos, así como la falta de una línea de fractura clara [15, 70].

Las desventajas de su uso son que: no permite una evaluación de la desviación del hueso de la quilla [41], la toma ventro- dorsal no arroja mucha información por la sobreposición de huesos sobre la quilla, por lo que se recomienda las tomas laterales [76], se recomienda el uso de anestésicos para la toma, así mismo es un riesgo para el operador, por la radiación ionizante a la que se expone [33].

Por otra parte, la tomografía computarizada, se caracteriza por generar imágenes tridimensionales para una observación detallada de toda la quilla, debido a sus múltiples tomas desde distintos ángulos [51, 52].

A diferencia de la radiografía, la tomografía posee cualidades como la diferenciación entre tejidos y fluidos, no hay superposición de estructuras [77], y más segura para el operador, sin embargo, la realización de la toma conlleva mayor tiempo y se debe utilizar un anestésico para mantener al ave inmovilizada, tiene alto costo y la calidad de las imágenes dependen de la experiencia del operador [78, 79] y del tipo de tomógrafo que se utilice.

Otro método de imagen empleado es el ultrasonido, es considerado complementario al uso de radiografías, se caracteriza por no ser invasivo y no generar radiaciones ionizantes, sin embargo, requiere de experiencia en la realización [80]. Su uso en la evaluación del daño al hueso de la quilla solo se ha realizado en un experimento presentado en una conferencia por Sandilans, et al [81].

## Radiografía en aves

Para un adecuado diagnóstico en radiología, en cualquier especie se recomiendan dos tomas perpendiculares de la región a examinar, estas tomas son llamadas ortogonales, su realización depende del estado de salud de los pacientes. En la toma dorsoventral se coloca al ave en decúbito esternal, se busca un posicionamiento adecuado del ave para evitar una mala interpretación, esto se logra manteniendo una alineación de la columna vertebral con el hueso de la quilla [71, 82].

Por el contrario, en una toma latero- lateral para la visualización del celoma se sujeta la cabeza, los miembros pélvicos se estiran ligeramente hacia atrás procurando que los huesos de la pelvis queden sobrepuestos, las alas se extienden hacia dorsal y se sobreponen, lo que permite una alineación correcta de la gallina en la radiografía [82].

Para la toma radiográfica se debe de mantener al cuerpo del ave colocado firmemente sobre el receptor de imagen, ya sea analógico o digital para evitar imágenes con una falsa ampliación o borrosas que puedan confundir la interpretación, por ello autores como Richards et al [70], han optado por el uso de sedación para un mejor manejo del ave durante el estudio [83].

Los huesos se observan más radiopacos que los tejidos blandos. Se debe prestar atención a las superposiciones de estructuras, porque algunas podrían dar aspecto de enfermedad y generar una mala interpretación [84].

## Hipótesis

La calidad ósea evaluada mediante palpación, radiografías, longitud de la quilla y resistencia en dos huesos largos; femur y tibiotarso de gallinas al finalizar su ciclo de postura no estará influenciada por el tipo de sistema de producción; convencional, enriquecido y sistema de piso.

## Objetivos

**Objetivo general.** Evaluar la calidad ósea mediante palpación, radiografías de la quilla, longitud de la quilla y resistencia en dos huesos largos de gallinas que finalizaron el ciclo de postura bajo tres diferentes sistemas de producción, para tener una evaluación más completa sobre una mejor manera de mantener a las aves en producción.

### Objetivos específicos

Medir el tamaño longitudinal del hueso de la quilla de 90 gallinas provenientes de tres diferentes sistemas productivos para definir si existe una relación entre el tamaño y el número de daño que presenta el hueso.

Determinar la presencia de daño del hueso de la quilla por el método de palpación, en 90 gallinas provenientes de tres diferentes sistemas productivos, con la finalidad de considerar la eficiencia de este método.

Determinar según la escala de Rufener, aplicada a imágenes radiográficas, el grado de severidad del daño del hueso de la quilla en 90 gallinas provenientes de tres diferentes sistemas productivos, para una evaluación más certera.

Determinar la resistencia a la ruptura en humero y tibiotarso de 90 gallinas provenientes de tres diferentes sistemas productivos, con la finalidad de encontrar alguna diferencia entre los huesos largos y la quilla.

## Material y métodos

Se realizó un diseño experimental, evaluado por el Comité Interno para el Cuidado y Uso de Los animales de la Facultad de Medicina Veterinaria y zootecnia.

La investigación se llevó a cabo en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPAv), de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), ubicado en la calle Manuel M. López s/n, en la Colonia Zapotitlán, Delegación Tláhuac, Ciudad de México, a una altura de 2250 msnm, 19°17' latitud norte y el meridiano 99° 02' 30" longitud oeste.

## Animales

Las aves pertenecían al Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción Avícola (CEIEPAv). Ubicado en la Calle Manuel M. López s/n, Colonia Zapotitlán, Alcaldía Tláhuac, en la Ciudad de México, estaban al final del ciclo de producción

Se contó con 90 gallinas de la línea genética Bovans White (línea ligera) de 106 semanas de edad, alojadas en tres diferentes sistemas productivos, para lo cual, se seleccionaron 30 gallinas de cada uno al azar, éstas se alimentaron con una dieta elaborada de acuerdo con los requerimientos nutrimentales de la línea genética Bovans White. Durante todo el ciclo productivo el alimento se proporcionó a razón de 110 gramos por ave al día.

## Alojamiento (sistema productivo).

Las aves utilizadas provenían de tres tipos de alojamiento: jaula convencional, jaula enriquecida y sistema de piso.

Las dimensiones de las jaulas convencionales son 40 cm de ancho x 43 cm de largo, en ellas se encontraban alojadas 3 gallinas, cada una contó con un espacio de 574 cm<sup>2</sup>, donde sus movimientos son limitados pero si le permite realizar algunas de sus actividades. El comedero es de canal y se encuentra ubicado al frente de la jaula, el bebedero es de copa, y abastece 1 para cada 6 gallinas.

El sistema de jaula enriquecida, corresponde a las medidas de 269 cm de largo x 125 cm de ancho, la cual es un modelo comunitario para 32 gallinas, ofrece un área de 1,050 cm<sup>2</sup> para cada gallina. Al centro de dicha jaula se encuentra una percha de madera circular con un diámetro de 5 cm, tiene un área oscura de nido que está al extremo de la jaula (250 cm<sup>2</sup> de nido para cada gallina). El comedero es de canal está ubicado a los dos lados de la jaula, cuenta con bebederos de tetina 1 para cada 2 gallinas. Este modelo es denominado “JAULA AVICOLA” y está registrado ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial con el número de expediente MX/u/2018/000469, correspondiente al proyecto PAPIIT IT-201719 denominado Implicaciones de la adopción de enriquecimiento ambiental en la producción de huevo sobre la inocuidad, sustentabilidad y seguridad alimentaria.

El último sistema, es producción en piso con 4.91 m de ancho x 6 m de largo, con un espacio de 8,417.14 cm<sup>2</sup> para cada gallina alojada. Cuenta con 1 nido para cada 2 gallinas; estos nidos son en dos niveles, 2 comederos de tolva, 2 bebederos de campana, el piso cuenta con paja como material de cama.

## Determinación de longitud de la quilla y palpación.

Se palparon a las 90 gallinas con ayuda de un dispositivo diseñado en el CEIEPAV, denominado KBD-A (Keel Bone Damage, prototipo A). El KBD-A es una estructura semicircular, con una abertura al centro de 2 cm por 14 cm de largo, y con una cinta métrica para la medición de la quilla. El objetivo de usar el KBD-A fue aislar la región de la quilla para facilitar la palpación, además facilita la medición gracias a la cinta métrica integrada al dispositivo. Mediante la palpación se detectaron posibles daños en la quilla, mismos que se corroboraron con las radiografías.

Se colocó al ave en decúbito dorsal debajo del KBD-A, se introdujo el hueso en la abertura para exponer el pecho (donde se encuentra el hueso de la quilla) y por palpación se ubicó el extremo craneal de la quilla, con la cinta métrica se midió la longitud de la quilla desde su unión con los huesos de las clavículas hasta el extremo caudal, después se palpó el hueso poniendo atención en su forma, así como la presencia de protuberancias, hundimientos, presencia de callos y fracturas [49].

Posteriormente las aves fueron aturdidas eléctricamente (50 V, 0.2 A, 400 Hz), una vez en estado de inconsciencia, se procedió a realizar el degüello de forma bilateral y permanecieron en el túnel de desangrado por tres minutos.

## Radiografías.

Se realizaron en el laboratorio 2 de la Sección de Imagenología del Departamento de Medicina, Cirugía y Zootecnia para Pequeñas Especies ubicada en el edificio 8

de la FMVZ UNAM, Circuito Exterior sin número, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México. C.P. 04510.

Se colocaron en posición decúbito lateral derecho con el fin de tomar una proyección lateral izquierda-lateral derecha enfocada en la quilla. La distancia entre el tubo de rayos x y el detector de 100 cm y se empleó la rejilla. Se utilizó kVp entre 66 y 68, con 500 de mA, mAs 6.25 y tiempo de exposición 0.0125 s, para posteriormente evaluar la presencia de fracturas recientes, así como la presencia de callos como indicativo de fracturas antiguas, y se evaluó el daño con la escala propuesta por Rufener et al. (2018), como se observa en la Figura 1:

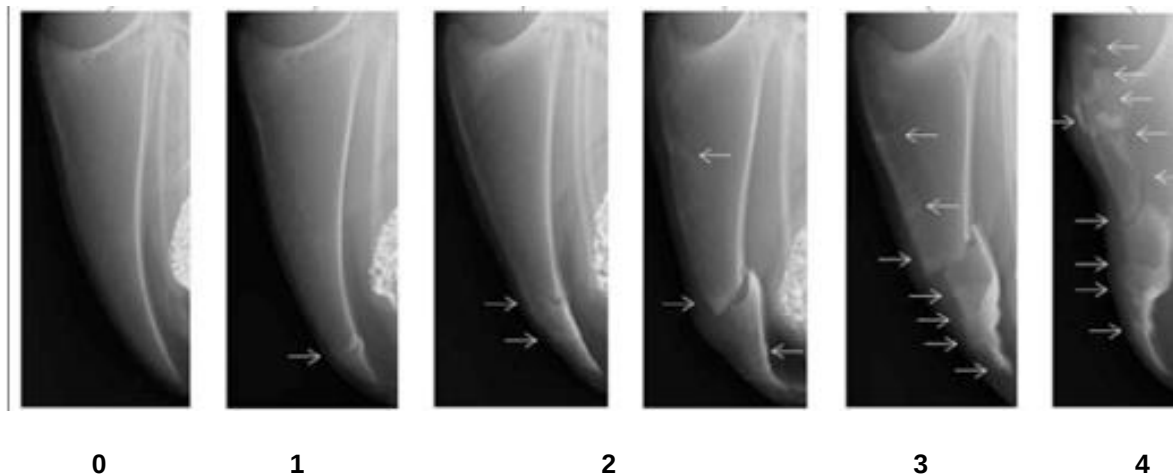


Figura 1. Escala visual de fracturas de Rufener modificada donde [55]:

0. Ausencia de fracturas.
1. Al menos una fractura en el último tercio.
2. Más de una fractura en el último tercio.
3. Fractura nueva en el último tercio, más otra en algún otro tercio.
4. Múltiples fracturas de diferentes severidades en varias zonas.

El equipo utilizado fue JPI Modelo: DR 8000, con tubo de rayos x marca Toshiba modelo E7239X con tamaño de punto focal efectivo de 2.0 mm, la rejilla utilizada fue Marca JPI 85 líneas por cm e índice de rejilla (grid ratio) de 10:1. Detector marca Toshiba modelo FDX4343R.

## Resistencia ósea

Para la evaluación del tibiotarso se realizó una incisión en piel a lo largo de toda la longitud del hueso de la parte lateral, posteriormente se retiró el musculo gastrocnemio y el músculo flexor digital largo en ambos extremos, con esto se exponen y retiran los músculos tibial craneal y plantar, por último se diseccionó la articulación tibio tarso y tarsometatarsiana para retirar el hueso por completo [85].

En el caso del humero se hace una incisión a nivel medial de todo lo largo del hueso, posteriormente se retira el músculo deltoides mayor, deltoides menor, tricúspide escapular, para poder observar y retirar los músculos bíceps braquial, tríceps humeral y poder retirar el hueso por completo [86].

Una vez disecados, el tibiotarso y el húmero, se midió la resistencia con ayuda de un texturometro marca Stable Micro System modelo TA-HD plus, para lo cual el hueso se colocó de forma horizontal, ejerciendo una presión de manera perpendicular en la parte media de cada hueso como lo mencionan Molnar, et al [87].

## Diseño experimental y análisis estadístico.

Se trato de un diseño experimental en el que la variable independiente fueron los diferentes alojamientos: jaula convencional, jaula enriquecida y el sistema de piso.

Los daños y la presencia de desviación en el hueso de la quilla, se clasifican como variables categóricas nominales. La presencia de fracturas es una variable categórica ordinal.

Los porcentajes de incidencia de fracturas, así como los porcentajes de daño y desviaciones evaluados por medio de palpación,, se analizaron mediante la prueba de ji cuadrada,

En el caso de la longitud de la quilla y la resistencia a la ruptura de la tibia y húmero se trata de variables numéricas continuas de razón.

La longitud de la quilla y resistencia ósea fueron sometidas a un análisis de normalidad, posteriormente se realizó un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar, donde la diferencia de medias se analizó mediante la prueba de Tukey.

## Resultados

Los resultados obtenidos tras la evaluación de la calidad ósea mediante radiografías de la quilla, resistencia en dos huesos largos de 90 gallinas que finalizaron el ciclo de postura, divididos aleatoriamente bajo tres diferentes sistemas de producción, se muestran a continuación.

### Daños en el hueso de quilla a la palpación (callos o fracturas).

Los resultados de daños en la quilla encontrados mediante la palpación, ver Cuadro 1, en la que se buscaron callos óseos, indicativos de una fractura reparada o bien

depresiones en la superficie del hueso que indicarían la presencia de una fractura, muestran que no existieron diferencias entre los sistemas productivos ( $\chi^2=2.022$ ,  $p=0.364$ ) por lo que en la mayoría de las gallinas provenientes de todos los sistemas productivos se encontraron daños.

**Cuadro 1. Daños en el hueso de quilla a la palpación (callos o fracturas) n (%)**

| SISTEMA PRODUCTIVO | SIN DAÑO | CON DAÑO   | TOTAL |
|--------------------|----------|------------|-------|
| JAULA CONVENCIONAL | 0 (0%)   | 30 (33.7%) | 30    |
| JAULA ENRIQUECIDA  | 0 (0%)   | 30 (33.7%) | 30    |
| PISO               | 1(100%)  | 29 (32.6%) | 30    |
| TOTAL              | 1        | 89         | 90    |

### Presencia de desviación en el hueso de quilla a la palpación

En cuanto a la presencia de desviaciones de la quilla (Cuadro 2) existió diferencia significativa ( $\chi^2=21.202$ ,  $p<0.001$ ) entre los sistemas productivos. El mayor porcentaje de quillas sin desviación lo tenían las gallinas alojadas en el sistema de piso, mientras que el mayor porcentaje (81.2%) de aves con desviaciones se encontró en la jaula convencional y la jaula enriquecida.

**Cuadro 2. Presencia de desviación en el hueso de quilla a la palpación n (%)**

| SISTEMA PRODUCTIVO | SIN DESVIACIÓN | CON DESVIACIÓN | TOTAL |
|--------------------|----------------|----------------|-------|
|--------------------|----------------|----------------|-------|

|                    |           |            |    |
|--------------------|-----------|------------|----|
| JAULA CONVENCIONAL | 4 (15.4%) | 26 (40.6%) | 30 |
| JAULA ENRIQUECIDA  | 4 (15.4%) | 26 (40.6%) | 30 |
| PISO               | 18(69.2%) | 12 (18.8%) | 30 |
| TOTAL              | 26        | 64         | 90 |

### Presencia de fracturas, grado de severidad según la escala de Rufener.

En lo que se refiere a la evaluación de las imágenes radiográficas según la escala de Rufener el análisis estadístico mostró que existió diferencia significativa ( $\chi^2=30.210$ ,  $p<0.001$ ) entre los sistemas productivos Cuadro 3. De dichos resultados cabe señalar, que en el caso de la categoría “Ausencia de fracturas” el mayor porcentaje corresponde a las aves alojadas en jaulas convencionales, es decir que de las 90 aves evaluadas 35 estaban libres de fracturas, de éstas el 60% provenían de las jaulas convencionales.

Por otro lado, la siguiente categoría con mayor número de aves fue “al menos una fractura en el último tercio” donde se encontraron 28 de las 90 aves evaluadas, de éstas el 53.6% corresponden a aves del sistema de piso. De las 30 gallinas del sistema de piso la mitad, tenían al menos una fractura.

Del sistema de jaula enriquecida es relevante acotar que de las 30 aves evaluadas 11 estuvieron libres de fracturas y 19 con las demás variaciones de fracturas con una a múltiples fracturas de diferente severidad.

**Cuadro 3. Presencia de fracturas, grado de severidad según la escala de Rufener n (%)**

| SISTEMA PRODUCTIVO | AUSENCIA DE FRACTURAS | AL MENOS UNA FRACTURA EN EL ÚLTIMO TERCIO | MAS DE UNA FRACTURA EN EL ÚLTIMO TERCIO | FRACTURA NUEVA EN EL ÚLTIMO TERCIO MAS OTRA EN ALGÚN OTRO TERCIO | MÚLTIPLES FRACTURAS DE DIFERENTE SEVERIDAD EN VARIAS ZONAS | TOTAL |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------|
| JAULA CONVENCIONAL | 21 (60%)              | 6 (21.4%)                                 | 1 (5.3%)                                | 2 (28.6%)                                                        | 0 (0%)                                                     | 30    |
| JAULA ENRIQUECIDA  | 11 (31.4%)            | 7 (25%)                                   | 10 (52.6%)                              | 1 (14.3%)                                                        | 1 (100%)                                                   | 30    |
| PISO               | 3 (8.6%)              | 15 (53.6%)                                | 8 (42.1%)                               | 4 (57.1%)                                                        | 0 (0%)                                                     | 30    |
| TOTAL              | 35                    | 28                                        | 19                                      | 7                                                                | 1                                                          | 90    |

### Tamaño longitudinal del hueso de la quilla en los diferentes sistemas.

La medición longitudinal de las quillas se observa en el cuadro 4, las cuales presentaron un promedio de: 11.89 cm en el sistema enriquecido, 12.59 cm en el convencional y 12.48 cm en el sistema de piso, obteniendo una diferencia de varianza de grupos entre el sistema enriquecido con el de piso y con el convencional ( $P < 0.05$ ).

**Cuadro 4. Efecto del sistema productivo en las variables de estudio**

| SISTEMA PRODUCTIVO | No | LONGITUD DE LA QUILLA (CM) M(DE) | RESISTENCIA A LA RUPTURA DE LA TIBIA (N) M(DE) | RESISTENCIA A LA RUPTURA DEL HÚMERO (N) M(DE) |
|--------------------|----|----------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|--------------------|----|----------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|

|                    |    |                           |                           |                           |
|--------------------|----|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| JAULA CONVENCIONAL | 30 | 12.59 (0.62) <sup>b</sup> | 20.76 (5.87) <sup>a</sup> | 9.83 (7.62) <sup>b</sup>  |
| JAULA ENRIQUECIDA  | 30 | 11.89 (0.73) <sup>a</sup> | 25.98 (7.45) <sup>b</sup> | 10.96 (4.01) <sup>b</sup> |
| PISO               | 30 | 12.48 (0.33) <sup>b</sup> | 28.19 (7.18) <sup>b</sup> | 16.19 (7.05) <sup>a</sup> |

<sup>a, b</sup> valores dentro de la columna, con diferentes superíndices difieren ( $P \leq 0.05$ )

Donde M= media de las variables.

N= Newton

Cm= Centímetros No= número total de muestras

Efecto del tipo de sistema productivo sobre la longitud de la quilla, resistencia a la ruptura de la tibiotarso, resistencia a la ruptura del húmero.

Para evaluar el efecto que tuvo el tipo de sistema productivo sobre las variables cuantitativas de longitud de la quilla, resistencia a la ruptura de la tibiotarso y resistencia a la ruptura del húmero, se realizó un ANOVA 3x1 de una vía. Las medias y desviaciones se encuentran en el cuadro 4.

Para la longitud de la quilla se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas productivos ( $F(2)=12.135$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2=0.218$ ). Los análisis post hoc mostraron que la longitud de la quilla del sistema convencional fue mayor al del sistema enriquecido ( $p<.0001$ ) [IC 95% 0.33, 1.05] así mismo el sistema de piso tuvo una media mayor que la jaula enriquecida ( $p<.0001$ ) [IC 95% 0.226, 0.953].

Para la resistencia a la ruptura del tibiotarso se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas productivos ( $F(2)=9.240$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2=0.177$ ) en donde, las aves del sistema de jaulas convencionales tuvieron valores

significativamente menores a la jaula enriquecida ( $p=0.012$ ) [IC95% -9.48, -9.55] y menores al sistema de piso ( $p<0.001$ ) [IC95% -11.65, -3.19]

Finalmente, para la resistencia del húmero también existieron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas de producción ( $F(2)=8.35$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta^2=0.161$ ), en donde, la resistencia a la ruptura del húmero fue mayor en el sistema de piso que en el sistema convencional ( $p=0.001$ ) [IC95%, 2.40, 10.32] y que en el sistema enriquecido ( $p=0.006$ ) [IC 95%, 1.27, 9.19]

#### Cuadro 4. Efecto del sistema productivo en las variables de estudio

| SISTEMA PRODUCTIVO | No | LONGITUD DE LA QUILLA (CM) M(DE) | RESISTENCIA A LA RUPTURA DE LA TIBIA (N) M(DE) | RESISTENCIA A LA RUPTURA DEL HÚMERO (N) M(DE) |
|--------------------|----|----------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| JAULA CONVENCIONAL | 30 | 12.59 (0.62) <sup>b</sup>        | 20.76 (5.87) <sup>a</sup>                      | 9.83 (7.62) <sup>b</sup>                      |
| JAULA ENRIQUECIDA  | 30 | 11.89 (0.73) <sup>a</sup>        | 25.98 (7.45) <sup>b</sup>                      | 10.96 (4.01) <sup>b</sup>                     |
| PISO               | 30 | 12.48 (0.33) <sup>b</sup>        | 28.19 (7.18) <sup>b</sup>                      | 16.19 (7.05) <sup>a</sup>                     |

<sup>a, b</sup> valores dentro de la columna, con diferentes superíndices difieren ( $P\leq 0.05$ )

Donde M= media de las variables.

N= Newton

Cm= Centímetros No= número total de muestras

## Discusión

### Daños en el hueso de quilla a la palpación (fracturas y callos).

Los resultados de la presencia de daños en el hueso de quilla (fracturas y callos óseos) detectados por medio de palpación mostraron en el Cuadro 1, en ellos se observó que existieron 89 casos positivos de 90, es decir, que en la mayoría de las

aves evaluadas se detectó algún daño. Sin embargo, al corroborar estos resultados con las imágenes radiográficas, los resultados mostraron una menor prevalencia de daño. Lo antes mencionado concuerdan con los reportes de Wilkins, et al. [72] donde la especificidad del método de palpación es de 0.3 a 0.7.

Wilkins et al [72] palparon aves en busca de daños, posteriormente diseccionaron aves para confirmar los hallazgos. En dicho estudio participaron 3 evaluadores: 1 médico veterinario con amplia experiencia en disecciones de aves, un médico veterinario sin experiencia, y un etólogo sin experiencia, observaron que el médico veterinario con experiencia en disecciones de aves tuvo mayor precisión que los otros dos evaluadores, por lo que la experiencia del evaluador en el conocimiento de la anatomía de las aves fue un factor importante en el diagnóstico, evaluadores inexpertos tuvieron un nivel bajo de precisión, por ello, se requieren varias evaluaciones para disminuir los falsos positivos.

Buijs, et al. [73] reportó que la parte caudal de la quilla es el área de mayor número de diagnósticos falsos negativos, debido a la interferencia de los músculos pectorales. Casey-Trott, et al. [15] mencionan que la parte caudal del hueso de la quilla es el más afectado, por lo que su evaluación es de suma importancia, en gallinas con músculos más grandes se dificultan la palpación.

Se observó en el presente trabajo (Cuadro 1) no hubo una diferencia significativa en el daño del hueso de la quilla entre las aves de los diferentes sistemas de alojamiento, a diferencia de lo que encontraron Dukic Stojcic, et al., [20]. Los autores realizaron una comparación entre varios alojamientos; libre pastoreo, orgánico, jaula convencional, jaula enriquecida sin equipamiento y jaula enriquecida equipada, sin

embargo, su evaluación realizada únicamente por palpación involucra desviaciones y fracturas sin separarlas, encontrándose que el sistema enriquecido con perchas presentó más daños al hueso con una diferencia significativa.

Existen métodos diagnósticos más específicos y precisos como las radiografías, que permiten la visualización del hueso completo para observar fracturas que por palpación no se detectan.

La palpación es un método económico, fácil y seguro para el evaluador, usado para la detección del daño del hueso de la quilla, se recomienda su uso en caso de que no sea posible el uso de otros métodos, pero se debe tomar en consideración el grado de error por la inexperiencia del evaluador, además debe considerarse que los músculos pectorales pueden interferir en los resultados [73].

### Daños en el hueso de quilla a la palpación (desviaciones).

Al contrario de las fracturas y callos óseos, las desviaciones de la quilla se detectan con mayor facilidad y con menor margen de error por el método de palpación, algunos estudios sugieren que se detectan correctamente en un 97% [15].

Como se observa en el Cuadro 2 las aves de los sistemas enriquecido y convencional presentaron mayor número de desviaciones que las de piso (26 gallinas), una posible causa es el uso de las perchas. Riber, et al. [42] y Heerkens, et al. [64] mencionan que la percha afecta al hueso por la presión prolongada, o bien, la desviación puede ser secundaria a la reparación de una fractura.

Al implementar enriquecimiento ambiental en los alojamientos para gallinas, se introdujeron las perchas de diferentes materiales y formas, con ello se vio un aumento en la frecuencia de desviaciones en las gallinas, a causa del incremento de la presión mecánica durante los períodos prolongados que pasan las gallinas sobre ellas [45, 88].

Pickel, et al [88] realizaron una comparación entre 9 tipos de perchas; redondas de metal y madera, cuadrada y ovalada de madera, 2 con forma de hongo de plástico, acero, acero recubierto con poliuretano y plástico recubierto con poliuretano. Ellos reportan que las perchas más adecuadas son aquellas con materiales más suaves y cuadradas, debido a la distribución más uniforme del peso de la gallina sobre el hueso de la quilla, obtuvieron que la percha cuadrada y la de plástico con recubierta de poliuretano eran las más adecuadas, porque mostraban menos daño.

Saraivaa, et al., [48] evaluaron el grado de deformidad del hueso de la quilla en aves al finalizar el ciclo productivo, provenientes de 3 sistemas de alojamiento; jaulas enriquecidas, sistema de piso y libre pastoreo o “free range”; encontraron que la prevalencia de las deformidades fue mayor en los sistemas de libre pastoreo y jaula enriquecida, sin embargo, las quillas de las gallinas alojadas en el sistema de piso presentaron las deformidades de mayor severidad que los otros sistemas. De forma general en todos los sistemas evaluados el daño al hueso de la quilla estuvo presente, los autores atribuyen los resultados encontrados a la presencia de perchas y al material de éstas (metal).

Käppeli, et al., [45] investigaron la relación de la edad de las gallinas sobre la presencia de daño, realizaron evaluaciones a lo largo del período de puesta de la

parvada. Reportaron que la presencia de desviaciones y el grado de severidad de las desviaciones se incrementó con la edad.

Por otro lado, Toscano, et al., [46] asocian la deformación del hueso con la condición corporal de la gallina, con músculos pectorales más grandes, la incidencia de lesiones disminuyó. Estos autores evaluaron las quillas en aves muertas, palparon para evaluar su grado de desviación o fracturas, posteriormente, para evaluar la resistencia al impacto, se realizó una prueba mecánica en el último tercio de la quilla colocando al ave en decúbito dorsal, encontraron que las aves con mayor masa muscular sufren menos daño mecánico.

Eusemann, et al. [76] evaluaron con radiografías la desviación del hueso de la quilla, y relacionaron el daño con factores como; la edad, el alojamiento y la línea genética (3 líneas ligeras y 2 líneas semipesadas), encontraron relación entre las desviaciones con las líneas genéticas; las líneas ligeras tuvieron mayor prevalencia, mientras que no hubo diferencia en los factores edad y alojamiento. Dichos autores asocian sus resultados al peso corporal mayor que tienen las aves semipesadas, lo que las protege durante las colisiones con objetos de su entorno, además tienden a tener menor grado de movimiento.

### Presencia de fracturas, grado de severidad según la escala de Rufener.

La evaluación según la escala Rufener permite una observación más objetiva del daño de la fractura respecto a la totalidad del hueso, sumado al tutorial creado por los autores, se tiene una base para la correcta interpretación de las radiografías.

Como se observa en el Cuadro 3, las gallinas de la jaula convencional presentaron menor daño por fracturas en la quilla que las de los otros sistemas, tal como reportan Thofner, et al. [51]. En dicho estudio las gallinas de sistemas convencionales presentaron fracturas más pequeñas que los sistemas sin jaulas, cabe mencionar que los investigadores realizaron sus evaluaciones con palpación y tomografía computacional, observaron diferentes grados de severidad, así mismo la presencia de callos fue poco frecuente en aves jóvenes.

De acuerdo a los resultados del presente estudio (Cuadro 3), la mayor incidencia de fracturas se presentó en las gallinas del sistema de piso, sin embargo, el grado de severidad fue menor (una fractura en el último tercio), mientras que en el sistema de jaula enriquecida la incidencia de fracturas fue menor, pero con un mayor grado de severidad (varias fracturas a lo largo del hueso de la quilla).

Autores como Saraiva, et al. [48], Regmi, et al. [16] y Grafl, et al. [54] reportan una prevalencia mayor de daño del hueso de la quilla en sistemas sin jaulas comparado los sistemas de jaulas enriquecidos o convencionales, los autores refieren que el aumento de libertades genera mejoras en la resistencia ósea, pero a su vez mayores probabilidades de daños. Toscano, et al. [46] atribuyen los daños del hueso de la quilla a colisiones con el equipo e instalaciones.

De igual manera Eusemann, et al. [76] encontraron que las aves del sistema de piso presentaron mayor número de fracturas, sin embargo, estos autores relacionaron sus hallazgos con la presencia de perchas, las cuales son consideradas una de las causas del daño al hueso de la quilla. Pickel, et al. [88] reportó que las perchas de

materiales rígidos lastiman el hueso por la posición de la gallina al posarse sobre ellas, así como por el tiempo que pasan las aves sobre ellas.

Heerkens et al [64] realizaron un estudio donde valoran la influencia de las perchas en el daño al hueso de la quilla. Ellos compararon dos líneas genéticas de gallinas (Dekalb White e ISA Brown) en dos condiciones diferentes; un alojamiento con perchas y otro en el que añadieron rampas a las perchas para evitar malos aterrizajes, posteriormente evaluaron las quillas por palpación y disección. Concluyeron que la frecuencia de desviaciones y fracturas disminuyeron en presencia de rampas, y las gallinas que presentaron fracturas fueron de menor grado de severidad.

Por otro lado, algunos autores mencionan que el daño al hueso de la quilla en sistemas alternativos está influenciado por la competencia de las gallinas por los nidos y perchas, lo que genera peleas y choques con los objetos del entorno o malos aterrizajes [45, 81].

El sitio donde se presentan más fracturas es el tercio medio del hueso, tal como lo reportan Thøfner, et al. [51] y Chargo, et al. [52], ellos relacionan esta incidencia con el tardío desarrollo de esta sección del hueso. Al inicio de la vida de las aves, la quilla es tejido cartilaginoso que se va osificando, proceso que dura hasta la semana 40, es por lo anterior que, si las aves sufren algún golpe al inicio del ciclo de postura (17 semanas) el hueso se repara y tomará forma de “S” debido a que aún no se ha osificado por completo, aunado a la alta demanda de calcio, además de que el proceso de calcificación será lento.

A lo largo de los años, la selección genética ha logrado que las aves pongan más huevos con menor cantidad de alimento, lo que en algunas ocasiones resulta en déficit de calcio y energía al pico de producción, además cabe resaltar que el calcio necesario en la producción de huevo proviene de la dieta y del hueso medular, este déficit de calcio al pico de producción puede ocasionar que las reservas de calcio en el hueso sean utilizadas para la formación del huevo, lo que genera huesos susceptibles a fracturas a causa de osteoporosis [42, 90].

Las gallinas de mayor edad (90 semanas en adelante) reducen su capacidad de absorción de calcio y el útero es menos eficiente en la producción del cascarón [91]. Por ello, se recomienda una correcta administración de calcio, en relación con el tamaño de partícula para mantener un nivel óptimo cuando se está formando el cascarón. Las partículas grandes pasan más tiempo en la molleja lo cual mejora el peristaltismo, así mismo hay disponibilidad de calcio por mayor tiempo, mientras que partículas pequeñas ocasionan un aumento en el tránsito intestinal.

Riber, et al., [42] y Regmi, et al., [16] documentaron que con el aumento de la edad de las gallinas su resistencia a la ruptura es menor, por lo que con cualquier golpe podría generar una fractura, esto es un factor clave a considerar por la edad que tenían las aves al realizar este estudio (110 semanas).

### Longitud del hueso de la quilla.

Tracy, et al. [41], reportaron en su trabajo que la quilla tuvo una longitud de entre 9 a 12 cm, sin embargo, no se mencionó las referencias anatómicas para la medición, en este estudio las quillas de las gallinas median, en promedio, 12.59 cm en aves alojadas en el sistema convencional, 11.89 cm en sistema enriquecido y 12.48cm

en sistema de piso (Cuadro 4). En este sentido, es importante establecer dichas referencias para una medición más precisa.

Por otro lado, Willie, et al. [92] en sus resultados, menciona que, las gallinas de alojamientos con mayor espacio, al ejercitarse más, tienen un mayor desarrollo del hueso, lo que genera que sus quillas sean más grandes comparadas con las gallinas alojadas en jaula, aunque en el presente trabajo las aves con mayor espacio no tienen las quillas más grandes.

Lo anterior puede explicarse por la forma que adquiere el hueso de la quilla después de la remodelación, fracturas con mayor grado de severidad, en el proceso de reparación pueden adquirir formas anormales [92] lo que genera disminución de longitud.

### Efecto del sistema productivo en la variable resistencia a la ruptura de húmero y tibiotarso.

Los resultados de la variable resistencia a la ruptura de húmero y tibiotarso se observan en el cuadro 4. Los tibiotarsos y húmeros de las gallinas alojadas en el sistema de piso fueron las de mayor resistencia, y las menos resistentes las del sistema de jaula convencional.

Meng, et al. [93] estudiaron la relación que tiene el espacio de cada gallina sobre la resistencia del tibiotarso, los autores compararon 3 alojamientos; jaula enriquecida larga (40 gallinas con 750 cm<sup>2</sup> cada una), jaula enriquecida chica (8 gallinas con 750 cm<sup>2</sup> cada una) y jaula convencional (8 gallinas con 528 cm<sup>2</sup> cada una). Evaluaron también el comportamiento de las gallinas, y al final encontraron que las

gallinas con más espacio disponible realizaban mayor actividad y tenían tibiotarsos más resistentes a la fractura.

Otros autores como Yilmaz, et al. [13] han obtenido resultados similares. Ellos midieron la resistencia a la ruptura del tibiotarso de las gallinas alojadas en tres sistemas: gallinas alojadas en sistema de piso con acceso al exterior o “free range”, jaula enriquecida y jaula convencional, los tibiotarsos más resistentes fueron de las aves del sistema al “free range”, lo cual relacionaron con la disponibilidad de espacio que generaba mayor fuerza del hueso.

Shipov, et al. [94] compararon la relación que tiene la libertad de hacer ejercicio con la resistencia del hueso en gallinas alojadas en “free range” y jaula convencional, ellos reportaron que los tibiotarsos y húmeros de las gallinas del sistema de piso fueron más resistentes. Además, evaluaron el contenido mineral de dichos huesos y concluyeron que la fragilidad de los huesos está asociada al modelado estructural (distribución de los materiales) y no al contenido mineral dentro del hueso. El modelado estructural está asociado a la alta demanda de calcio junto con la restricción del movimiento. La restricción de ejercicio disminuye el área cortical del hueso, no de los minerales. En su estudio microscópico, observaron que los huesos tenían el mismo tamaño transversal, pero en cuanto se media la zona perióstica y endóstica, el sistema de piso contaba con mayor grosor en la zona perióstica, mientras que el sistema de jaula tenía más endostio que periostio. Concluyeron que en el sistema de piso es más rígido por el ancho del periostio en el hueso, pero se rompe con menor energía porque el endostio es menos denso, contrario al hueso de las gallinas del sistema convencional, donde su endostio es más denso y en

periostio menos rígido con lo que requiere mayor energía para romperlo, asociado al movimiento que realizan las gallinas en el sistema libre le permite una mejor homeostasis con los osteoclastos y osteoblastos.

Contrario a este estudio, en trabajos como los de Karcher y Mench [6]; y Widowski, et al. [95] observaron que los huesos de las aves alojadas en el sistema convencional fueron menos resistentes y presentaron mayor número de fracturas comparadas con los huesos de gallinas en alojamientos sin jaula, mientras que en este estudio el sistema enriquecido presentaba más daño. Un punto importante para considerar en el experimento de Widowski, es que la línea genética fue Leghorn-Lite, evaluadas en la semana 30, 50, 60 y 70, en cada jaula se encontraban alojadas 5 gallinas con un espacio disponible de 464 cm<sup>2</sup> cada una, mientras que en el presente estudio en cada jaula estaban alojadas 3 gallinas con 574 cm<sup>2</sup> de espacio cada una, esto permitía mayor posibilidad de movimiento, lo que genera huesos más fuertes.

En otro estudio, realizado por Onbaşıl, et al. [96] realizaron la comparación entre resistencia de tibiotarsos y húmero de gallinas alojadas en jaula convencional y enriquecida, encontraron que no hubo diferencia significativa entre los dos sistemas, aunque en la evaluación sanguínea, encontraron incremento de la enzima fosfatasa alcalina asociada a una mayor movilidad de los materiales óseos, pero no hubo relación con la resistencia de los huesos.

Por otro lado, diversos autores han evaluado la administración de diferentes nutrientes en la dieta para ayudar a la resistencia ósea como;

- Calcio fino y grueso combinados en la dieta y reportan mejoras en la resistencia de huesos en sistema libre y convencional.
- Administración de 25 dihidroxicolecalciferol y la presencia de deformidades en el hueso de la quilla.
- El uso de fitasas genera mayor resistencia.
- La adición de ácidos grasos omega 3 y su relación con la resistencia a las fracturas, les proporciona más resistencia, pero solo frente a colisiones pequeñas.
- Adición de ácidos grasos Omega 6 redujo la incidencia de daño en el hueso de la quilla

Por lo anterior, la nutrición juega un papel importante en la integridad del hueso y la salud en general de la gallina en la etapa final del ciclo productivo [66, 91, 45, 97, 46, 98].

Algunos autores han evaluado la influencia de la línea genética y la alimentación en el daño al hueso de la quilla; por ejemplo, se seleccionaron dos líneas genéticas de gallinas por su resistencia en huesos (alta y baja resistencia), a su vez se evaluó la influencia de la administración de calcio a la dieta (partícula fina y gruesa), además se compararon dos alojamientos (aviario y jaula convencional). Al cumplir 25 y 56 semanas de edad se midió la resistencia y se valoró la morfología de tibiotarsos y el húmero. En dicho estudio mencionan que la administración de calcio grueso durante la puesta es importante para mejorar la resistencia. Las aves del aviario tuvieron mejores características morfológicas, pero eran propensas a fracturas por la mayor movilidad, también conforme aumentó la edad de las aves la resistencia

disminuyó. Así mismo la línea de alta resistencia tenía huesos más resistentes, con fracturas menos severas que la línea seleccionada de baja resistencia. Concluyeron que, aunque la administración de calcio en sus dos tamaños mejoraba la resistencia ósea, se veían mejores resultados en las gallinas con una genética de alta resistencia; por ello se debe trabajar desde el punto de vista genético para obtener quillas menos propensas a daños [74].

El daño del hueso de la quilla se considera un tema relevante desde el punto de vista del bienestar animal pues genera dolor en las aves, es una problemática en la que influyen diversos factores (nutricionales, genéticos, productivos, fisiológicos y zootécnicos), por lo que debe ser abordada de forma integral y su estudio debe continuar para llevar a cabo mejoras en el diagnóstico y la prevención.

## Conclusión.

El hueso esternal en las aves de postura es susceptible de presentar daños, como fracturas y desviaciones, en especial, las fracturas son lesiones muy dolorosas que comprometen el bienestar de las aves. La prevalencia aumenta con la edad [42] la parte más susceptible es el borde ventral, debido a su posición, relativamente expuesta, lo que aumenta la susceptibilidad a golpes con objetos dentro del alojamiento [52, 41].

Se menciona que, las aves afectadas disminuyen su actividad, presentan dificultades respiratorias y compresión medular [14], así mismo, disminuyen su productividad (producen menos huevos y con menor grosor del cascarón) y bienestar a causa del dolor que genera.

Las demandas de los consumidores por sistemas que ofrecieran a las aves un mayor bienestar para las gallinas promovieron el auge de la producción en sistemas no convencionales o alternativos, sin embargo, estos sistemas han planteado nuevos retos, como el aumento de los costos de producción o las implicaciones en la salud de las aves. Tal es el caso de las lesiones de hueso esternal, que se atribuyen, en parte, al aumento en la libertad de movimiento. Como ejemplo, son los resultados del presente estudio, en los que se observaron lesiones más marcadas en el hueso de la quilla en las aves del sistema de piso y jaula enriquecida, a pesar de tener mayor resistencia en los huesos largos que las aves del sistema convencional.

Los distintos sistemas de producción ofrecen ventajas y desventajas que impactan en la salud ósea de las aves, por ello es importante promover métodos diagnósticos,

así como soluciones integrales que consideren los alojamientos, aspectos nutricionales y mejoras genéticas.

La palpación del esternón es un método económico, fácil y seguro para el evaluador, usado para la detección del daño del hueso de la quilla, sin embargo, debe tomarse en consideración el grado de error por la inexperiencia del evaluador y que los músculos pectorales pueden interferir en los resultados, por lo que se recomienda el uso de otros métodos [73].

Por otro lado, las imágenes radiográficas ofrecen mayor certeza en el diagnóstico de las fracturas y forman parte de evaluación clínica completa, no obstante, su implementación a nivel de campo es difícil y representan mayor riesgo para el evaluador. Una alternativa útil puede ser el uso de equipos portátiles de ultrasonido, por lo que se sugiere la valoración de estos equipos en condiciones de campo.

Desde el punto de vista de las mejoras genéticas, el seleccionar aves con estructura ósea de mayor resistencia, que se adapten mejor a sistemas alternativos con mayores espacios y elementos en su entorno contribuiría disminuir las fracturas y desviaciones. Así mismo las estrategias nutricionales y de alimentación han mostrado tener un efecto positivo en la salud ósea de las gallinas postura.

Otro aspecto importante en los alojamientos son las perchas, que al modificar su forma y materiales por unos de menor dureza favorecen la integridad de la quilla.

Por todo lo anterior, se concluye que el daño al hueso de quilla o KBD (keel bone damage) es un tema de importancia en la salud y bienestar de las aves de postura

por lo que se precisa de métodos diagnósticos efectivos y soluciones integrales para mitigar sus efectos.

## Tabla de resultados.

### Cuadro 1.

**Daños en el hueso de quilla a la palpación (callos o fracturas) n (%)**

| SISTEMA PRODUCTIVO | SIN DAÑO | CON DAÑO   | TOTAL |
|--------------------|----------|------------|-------|
| JAULA CONVENCIONAL | 0 (0%)   | 30 (33.7%) | 30    |
| JAULA ENRIQUECIDA  | 0 (0%)   | 30 (33.7%) | 30    |
| PISO               | 1(100%)  | 29 (32.6%) | 30    |
| TOTAL              | 1        | 89         | 90    |

### Cuadro 2.

**Presencia de desviación en el hueso de quilla a la palpación n (%)**

| SISTEMA PRODUCTIVO | SIN DESVIACIÓN | CON DESVIACIÓN | TOTAL |
|--------------------|----------------|----------------|-------|
| JAULA CONVENCIONAL | 4 (15.4%)      | 26 (40.6%)     | 30    |
| JAULA ENRIQUECIDA  | 4 (15.4%)      | 26 (40.6%)     | 30    |
| PISO               | 18(69.2%)      | 12 (18.8%)     | 30    |
| TOTAL              | 26             | 64             | 90    |

**Cuadro 3. Presencia de fracturas, grado de severidad según la escala de Rufener n (%)**

| SISTEMA PRODUCTIVO | AUSENCIA DE FRACTURAS | AL MENOS UNA FRACTURA EN EL ÚLTIMO TERCIO | MAS DE UNA FRACTURA EN EL ÚLTIMO TERCIO | FRACTURA NUEVA EN EL ÚLTIMO TERCIO MAS OTRA EN ALGÚN OTRO TERCIO | MÚLTIPLES FRACTURAS DE DIFERENTE SEVERIDAD EN VARIAS ZONAS | TOTAL |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------|
| JAULA CONVENCIONAL | 21 (60%)              | 6 (21.4%)                                 | 1 (5.3%)                                | 2 (28.6%)                                                        | 0 (0%)                                                     | 30    |
| JAULA ENRIQUECIDA  | 11 (31.4%)            | 7 (25%)                                   | 10 (52.6%)                              | 1 (14.3%)                                                        | 1 (100%)                                                   | 30    |
| PISO               | 3 (8.6%)              | 15 (53.6%)                                | 8 (42.1%)                               | 4 (57.1%)                                                        | 0 (0%)                                                     | 30    |
| TOTAL              | 35                    | 28                                        | 19                                      | 7                                                                | 1                                                          | 90    |

**Cuadro 4. Efecto del sistema productivo en las variables de estudio**

| SISTEMA PRODUCTIVO | No | LONGITUD DE LA QUILLA (CM) M(DE) | RESISTENCIA A LA RUPTURA DE LA TIBIA (N) M(DE) | RESISTENCIA A LA RUPTURA DEL HÚMERO (N) M(DE) |
|--------------------|----|----------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| JAULA CONVENCIONAL | 30 | 12.59 (0.62) <sup>b</sup>        | 20.76 (5.87) <sup>a</sup>                      | 9.83 (7.62) <sup>b</sup>                      |
| JAULA ENRIQUECIDA  | 30 | 11.89 (0.73) <sup>a</sup>        | 25.98 (7.45) <sup>b</sup>                      | 10.96 (4.01) <sup>b</sup>                     |
| PISO               | 30 | 12.48 (0.33) <sup>b</sup>        | 28.19 (7.18) <sup>b</sup>                      | 16.19 (7.05) <sup>a</sup>                     |

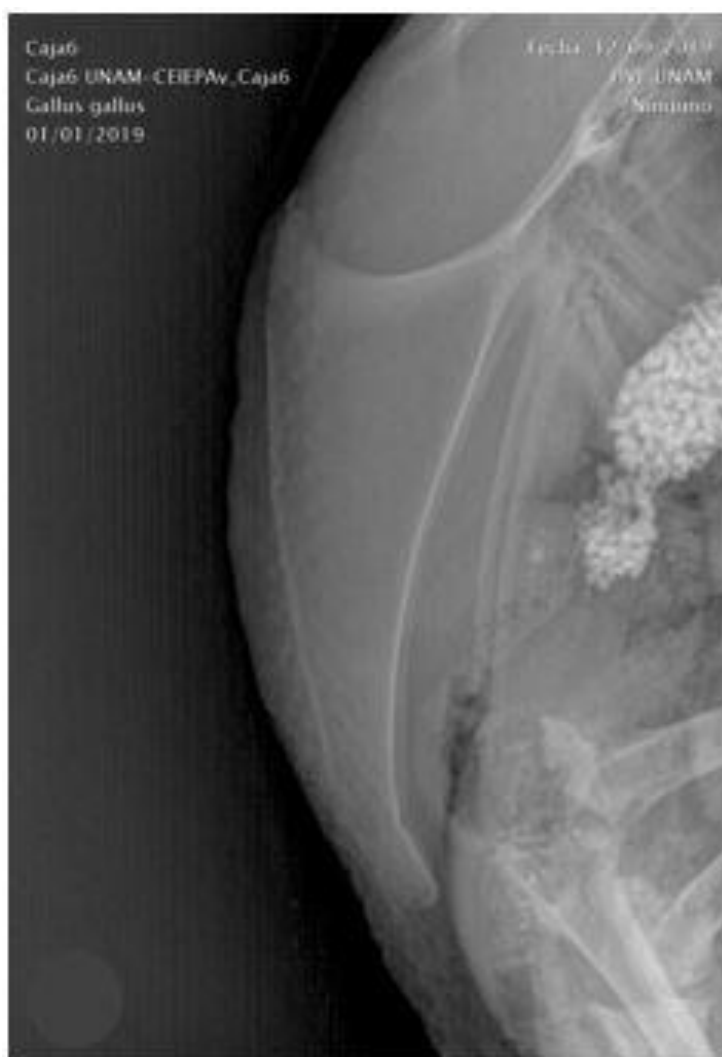
<sup>a, b</sup> valores dentro de la columna, con diferentes superíndices difieren ( $P \leq 0.05$ )

Donde M= media de las variables.

N= Newton

Cm= Centímetros No= número total de muestras

## Imágenes



*Imagen 1 Radiografía de una gallina del sistema convencional, escala 0*



*Imagen2 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema convencional con escala número 3.*



*Imagen 3 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema de piso con evaluación 1.*



*Imagen 2 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema de jaula enriquecida evaluada en la escala 0*



*Imagen 3 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema enriquecido evaluado en la escala 1*



*Imagen 4 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema enriquecido en la escala 2*



*Imagen 5 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema enriquecido evaluado en escala 3*



*Imagen 6 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema enriquecido evaluado en escala 4.*



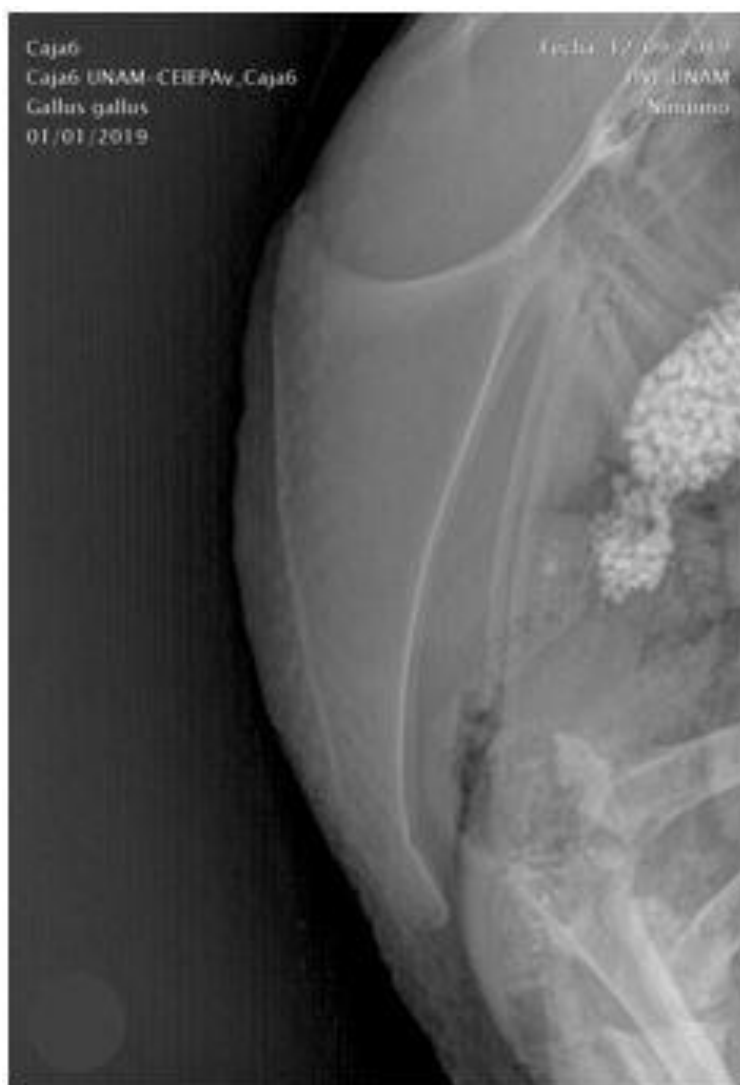
*Imagen 7 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema de piso evaluada en escala 0.*



*Imagen 8 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema de piso evaluada en escala 1*



*Imagen 9 Radiografía del esternón de una gallina alojada en el sistema de piso evaluado en escala 2*



*Imagen 10 Radiografía de una gallina alojada en sistema de piso con escala 3*

## Referencias

1. Indicadores Económicos – Unión Nacional de Avicultores [Internet]. Una.org.mx. 2023 [cited 2024 Nov 2]. Available from: <https://una.org.mx/indicadores-economicos>
2. Sharaf Eddin A, Ibrahim SA, Tahergorabi R. Egg quality and safety with an overview of edible coating application for egg preservation. Food Chemistry. 2019 Oct;296:29–39
3. Nys Y, Guyot N. Egg formation and chemistry. Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products. 2011;83–132.
4. Hincke M T. The eggshell: structure, composition and mineralization. Frontiers in Bioscience. 2012;17(1):1266.
5. Editores BM. Antecedentes de la Avicultura en México - BM Editores [Internet]. bmeditores.mx. 2018. Available from: <https://bmeditores.mx/entorno-pecuario/antecedentes-de-la-avicultura-en-mexico-1551/>
6. Karcher DM, Mench JA. Overview of commercial poultry production systems and their main welfare challenges. Advances in Poultry Welfare. 2018;3–25.
7. Hartcher KM, Jones B. The welfare of layer hens in cage and cage-free housing systems. World's Poultry Science Journal [Internet]. 2017 Oct 31;73(4):767–82. Available from: <https://www.cambridge.org/core/journals/world-s-poultry-science->

journal/article/welfare-of-layer-hens-in-cage-and-cagefree-housing-systems/35FB8DB602AF9AE7C44C00FA3A20D67B

8. Mench JA, Rodenburg TB. Sustainability of laying hen housing systems. *Advances in Poultry Welfare*. 2018;199–225.
9. Coleman K, Weed JL, Schapiro SJ. Environmental Enrichment for Animals Used in Research. *Animal Models for the Study of Human Disease*. 2013;75–94.
10. Doyon M, Bergeron S, Cranfield J, Tamini L, Criner G. Consumer Preferences for Improved Hen Housing: Is a Cage a Cage? *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie*. 2016 Sep 4;64(4):739–51.
11. Poultry (Layers) - Code of Practice for the Care and Handling of Pullets and Laying Hens [Internet]. [www.nfacc.ca](http://www.nfacc.ca). Available from: <https://www.nfacc.ca/codes-of-practice/pullets-and-laying-hens>
12. Elson H, Gleadthorpe A, Vale M, Uk M. Housing and Husbandry of Laying Hens: past, present and future [Internet]. [cited 2023 Nov 13]. Available from: [https://www.lohmann-information.com/content/l\\_i\\_46\\_artikel11.pdf](https://www.lohmann-information.com/content/l_i_46_artikel11.pdf)
13. Yilmaz Dikmen B, İpek A, Şahan Ü, Petek M, Sözcü A. Egg production and welfare of laying hens kept in different housing systems (conventional, enriched cage, and free range). *Poultry Science*. 2016 Mar 18;95(7):1564–72.
14. Casey T, Trott M, Sandilands V, Torrey S, Widowski T. Editor. Rearing system affects prevalence of keel-bone damage in laying hens: a longitudinal study

- of four consecutive flocks. Poultry Science; 2017; 96.  
<http://dx.doi.org/10.3382/ps/pex026>
15. Casey-Trott, T, Heerkens J, Petrik M, Regmi P, Schrader L, Toscano M, Widowski T. Methods for assessment of keel bone damage in poultry. Poultry Science, 2015;94 (10);2339-2350. <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pev223>
  16. Regmi P, Nelson N, Steibel JP, Anderson KE, Karcher DM. Comparisons of bone properties and keel deformities between strains and housing systems in end-of-lay hens. Poultry Science. 2016 Oct;95(10):2225–34.
  17. Liu K, Xin H, Shepherd T, Zhao Y. Perch-shape preference and perching behaviors of young laying hens. Applied Animal Behaviour Science. 2018 Jun;203:34–41.
  18. McMullin P. Infectious diseases in free-range compared to conventional poultry production, Avian Pathology, 2022. DOI: 10.1080/03079457.2022.2086448
  19. McMullin P. Infectious diseases in free-range compared to conventional poultry production. Avian Pathology. 2022 Jul 7;51(5):424–34.
  20. Djukic-Stojcic M, Peric L, Relic R, Bozickovic I, Rodic V, Rezar V. Keel bone damage in laying hens reared in different production systems in Serbia. Biotehnologija u stocarstvu. 2017;33(4):487–92.
  21. Miranda-de la Lama GC, Estévez-Moreno LX, Sepúlveda WS, Estrada-Chavero MC, Rayas-Amor AA, Villarroel M, et al. Mexican consumers' perceptions and attitudes towards farm animal welfare and willingness to pay for welfare friendly meat products. Meat Science. 2017 Mar;125:106–13.

22. Wistedt A, Ridderstråle Y, Wall H, Holm L. Age-related changes in the shell gland and duodenum in relation to shell quality and bone strength in commercial laying hen hybrids. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2019 Mar 12;61(1).
23. Olgun O, Aygun A. Nutritional factors affecting the breaking strength of bone in laying hens. *World's Poultry Science Journal*. 2016 Dec 1;72(4):821–32.
24. S. de Vries, Kwakkel RP, J. Dijkstra. Dynamics of calcium and phosphorus metabolism in laying hens. *CABI eBooks*. 2010 Jan 1;133–50.
25. Ren Z, Sun W, Liu Y, Li Z, Han D, Cheng X, et al. Dynamics of serum phosphorus, calcium, and hormones during egg laying cycle in Hy-Line Brown laying hens. 2019 May 1;98(5):2193–200.
26. Ott SM. *Histomorphometric Analysis of Bone Remodeling*. Elsevier eBooks. 2002 Jan 1;303–XXIII.
27. A. Gloux, Roy NL, J. Ezagal, N. Mème, C. Hennequet-Antier, M.L. Piketty, et al. Possible roles of parathyroid hormone, 1.25(OH)<sub>2</sub>D<sub>3</sub>, and fibroblast growth factor 23 on genes controlling calcium metabolism across different tissues of the laying hen. *Domestic Animal Endocrinology*. 2019 Oct 23;72:106407–7.
28. Molnár A, Kempen I, Sleenckx N, Zoons J, Maertens L, Ampe B, et al. Effects of split feeding on performance, egg quality, and bone strength in brown laying hens in aviary system. *Journal of Applied Poultry Research*. 2018 Sep;27(3):401–15.

29. Saunders-Blades JL, MacIsaac JL, Korver DR, Anderson DM. The effect of calcium source and particle size on the production performance and bone quality of laying hens. *Poultry Science*. 2009 Feb;88(2):338–53.
30. Kim WK, Bloomfield SA, Sugiyama T, Ricke SC. Concepts and methods for understanding bone metabolism in laying hens. *World's Poultry Science Journal*. 2012 Mar 1;68(1):71–82.
31. Rodríguez-Navarro AB, McCormack H, Fleming R, Álvarez-Lloret P, Romero-Pastor J, Nazaret Domínguez-Gasca, et al. Influence of physical activity on tibial bone material properties in laying hens. *Journal of Structural Biology*. 2018 Jan 1;201(1):36–45.
32. Dunning D. Basic mammalian bone anatomy and healing. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*. 2002 Jan;5(1):115–28.
33. Bartl, R. & Bartl, C. Structure and Architecture of Bone. En: R. Bartl & C. Bartl, edits. *Bone Disorders : Biology, Diagnosis, Prevention, Therapy*. Cham: Springer International Publishing, 2017; 11-20.
34. Pereira AP, Murakami AE, Stefanello C, Iwaki LCV, Santos TC. Productive performance, bone characteristics, and intestinal morphology of laying hens fed diets formulated with L-glutamic acid. *Poultry Science*. 2019 Jun;98(6):2500–8.
35. Casinos A, Cubo J. Avian long bones, flight and bipedalism. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. 2001 Dec;131(1):159–67.
36. Nys Y, Roy NL. Calcium Homeostasis and Eggshell Biomineralization in Female Chicken. Elsevier eBooks [Internet]. 2017 Dec 1 [cited 2024 Nov

- 1];361–82. Available from: <https://discovery.researcher.life/article/chapter-22-calcium-homeostasis-and-eggshell-biomineralization-in-female-chicken/50941f12b56634689f0c868ddc73d0eb>
37. Kerschnitzki M, Zander T, Zaslansky P, Fratzl P, Shahar R, Wagermaier W. Rapid alterations of avian medullary bone material during the daily egg-laying cycle. *Bone*. 2014 Dec;69:109–17.
38. Canoville A, Schweitzer MH, Zanno LE. Systemic distribution of medullary bone in the avian skeleton: ground truthing criteria for the identification of reproductive tissues in extinct Avemetatarsalia. *BMC Evolutionary Biology*. 2019 Mar 7;19(1).
39. Fleming RH, McCormack HA, McTeir L, Whitehead CC. Relationships between genetic, environmental and nutritional factors influencing osteoporosis in laying hens. *British Poultry Science*. 2006 Dec;47(6):742–55.
40. Handbook of Avian Medicine [Internet]. Elsevier Shop. 2024 [cited 2024 Nov 9]. Available from: <https://shop.elsevier.com/books/handbook-of-avian-medicine/tully/978-0-7020-2874-8>
41. Tracy LM, Temple SM, Bennett DC, Sprayberry KA, Makagon MM, Blatchford RA. The Reliability and Accuracy of Palpation, Radiography, and Sonography for the Detection of Keel Bone Damage. *Animals* [Internet]. 2019 Nov 1 [cited 2022 Aug 20];9(11):894. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6912489/>
42. Riber AB, Casey-Trott TM, Herskin MS. The Influence of Keel Bone Damage on Welfare of Laying Hens. *Frontiers in Veterinary Science*. 2018 Feb 28;5.

43. Avian anatomy and physiology. *Clinical Anatomy and Physiology of Exotic Species*. 2005;97–161.
44. Habig C, Henning M, Baulain U, Jansen S, Scholz AM, Weigend S. Keel Bone Damage in Laying Hens—Its Relation to Bone Mineral Density, Body Growth Rate and Laying Performance. *Animals*. 2021 May 25;11(6):1546.
45. Käppeli S, Gebhardt-Henrich SG, Fröhlich E, Pfulg A, Schäublin H, Stoffel MH. Effects of housing, perches, genetics, and 25-hydroxycholecalciferol on keel bone deformities in laying hens. *Poultry Science*. 2011 Aug;90(8):1637–44.
46. Toscano M. Skeletal problems in contemporary commercial laying hens. *Advances in Poultry Welfare*. 2018;151–73.
47. Baker SL, Robison CI, Karcher DM, Toscano MJ, Makagon MM. Keel impacts and associated behaviors in laying hens. *Applied Animal Behaviour Science*. 2020 Jan;222:104886.
48. Saraiva S, Esteves A, Stilwell G. Influence of different housing systems on prevalence of keel bone lesions in laying hens. *Avian Pathology*. 2019 Jun 21;48(5):454–9.
49. On-farm comparison of keel fracture prevalence and other welfare indicators in conventional cage and floor-housed laying hens in Ontario, Canada. *Poultry Science* [Internet]. 2015 Apr 1;94(4):579–85. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003257911932440X>
50. Spiridonović S, Đukić-Stojčić M, Perić L, Pajić M, Knežević S. Welfare parameters and keel bone damage in laying hens reared in different production systems. *Biotechnology in Animal Husbandry* [Internet]. 2024

[cited 2024 Nov 9];37(2):109–16. Available from:  
<https://doi.org/10.2298/BAH2102109S>

51. Thøfner I, Hougen HP, Villa C, Lynnerup N, Christensen JP. Pathological characterization of keel bone fractures in laying hens does not support external trauma as the underlying cause. Yildirim A, editor. PLOS ONE. 2020 Mar 9;15(3):e0229735.
52. Chargo NJ, Robison CI, Akaeze HO, Baker SL, Toscano MJ, Makagon MM, et al. Keel bone differences in laying hens housed in enriched colony cages. Poultry Science. 2019 Feb;98(2):1031–6.
53. Donaldson CJ, Ball MEE, O'Connell NE. Aerial perches and free-range laying hens: The effect of access to aerial perches and of individual bird parameters on keel bone injuries in commercial free-range laying hens. Poultry Science. 2012 Jan 17;91(2):304–15.
54. Grafl B, Polster S, Sulejmanovic T, Pürrier B, Guggenberger B, Hess M. Assessment of health and welfare of Austrian laying hens at slaughter demonstrates influence of husbandry system and season. British Poultry Science. 2017 Mar 15;58(3):209–15.
55. Rufener C, Baur S, Stratmann A, Toscano MJ. A Reliable Method to Assess Keel Bone Fractures in Laying Hens From Radiographs Using a Tagged Visual Analogue Scale. Frontiers in Veterinary Science. 2018 Jun 7;5.
56. Harlander-Matauschek A, Rodenburg TB, Sandilands V, Tobalske BW, Toscano MJ. Causes of keel bone damage and their solutions in laying hens. World's Poultry Science Journal. 2015 Sep 1;71(3):461–72.

57. Bishop SC, Fleming RH, McCormack HA, Flock DK, Whitehead CC. Inheritance of bone characteristics affecting osteoporosis in laying hens. *British Poultry Science*. 2000 Mar;41(1):33–40.
58. Sparke A, Sims T, Avery N & Bailey A. Differences in composition of avian bone collagen following genetic selection for resistance to osteoporosis. *British Poultry Science*. 2002;43(1):127-134. DOI: 10.1080/00071660120109962
59. Webster AB. Welfare implications of avian osteoporosis. *Poultry Science*. 2004 Feb;83(2):184–92.
60. Wang S, Hu Y, Wu Y, Liu Y, Liu G, Yan Z, et al. Influences of bioapatite mineral and fibril structure on the mechanical properties of chicken bone during the laying period. *Poultry science*. 2019 Dec 1;98(12):6393–9.
61. Neijat M, Casey-Trott TM, Robinson S, Widowski TM, Kiarie E. Effects of rearing and adult laying housing systems on medullary, pneumatic and radius bone attributes in 73-wk old Lohmann LSL lite hens. *Poultry Science*. 2019 Jul;98(7):2840–5.
62. Stratmann A, Fröhlich EKF, Gebhardt-Henrich SG, Harlander-Matauschek A, Würbel H, Toscano MJ. Genetic selection to increase bone strength affects prevalence of keel bone damage and egg parameters in commercially housed laying hens. *Poultry Science*. 2016 May;95(5):975–84.
63. Candelotto L, Stratmann A, Gebhardt-Henrich SG, Rufener C, van de Braak T, Toscano MJ. Susceptibility to keel bone fractures in laying hens and the role of genetic variation. *Poultry Science*. 2017 Jul 28;96(10):3517–28.

64. Heerkens JLT, Delezie E, Ampe B, Rodenburg TB, Tuytens FAM. Ramps and hybrid effects on keel bone and foot pad disorders in modified aviaries for laying hens. *Poultry Science*. 2016 May 3;95(11):2479–88.
65. Adhikari R, White D, House JD, Kim WK. Effects of additional dosage of vitamin D3, vitamin D2, and 25-hydroxyvitamin D3 on calcium and phosphorus utilization, egg quality and bone mineralization in laying hens. *Poultry Science* [Internet]. 2020 Jan 1 [cited 2020 May 27];99(1):364–73. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119578816>
66. Olgun O, Aygun A. Nutritional factors affecting the breaking strength of bone in laying hens. *World's Poultry Science Journal*. 2016 Dec 1;72(4):821–32.
67. Swiatkiewicz, A. Arczewska-Wlosek, Jozefiak D. Bone quality, selected blood variables and mineral retention in laying hens fed with different dietary concentrations and sources of calcium. *Livestock Science*. 2015 Sep 26;181:194–9.
68. DeCamp CE, Johnston SA, Déjardin LM, Schaefer SL. Brinker, Piermattei and Flo's Handbook of Small Animal Orthopedics and Fracture Repair. Elsevier eBooks. 2016 Jan 1;
69. Nyary T & Scammell B. Principles of bone and joint injuries and their healing. *Surgery*. Oxford. 2018;36(1);7-14. <https://doi.org/10.1016/j.mpsur.2017.10.005>
70. Richards GJ, Nasr MA, Brown SN, Szamocki EMG, Murrell J, Barr F, et al. Use of radiography to identify keel bone fractures in laying hens and assess healing in live birds. *Veterinary Record*. 2011 Aug 10;169(11):279–9.

71. Baur S, Rufener C, Toscano MJ, Geissbühler U. Radiographic Evaluation of Keel Bone Damage in Laying Hens—Morphologic and Temporal Observations in a Longitudinal Study. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020 Mar 12;7.
72. Wilkins LJ, Brown SN, Zimmerman PH, Leeb C, Nicol CJ. Investigation of palpation as a method for determining the prevalence of keel and furculum damage in laying hens. *Veterinary Record*. 2004 Oct;155(18):547–9.
73. Buijs S, Heerkens JLT, Ampe B, Delezie E, Rodenburg TB, Tuytens FAM. Assessing keel bone damage in laying hens by palpation: effects of assessor experience on accuracy, inter-rater agreement and intra-rater consistency. *Poultry Science*. 2018 Jul 26;98(2):514–21.
74. Fleming RH, McCormack HA, McTeir L, Whitehead CC. Relationships between genetic, environmental and nutritional factors influencing osteoporosis in laying hens. *British Poultry Science*. 2006 Dec;47(6):742–55.
75. Li J, Stocum DL. Fracture Healing. *Basic and Applied Bone Biology*. 2014;205–23.
76. Eusemann BK, Baulain U, Schrader L, Thöne-Reineke C, Patt A, Petow S. Radiographic examination of keel bone damage in living laying hens of different strains kept in two housing systems. Yildirim A, editor. *PLOS ONE*. 2018 May 9;13(5):e0194974.
77. Mackey EB, Hernandez-Divers SJ, Holland M, Frank P. Clinical Technique: Application of Computed Tomography in Zoological Medicine. *Journal of Exotic Pet Medicine*. 2008 Jul;17(3):198–209.

78. Gumpenberger M, Henninger W. The use of computed tomography in avian and reptile medicine. *Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine*. 2001 Oct;10(4):174–80.
79. Korver DR, Saunders-Blades JL, Nadeau KL. Assessing bone mineral density in vivo: quantitative computed tomography. *Poultry Science*. 2004 Feb 1;83(2):222–9.
80. J. Kevin Kealy, McAllister H, Graham JP. *Diagnostic Radiology and Ultrasonography of the Dog and Cat*. Elsevier eBooks. 2011.
81. Sandilands V, Moinard C, Sparks NHC. Providing laying hens with perches: fulfilling behavioural needs but causing injury? *British Poultry Science*. 2009 Jul;50(4):395–406.
82. Radiology Equipment and Positioning Techniques. *Radiology of Birds: An Atlas of Normal Anatomy and Positioning* [Internet]. Vetbooks.ir. 2016
83. 83. Avian Radiography and radiographic diagnosis. *Veterinary Diagnostic Imaging: Birds, Exotic Pets and Wildlife* [Internet]. Vetbooks.ir. 2017
84. Thrall D. Introduction to Radiographic Interpretation. En: D. E. Thrall, ed. *Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology*. Seventh Edition. s.l.:W.B. Saunders. 2018;10-122. <https://www.elsevier.com/books/textbook-of-veterinary-diagnostic-radiology/9780323482479>
85. Morales M. P, Novoa G. M. Descripción morfológica de la musculatura del miembro pélvico de un ejemplar de lechuza común (*Tyto alba*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 2021 Oct 27;32(5):e21340.
86. Sisson S, Grossman J. *Anatomia de los animales domesticos Tomo II*. Traducido por Martin R, Illera M, Blaquez B. Mason. 2002. 1957-1973.

87. Molnár A, Maertens L, Ampe B, Buyse J, Zoons J, Delezie E. Supplementation of fine and coarse limestone in different ratios in a split feeding system: Effects on performance, egg quality, and bone strength in old laying hens. *Poultry Science*. 2017 Jun;96(6):1659–71.
88. Pickel T, Schrader L, Scholz B. Pressure load on keel bone and foot pads in perching laying hens in relation to perch design. *Poultry Science*. 2011 Mar 14;90(4):715–24.
89. Raymond B, Johansson A, McCormack H, Fleming R, Schmutz M, Dunn I, De Koning D. Genome-wide association study for bone strength in laying hens. *Journal of Animal Science*; 2018; 96(7); 2525–2535, <https://doi.org/10.1093/jas/sky157>
90. Raymond B, Johansson AM, McCormack HA, Fleming RH, Schmutz M, Dunn IC, et al. Genome-wide association study for bone strength in laying hens1. *Journal of Animal Science*. 2018 Apr 26;96(7):2525–35.
91. Eusebio-Balcazar PE, Purdum S, Hanford K, Beck MM. Limestone particle size fed to pullets influences subsequent bone integrity of hens. *Poultry Science* [Internet]. 2018 May 1 [cited 2022 Dec 7];97(5):1471–83. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29506184/>
92. Willie BM, Zimmermann EA, Vitienes I, Main RP, Komarova SV. Bone adaptation: Safety factors and load predictability in shaping skeletal form. *Bone* [Internet]. 2020 Feb 1;131:115114. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S8756328219304077>

93. Meng F, Chen D, Li X, Li J, Bao J. The effect of large or small furnished cages on behaviors and tibia bone of laying hens. *Journal of Veterinary Behavior*. 2017 Jan;17:69–73.
94. Shipov A, Sharir A, Zelzer E, Milgram J, Monsonego-Ornan E, Shahar R. The influence of severe prolonged exercise restriction on the mechanical and structural properties of bone in an avian model. *The Veterinary Journal*. 2010 Feb;183(2):153–60.
95. Widowski TM, Caston LJ, Hunniford ME, Cooley L, Torrey S. Effect of space allowance and cage size on laying hens housed in furnished cages, Part I: Performance and well-being. *Poultry Science*. 2017 Jul 28;96(11):3805–15.
96. Onbaşılar E, Erdem E, Ünal N, Tunc A, Kocakaya A, Yaranoglu B. Comparison of liver and bone health of two laying hen strains kept in different cage systems. *Europ. Poult. Sci.* 2016;8; 1-9. DOI: 10.1399/eps.2016.123
97. Fernandes JIM, Horn D, Ronconi EJ, Buzim R, Lima FK, Pazdiora DA. Effects of Phytase Superdosing on Digestibility and Bone Integrity of Broilers. *Journal of Applied Poultry Research*. 2019 Jun;28(2):390–8.
98. Tarlton JF, Wilkins LJ, Toscano MJ, Avery NC, Knott L. Reduced bone breakage and increased bone strength in free range laying hens fed omega-3 polyunsaturated fatty acid supplemented diets. *Bone*. 2013 Feb;52(2):578–86.