

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**  
**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA



Tesis

Niveles de calcio total sobre la morfometría ósea en pollos de engorde Cobb 500 criados en altura

Presentado por:

Walter Jhair Condori Monroy

Para optar el título de Médico Veterinario y Zootecnista

Abancay, Perú

2025



**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**  
**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**



**TESIS**

**Niveles de calcio total sobre la morfometría ósea en pollos de engorde Cobb 500 criados en altura**

Presentado por **Walter Jhair Condori Monroy**, para optar el título Médico Veterinario y Zootecnista

Sustentado y aprobado 19 de febrero de 2025 ante el jurado evaluador:

**Presidente:**

*Dr. Aldo Alim Valderrama Pomé*

**Primer miembro:**

*Ph.D. Oscar Elisban Gómez Quispe*

**Segundo miembro:**

*Dr. Virgilio Machaca Machaca*

**Asesor:**

*Mg. Sc. Jhonatan Steve Inca Moreano*





## Constancia de similitud

### Informe de Tesis Constancia 15-2025-UDI-FMVZ-UNAMBA

El director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.

#### Hace constar:

Que, **Walter Jhair Condori Monroy**, con código de estudiante **181266** de la Escuela Académico Profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, presentó el informe de tesis:

#### Niveles de calcio total sobre la morfometría ósea en pollos de engorde Cobb 500 criados en altura

Para ser evaluada su similitud.

Se utilizó el software Turnitin con filtros: excluir citas, excluir bibliografía, excluir fuentes que tengan menos de 18 palabras. Siendo el resultado:

**Porcentaje de similitud: 5%**

Parte de esta constancia son los anexos donde figuran los resultados del Turnitin.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para fines de trámites en la UNAMBA.

Abancay, 11 de marzo 2025

Atentamente,

  
  
Dr. Ulises S. Quispe Gutiérrez  
Director

investigacion.fmvz@unamba.edu.pe  
cc/.  
Arch.

## **Agradecimiento**

*A mi asesor, Ing. Mg. Sc. Jhonatan Steve Inca Moreano, por su invaluable guía, paciencia y apoyo durante todo el proceso de investigación.*

*A mi familia y amigos, por su apoyo incondicional, aliento y comprensión durante este tiempo.*

*Agradezco a todos por compartir este viaje de felicidad, frustraciones y mucho aprendizaje.*



## **Dedicatoria**

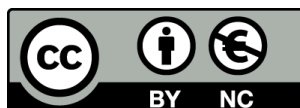
*A mis padres, por ser los pilares fundamentales de mi formación profesional, brindándome su apoyo incondicional y enseñándome el valor del esfuerzo y la perseverancia.*



Niveles de calcio total sobre la morfometría ósea en pollos de engorde Cobb 500 criados en altura

Linea de investigación: Ciencias Veterinarias

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>RESUMEN</b>	2
<b>ABSTRACT</b>	3
<b>CAPÍTULO I</b>	4
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	4
1.1 Descripción del problema	4
1.2 Enunciado del problema	5
1.2.1 Problema general	5
1.2.2 Problemas específicos	5
1.2.3 Justificación de la investigación	5
<b>CAPÍTULO II</b>	7
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b>	7
2.1 Objetivos de la investigación	7
2.1.1 Objetivo general	7
2.1.2 Objetivos específicos	7
2.2 Hipótesis de la investigación	7
2.2.1 Hipótesis general	7
2.2.2 Hipótesis específicas	7
2.3 Operacionalización de variables	8
<b>CAPÍTULO III</b>	9
<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b>	9
3.1 Antecedentes	9
3.2 Marco teórico	11
3.2.1 Pollos de engorde en el Perú	11
3.2.2 Etapas de desarrollo del pollo	11
3.2.2.1 Etapa de inicio	11
3.2.2.2 Etapa de crecimiento	11
3.2.2.3 Etapa de finalización	12
3.2.3 Requerimientos nutricionales	12
3.2.4 Generalidades del calcio	12
3.2.5 Calcio total	13



3.2.6	Mineralización del tejido óseo	13
3.2.7	Conceptos generales de morfología ósea	14
3.2.8	Morfometría ósea en la industria avícola	15
3.3	Marco conceptual	16
<b>CAPÍTULO IV</b>		18
<b>METODOLOGÍA</b>		18
4.1	Tipo y nivel de investigación	18
4.2	Diseño de la investigación	18
4.3	Descripción ética de la investigación	19
4.4	Población y muestra	20
4.5	Procedimiento	21
4.5.1	Formulación de las dietas	21
4.5.2	Descripción de materiales y equipos	21
4.5.3	Determinación de grupos experimentales	23
4.5.4	Administración de las dietas	24
4.5.5	Estimación de las variables a evaluar	24
4.5.6	Procedimiento para la obtención de medidas morfométricas	25
4.6	Técnica e instrumentos	25
4.7	Análisis estadístico	26
<b>CAPÍTULO V</b>		27
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>		27
5.1	Análisis de resultados	27
5.1.1	Peso óseo	27
5.1.2	Dimensiones óseas	28
5.2	Discusión	30
<b>CAPÍTULO VI</b>		34
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		34
6.1	Conclusiones	34
6.2	Recomendaciones	34
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		35
<b>ANEXOS</b>		38

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Variable e indicador del estudio	8
<b>Tabla 2.</b> Tratamientos del experimento	23
<b>Tabla 3.</b> Distribución de repeticiones experimentales según niveles de calcio total	24
<b>Tabla 4.</b> Efecto del nivel de calcio total en el peso óseo de pollos de engorde criados en altura	28
<b>Tabla 5.</b> Efecto del nivel de calcio total en las dimensiones óseas en pollos de engorde criados en altura	29



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Fig. 1.</b> Diseño de investigación	19
<b>Fig. 2.</b> Proceso de adecuación y preparación de las instalaciones experimentales para la crianza de pollos de engorde Cobb 500	39
<b>Fig. 3.</b> Procedimiento de pesaje y preparación de ingredientes para la formulación de dietas experimentales con diferentes niveles de calcio total	39
<b>Fig. 4.</b> Proceso de distribución aleatoria de las unidades experimentales (pollos Cobb 500) en los diferentes tratamientos con niveles variables de calcio total	40
<b>Fig. 5.</b> Vista general de las aves distribuidas en los corrales experimentales según los tratamientos asignados durante el periodo de investigación	40
<b>Fig. 6.</b> Procedimiento de recolección y clasificación de estructuras óseas para evaluación morfométrica en laboratorio	41
<b>Fig. 7.</b> Sistema de identificación y etiquetado de muestras óseas para garantizar la trazabilidad durante los análisis de laboratorio	41
<b>Fig. 8.</b> Proceso de evaluación y análisis morfométrico de las muestras óseas en el Laboratorio de Nutrición y Alimentación Animal	42
<b>Fig. 9.</b> Proceso de determinación del peso óseo mediante el uso de balanza analítica digital de alta precisión (Marca OHAUS) para la evaluación cuantitativa de las estructuras óseas obtenidas de pollos de engorde Cobb 500 sometidos a diferentes niveles de calcio total	42



## INTRODUCCIÓN

En el contexto mundial, la producción avícola ha experimentado un crecimiento notable, destacándose el pollo de engorde como la especie aviar más ampliamente producida en comparación con otras de interés pecuario. A nivel nacional, esta especie avícola es de mayor relevancia debido a su contribución significativa en el ámbito económico, social y para la seguridad alimentaria, al ser una de las principales fuentes proteicas de bajo precio <sup>1</sup>.

De esta forma, en este sector existe un constante desafío por maximizar la eficiencia y garantizar la salud de los pollos de engorde, por lo que se lleva a cabo una investigación constante sobre los principales nutrientes en la crianza de aves <sup>2</sup>. Entre los nutrientes, el calcio resalta como un macromineral crucial para el pollo de engorde, ya que influye en la salud y estructura ósea, debido a que si existiera una deficiencia en el nivel de calcio total podrían generarse trastornos esqueléticos en pollos de engorde, los cuales representan una preocupación significativa, pues estos constituyen más del 30% de las pérdidas totales a nivel global en el sector avícola, afectando la producción y el bienestar animal <sup>3</sup>.

Por otra parte, los estudios realizados sobre el calcio en raciones para pollos de engorde se realizaron en producciones a nivel del mar o lugares con baja altitud (menor a 1000 m.s.n.m.), limitando el alcance de los resultados de estas investigaciones en condiciones de altura. Entonces, surge la necesidad de efectuar investigaciones que aborden de forma integral el calcio total en pollos de engorde criados en condiciones de altura (mayor a 2500 m.). Por lo cual, la presente investigación tiene como objetivo evaluar la influencia de los diferentes niveles de calcio total sobre la medida ósea en pollos de engorde Cobb 500, esperando que la investigación proporcione información valiosa para la formulación de calcio total en raciones para pollos de engorde, especialmente en producciones avícolas situadas en lugares de elevada altitud.

.



## RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de los diferentes niveles de calcio total en la dieta sobre las medidas óseas en pollos de engorde Cobb 500. Se utilizaron 84 pollos de engorde de la línea Cobb 500 distribuidos en cuatro tratamientos con diferentes niveles de calcio total en la dieta (0.66 %, 0.76 %, 0.86 % y 0.96 %), siguiendo un diseño completamente aleatorizado. Se evaluaron características óseas como peso y dimensiones lineales de diversos huesos. Los resultados mostraron que los niveles de calcio total entre 0.76 % y 0.96 % fueron más favorables para el crecimiento óseo general, con 0.76 % produciendo mayores pesos óseos ( $P < 0.05$ ), mientras que niveles inferiores a 0.76 % afectaron negativamente el crecimiento óseo (largo y medial de hueso) ( $P < 0.05$ ); sin embargo, no hubo efecto del nivel de calcio total sobre el ancho de hueso. Se concluye que las dietas deben formularse con un nivel de calcio total de 0.76 % (T2) para no alterar el peso óseo y que niveles de calcio total por encima de 0.76 % incrementan el largo y medial de huesos de pollos de engorde Cobb 500 criados en altura.

**Palabras clave:** *Calcio total, morfometría ósea, pollos de engorde, Cobb 500*



## ABSTRACT

Evaluate the influence of different total calcium levels in the diet on bone morphometry in Cobb 500 broiler chickens. Eighty-four Cobb 500 broilers were distributed in four treatments with different levels of total calcium in the diet (0.66 %, 0.76 %, 0.86 % and 0.96 %), following a completely randomized design. Bone characteristics such as weight and linear dimensions of various bones were evaluated. Results showed that total calcium levels between 0.76 % and 0.96 % were more favorable for overall bone growth, with 0.76 % producing greater bone weights ( $P < 0.05$ ), while levels below 0.76 % negatively affected bone growth (bone length and medial bone) ( $P < 0.05$ ); however, there was no effect of total calcium level on bone width. It's concluded that diets should be formulated with a total calcium level of 0.76 % (T2) so as not to alter bone weight and that total calcium levels above 0.76 % increase bone length and medial bone of Cobb 500 broilers raised at altitude.

**Keywords:** *Total calcium, bone morphometry, broiler chickens, Cobb 500.*



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción del problema

Los desórdenes esqueléticos afectan el bienestar del ave debido al dolor crónico que generan y la limitación en la movilidad que impide el acceso normal a agua y alimento, además representan pérdidas económicas significativas en la industria avícola por la mayor mortalidad, reducción en la eficiencia productiva y decomisos durante el procesamiento, constituyendo más del 30% de las pérdidas totales a nivel global <sup>3</sup>; razón por lo cual, la investigación de macrominerales toma relevancia en la nutrición aviar. De los macrominerales, se puede destacar al calcio, debido a que estudios preliminares indican que alrededor del 99% del calcio en el organismo de las aves participa en el crecimiento óseo <sup>4</sup>. Así mismo, otras investigaciones han identificado que la deficiencia de calcio en raciones para especies avícolas es un factor crítico, ya que conlleva a una serie de deformaciones óseas irreversibles <sup>5, 6</sup>.

Se ha observado que el rápido crecimiento que experimentan los pollos de engorde en la fase de inicio (cuadruplican el peso vivo al día siete en relación al primer día) representa un desafío significativo para el desarrollo esquelético de las aves <sup>7</sup>. Por lo cual, se debe ajustar las concentraciones de minerales en la formulación de raciones, haciendo hincapié en el calcio dietario. Niveles adecuados de calcio en la dieta contribuyen a huesos más fuertes y resistentes en pollos de engorde. Por otra parte, se reportan posibles riesgos asociados a niveles elevados de calcio, como el desarrollo de cálculos renales, así como otras condiciones que afectan la salud aviar <sup>8</sup>. Sin embargo, varios productores avícolas a menudo siguen prácticas de alimentación tradicionales sin considerar de manera adecuada los requerimientos nutricionales específicos para prevenir los problemas de desarrollo esquelético en pollos de engorde <sup>9</sup>.

En el contexto nacional, la crianza de aves cumple un rol clave en el desarrollo económico, reportándose que en el 2022 las principales zonas fueron Lima, La Libertad y Arequipa; debido a las condiciones climatológicas que presentan las regiones costeras <sup>10</sup>. Mientras que en regiones altoandinas la crianza de pollos de engorde sigue presentando



inconvenientes debido a las condiciones como la altura y las bajas temperaturas, lo cual terminan afectando el crecimiento de estos (Ross, Cobb, Arbor Acres, etc.)<sup>11</sup>.

Con base a lo expuesto previamente, se deben realizar estudios sobre el calcio total en dietas de pollos de engorde Cobb 500 criados en altura, como es el caso de la región Cusco.

## **1.2 Enunciado del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Qué influencia tiene el nivel de calcio total de la dieta sobre la morfometría ósea en pollos de engorde Cobb 500?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cómo varía el peso óseo con diferentes niveles de calcio en pollos de engorde Cobb 500?
- ¿Cómo afectan los diferentes niveles de calcio en las dimensiones lineales de los huesos en pollos de engorde Cobb 500?

### **1.2.3 Justificación de la investigación**

Existe información limitada sobre los requerimientos de calcio en pollos de engorde criados en altura, pudiendo ser impreciso el conocimiento de los niveles óptimos y sus efectos sobre la morfometría ósea. Este problema se agrava si consideramos que hoy en día se promueve la nutrición de precisión, evitando que se incrementen o disminuyan los niveles de un nutriente que pueden afectar el bienestar del ave. Por lo tanto, se requiere de investigaciones que promuevan incluir en las dietas los niveles óptimos de un nutriente (calcio total), en diferentes condiciones de crianza.

Asimismo, los hallazgos del estudio servirán a productores avícolas que operan en zonas de elevada altitud, permitiéndoles formular dietas con niveles óptimos de calcio total para pollos de engorde Cobb 500; de esta forma, se ayudará a prevenir problemas de desarrollo óseo y reducir pérdidas económicas, contribuyendo así a mejorar la eficiencia productiva y el bienestar animal. Por otro lado, esta información también será útil para la comunidad científica, siendo



de utilidad para futuros estudios con un contexto similar con el fin de ampliar el conocimiento sobre las necesidades nutricionales de estas aves.



## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

#### **2.1 Objetivos de la investigación**

##### **2.1.1 Objetivo general**

Evaluar la influencia de los diferentes niveles de calcio total en la dieta sobre la morfometría óseas en pollos de engorde Cobb 500.

##### **2.1.2 Objetivos específicos**

- Analizar la variación del peso óseo con diferentes niveles de calcio en pollos de engorde Cobb 500 criados en altura.
  
- Evaluar el efecto de diferentes niveles de calcio en las dimensiones lineales de los huesos en pollos de engorde Cobb 500 criados en altura.

#### **2.2 Hipótesis de la investigación**

##### **2.2.1 Hipótesis general**

Las medidas morfométricas óseas de pollos de engorde Cobb 500 presentará un efecto positivo con la dieta de mayor nivel de calcio total.

##### **2.2.2 Hipótesis específicas**

- La dieta con mayor nivel de calcio total incrementará el peso óseo de pollos de engorde Cobb 500.
  
- La dieta con mayor nivel de calcio total incrementará las dimensiones lineales óseas en pollos de engorde Cobb 500.



## 2.3 Operacionalización de variables

**Tabla 1**

Variable e indicador del estudio

Tipo de variable	Variabes	Indicadores	Índice/ Porcentaje/U.M.
Independiente	Calcio total	T1: 0.66 %	Porcentaje (%)
		T2: 0.76 %	
		T3: 0.86 %	
		T4: 0.96 %	
Dependiente	Peso óseo	Fémur	(g)
		Tibia	
		Metatarso	
		Húmero	
		Radio - Cúbito	
		Metacarpo	
		Quilla	
	Dimensiones lineales	Fémur	Largo Ancho Medial
		Tibia	
		Metatarso	
		Húmero	
		Radio	
		Cúbito	
		Metacarpo	
Quilla			



## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 3.1 Antecedentes

- a) En un estudio se investigó el impacto de niveles de calcio en la dieta sobre las características óseas en pollos de engorde. Se asignaron aleatoriamente 420 pollos a siete tratamientos con diferentes niveles de calcio (0,60%, 0,70%, 0,80%, 0,90%, 1,00%, 1,10%, 1,20%) durante 21 días. Se encontró que la densidad mineral ósea y la resistencia a la rotura de la tibia se vieron afectados por el nivel de calcio. Concluyendo que los requerimientos óptimos oscilan entre 0,80% y 1,00% para el desarrollo óseo de los pollos <sup>14</sup>.
- b) Se llevó a cabo un estudio para investigar el impacto de las dietas bajas en calcio en gallinas. Se asignaron 72 gallinas a dos grupos con diferentes niveles de calcio durante 12 semanas. Se observó que la densidad mineral ósea y las propiedades biomecánicas del hueso disminuyeron en las aves con bajo contenido de calcio (1.5%), mostrando una corteza más delgada y una red trabecular ósea menos cohesiva. Se concluyó que las dietas bajas en calcio contribuyen al desarrollo de osteoporosis, caracterizada por pérdida de hueso y disminución de su resistencia <sup>15</sup>.
- c) Otro estudio evaluó el impacto de diversas fuentes y niveles de calcio en pollos de engorde. Se utilizaron 300 pollos asignados a seis tratamientos que recibieron una dieta con suplementos de 0.95% o 1.05% de Fosfato dicálcico activo (ADP), polvo de conchas limpiado con ácido acético (SCAC) y polvo de conchas limpiado con agua destilada (SS). La dieta con 1.05% de suplemento de ADP resultó más efectiva, mostrando un aumento en el rendimiento de los músculos de las piernas y una disminución en la tasa de grasa abdominal ( $P < 0.05$ ). Se concluyó que el ADP es una fuente potencial de calcio que beneficia tanto el desarrollo muscular como esquelético en pollos de engorde Cobb 500 <sup>16</sup>.
- d) Se llevó a cabo un experimento para investigar los efectos de la deficiencia de calcio en el desarrollo óseo de pollos de engorde. Se evaluaron 504 pollos con diferentes niveles



de calcio (1,00% y 0,35%) durante 21 días. Las dietas deficientes en calcio disminuyeron significativamente la densidad mineral ósea, la resistencia ósea y los niveles de 25-hidroxivitamina D3 (25-OHD3) en las cenizas de la tibia. Además, se observaron aumentos en el contenido sérico de calcio y la actividad de la fosfatasa alcalina de la tibia (ALP). De esta forma, se concluyó que la deficiencia de calcio afectó significativamente diversos indicadores clave del metabolismo óseo en pollos de engorde <sup>17</sup>.

- e) En un estudio se evaluó el impacto de diferentes fuentes comerciales de calcio en la dieta de pollos de engorde, centrándose en las características óseas. Se utilizaron 300 pollos distribuidos en seis tratamientos diferentes. Después de 21 días, se analizaron las tibias para evaluar morfometría e indicadores de mineralización ósea. El fosfato dicálcico (DCP), una fuente de calcio mostró los mejores resultados en la mineralización ósea. Se concluyó que la fuente de calcio en la dieta es relevante para la salud ósea de los pollos de engorde <sup>18</sup>.
- f) Otro estudio evaluó el impacto de diferentes relaciones de calcio en la morfometría e integridad ósea de pollos Cobb 500. Se utilizaron 68 pollos durante 21 días. Las relaciones altas de calcio (1.98 y 1.55) mostraron mejores resultados, mientras que una relación baja de calcio (1.14) afectó negativamente la habilidad para caminar, densidad de la tibia e índice de forma del tarso. Se concluyó que el contenido de ceniza en la tibia es sensible a los niveles de calcio, y los indicadores de morfometría e integridad ósea se ven afectados cuando la relación de calcio es menor a 1.55 <sup>19</sup>.
- g) Se reportó, mediante otra investigación, que los pollos de engorde que se alimentan de una dieta calcio total a nivel de 1,10% tuvieron una mayor densidad mineral ósea que los pollos que consumieron una dieta con calcio total de 0,90% o 1,30% <sup>20</sup>.
- h) Se evaluó el efecto de dietas bajas en calcio durante las fases de crecimiento y finalización de pollos. Se emplearon 3600 pollos Ross 708 divididos en 10 corrales. La dieta baja en calcio disminuyó el contenido mineral óseo, la resistencia a la rotura, y las cenizas en tibia y dedos al día 21, efectos que persistieron hasta el día 37. Se concluyó que la reducción de calcio durante el crecimiento es viable sin afectar el rendimiento final, siempre que la dieta de finalización contenga cantidades adecuadas de este mineral <sup>21</sup>.



## 3.2 Marco teórico

### 3.2.1 Pollos de engorde en el Perú

La introducción de pollos de engorde Cobb 500 en Perú tuvo su inicio en la década de 1970 por la empresa avícola Granja San Fernando. En ese periodo, se destacó por su notorio avance tecnológico debido a su rápido crecimiento y alta productividad. A lo largo de los años, la crianza de estas aves en Perú ha experimentado un crecimiento constante. Para el año 2022, la producción total alcanzó 1,2 millones de toneladas, representando un aumento del 50% en comparación con 2010. Además, el consumo per cápita de pollo de engorde Cobb 500 ha experimentado un notable aumento, llegando a 30 kg en 2022, lo que indica un incremento del 25% en relación con los datos de 2010 <sup>22</sup>.

En Cusco, la crianza de pollos de engorde Cobb 500 ha mostrado un crecimiento significativo, representando el 10% de la población total de esta línea en Perú (10). Esta actividad se realiza en sistemas intensivos con granjas industriales modernizadas que implementan rigurosos controles sanitarios y proporcionan una alimentación balanceada <sup>23</sup>. Las instalaciones están equipadas con sistemas avanzados de ventilación, calefacción y refrigeración, garantizando un entorno óptimo para el desarrollo saludable de las aves; además, de la obtención de carne, la industria avícola en el país abarca actividades complementarias como la producción de huevos y la generación de subproductos avícolas <sup>24</sup>.

### 3.2.2 Etapas de desarrollo del pollo

Se divide en tres etapas fundamentales, cada una con desafíos y requisitos específicos para asegurar un crecimiento saludable y eficiente, estas son:

#### 3.2.2.1 Etapa de inicio

Abarca los primeros 14 días de vida, se presta atención especial a la temperatura, la gestión de la ventilación y la expansión gradual del espacio. Estos días son cruciales para el crecimiento de órganos vitales y desarrollo del sistema digestivo, inmunológico y sanguíneo <sup>25</sup>.

#### 3.2.2.2 Etapa de crecimiento

Que va del día 14 al 21, prepara al pollito para el consumo de alimentos destinados al engorde. Se centra en el desarrollo del esqueleto y la preparación para el crecimiento muscular, siendo crítica debido a cambios en la iluminación y formulación de la dieta.



### 3.2.2.3 Etapa de finalización

Abarca desde el día 21 hasta el beneficio, destaca por el elevado consumo de alimentos y un rápido incremento en el peso diario. Esta fase es crucial para el desarrollo de pollos de engorde con fines de producción <sup>14</sup>.

### 3.2.3 Requerimientos nutricionales

Los requerimientos nutricionales de los pollos de engorde Cobb 500, suelen variar según la etapa desarrollo, siendo necesario ajustar la dieta para optimizar el crecimiento y desarrollo. En la etapa de inicio (1-14 días), se requiere una dieta con 22-23% de proteína cruda y 3000 kcal/kg de energía metabolizable, junto con niveles precisos de aminoácidos esenciales para el desarrollo de órganos y tejidos; asimismo, el calcio debe mantenerse en 0.90% y el fósforo disponible en 0.45% para asegurar el desarrollo esquelético inicial <sup>26</sup>.

Durante la etapa de crecimiento (14-21 días), la proteína puede reducirse a 20-21%, mientras que la energía metabolizable se incrementa a 3100 kcal/kg; además, el requerimiento de calcio se ajusta a 0.84% y el fósforo disponible a 0.42%, siendo crítico este balance para soportar el rápido desarrollo muscular y óseo que caracteriza este periodo <sup>26</sup>.

En la etapa de finalización (21 días hasta beneficio), la proteína se reduce a 18-19%, manteniendo la energía metabolizable en 3200 kcal/kg; así también, los niveles de calcio y fósforo disponible se ajustan a 0.76 % y 0.38% respectivamente, para mantener la integridad ósea frente al incremento acelerado de peso corporal <sup>26</sup>.

### 3.2.4 Generalidades del calcio

El calcio es un macromineral bastante importante, cumpliendo un rol clave en diversos procesos de tipo biológico. Se encuentra clasificado como un metal alcalinotérreo en la tabla periódica, y su presencia en organismos vivos es vital para el mantenimiento y formación de estructuras celulares y tejidos. En el ámbito biológico, el calcio actúa como un mensajero intercelular, participando activamente en el equilibrio de procesos celulares, tales como la contracción de los músculos, la transmisión de impulsos nerviosos y la coagulación sanguínea <sup>26</sup>.

En el contexto de la avicultura, el calcio dentro del desarrollo saludable de los pollos es un componente fundamental. De esta forma, se hace importante considerar en la dieta de los pollos una cantidad adecuada de este nutriente, que es esencial para asegurar la formación adecuada de la estructura ósea, siendo ello indispensable en la



formación y fortalecimiento de los huesos y las plumas de las aves, influyendo en el crecimiento y la movilidad de las aves <sup>27</sup>.

Las aves, incluyendo los pollos, obtienen calcio principalmente a través de su alimentación. Muchas veces, se añade calcio a las dietas de los pollos en forma de suplementos o ingredientes específicos, especialmente durante etapas críticas como la producción de huevos, en la cual se necesitan niveles significativamente más altos de calcio en el desarrollo de cáscaras de huevo saludables y fuertes <sup>28</sup>.

### 3.2.5 Calcio total

El calcio total en pollos de engorde es la suma de todos los compuestos de calcio presentes en la dieta, incluyendo el calcio soluble, el calcio insoluble y el calcio quelatado. Este mineral es esencial para el desarrollo y óptimo crecimiento de los pollos de engorde, ya que es necesario para la formación de huesos y dientes, además de intervenir en el proceso de coagulación de la sangre, la contracción muscular y la transmisión de impulsos nerviosos <sup>29</sup>.

El calcio total en pollos de engorde se mide en gramos por kilogramo de dieta. Los niveles recomendados de calcio en estas aves varían según su peso corporal, el tipo de alimento y el nivel productivo. En general, los pollos de engorde en crecimiento requieren niveles de calcio entre el 1,20 y el 1,50% de la dieta <sup>30</sup>.

El calcio soluble es el tipo de calcio más biodisponible para los pollos de engorde. Se encuentra en alimentos como la harina de hueso, la concha de ostra y el suero de leche. El calcio insoluble es menos biodisponible que el calcio soluble y se encuentra en alimentos como el grano de maíz y el grano de soja. El calcio quelatado es una forma de calcio que está unida a un compuesto orgánico, lo que aumenta su biodisponibilidad <sup>30</sup>.

Es importante destacar que el equilibrio en la ingesta de calcio es esencial en la crianza de aves. Tanto la deficiencia como el exceso de calcio pueden dar lugar a problemas de salud en los pollos. Los trastornos óseos, como la osteoporosis aviar, pueden surgir debido a una deficiencia de calcio, mientras un exceso de este mineral puede ser causante de la deficiente absorción de otros nutrientes <sup>31</sup>.

### 3.2.6 Mineralización del tejido óseo

Se ha evidenciado que las aves poseen un esqueleto más ligero en contraste con el de los mamíferos, porque sus huesos contienen aire en lugar de médula ósea. Esta característica se conoce como neumatización, la cual implica que sus huesos



contienen extensiones del sistema respiratorio, como sacos aéreos, haciéndolos más ligeros que los huesos de mamíferos llenos de médula ósea. Las cavidades llenas de aire en algunos huesos se conectan a los pulmones, mejorando el intercambio gaseoso y contribuyendo a la agilidad y equilibrio durante el vuelo <sup>32</sup>.

Las propiedades de los huesos de tipo mecánica están adaptadas con su rol. De esta manera se observa que huesos largos, que soportan cargas y permiten el movimiento, son más rígidos que flexibles <sup>33</sup>.

Los minerales, que constituyen el 70% del peso del hueso, están compuestos principalmente por calcio y fósforo, que se combinan para formar hidroxiapatita. La materia orgánica, que constituye el 20% del peso del hueso, está compuesta principalmente por colágeno tipo I, que le da al hueso su estructura y resistencia. El agua, que constituye el 10% del peso del hueso, ayuda a mantener la elasticidad y la flexibilidad del hueso <sup>30</sup>.

Los huesos largos de los pollos de carne crecen a través de un proceso llamado osificación endocondral, que ocurre en las placas de crecimiento ubicadas en los extremos de los huesos. En estas placas, las células llamadas condrocitos se dividen, se diferencian y secretan una matriz de colágeno. Esta matriz se mineraliza, es decir, se deposita fosfato de calcio en ella. Luego, las células llamadas osteoblastos forman hueso nuevo a partir de la matriz mineralizada. El hueso viejo se reabsorbe constantemente por las células llamadas osteoclastos. A las 3 semanas de edad, los huesos de los pollos son significativamente más rígidos que los de 2 semanas de edad. Esto se debe a que tienen un bajo grosor y gran contenido de mineral <sup>34</sup>.

Se ha señalado que el desarrollo a nivel óseo de aves de engorde es todo un desafío, ya que sus huesos inmaduros deben soportar un peso cada vez mayor debido a la selección genética para aumentar la producción de carne. La nutrición es clave para el desarrollo óseo adecuado, ya que debe proporcionar un equilibrio de nutrientes, especialmente calcio.

### **3.2.7 Conceptos generales de morfología ósea**

Señalada como una rama específica de la morfometría que se centra en la medición y análisis cuantitativo de las estructuras óseas. Este campo es de particular importancia en disciplinas como la antropología física, la arqueología, la medicina y la biomecánica <sup>35</sup>.

Su base se fundamenta en realizar mediciones precisas de características anatómicas de los huesos, como longitudes, anchuras, alturas, ángulos y volúmenes. Estas



mediciones se utilizan para estudiar la variabilidad en la forma de los huesos entre individuos, poblaciones o especies <sup>26</sup>.

La información obtenida mediante este análisis puede tener implicaciones importantes en la comprensión de la evolución humana, la identificación forense, el estudio de poblaciones antiguas, la evaluación de la salud ósea y la biomecánica. En el ámbito médico, es fundamental para diagnosticar enfermedades óseas como la osteoporosis y evaluar el crecimiento en pediatría. En investigación antropológica y paleontológica, contribuye al estudio de la evolución humana y la identificación de especies <sup>26</sup>.

### **3.2.8 Morfometría ósea en la industria avícola**

En pollos de engorde, la morfometría ósea desempeña un papel clave en la industria avícola. Al medir y analizar las dimensiones y formas de los huesos, se logra mejorar la calidad ósea de las aves destinadas a la producción de carne. Esto es esencial para garantizar su bienestar y eficiencia de producción <sup>5</sup>.

La morfometría ósea guía prácticas de manejo, nutrición y selección genética, contribuyendo a obtener aves más robustas y rentables. Además, su aplicación ayuda a prevenir problemas de salud ósea, promoviendo estándares éticos y el bienestar animal en la producción avícola <sup>36</sup>.

Para la evaluación morfométrica en esta investigación, se establecieron los siguientes puntos de medición por estructura ósea: En el caso del fémur, la longitud total se midió desde la cabeza femoral hasta el cóndilo lateral, mientras que los anchos proximal y distal se evaluaron en el trocánter mayor y los cóndilos femorales respectivamente, con el diámetro medial tomado en el punto medio de la diáfisis; asimismo, para la tibia, la longitud total se determinó desde la meseta tibial hasta el maléolo medial, con mediciones de ancho en los cóndilos tibiales (proximal) y la región maleolar (distal), además del diámetro medial en el punto medio del hueso.

El metatarso fue medido en su longitud total entre las superficies articulares proximal y distal, con anchos tomados en la articulación tibiotarsal y las trócleas metatarsales, y el diámetro medial en la mitad de la diáfisis. En cuanto al húmero, se midió desde la cabeza humeral hasta el cóndilo distal para la longitud total, con anchos evaluados a nivel de la cabeza humeral y los cóndilos distales, y el diámetro medial en el centro de la diáfisis.

El radio y cúbito se midieron entre sus superficies articulares para la longitud total, con anchos en las articulaciones proximal y distal, y el diámetro medial en el punto



medio. Para el metacarpo, la longitud se tomó de proximal a distal, con anchos en la región carpometacarpal y distal, más el diámetro medial en el punto medio. Finalmente, en la quilla o esternón se midió la longitud total desde el manubrio hasta el proceso xifoideo, el ancho máximo en su región más amplia, la altura desde la base hasta el punto más alto y la profundidad en el punto medio.

Así también, la presente investigación tomó en cuenta el cálculo del peso óseo, el cual consideró el peso del hueso (mg), medido en una balanza analítica. Así también, se consideró la densidad ósea, entendida como la masa de material orgánico e inorgánico en el hueso por unidad de volumen de este. De esta manera, se dividió el peso del hueso (mg) entre el volumen (cm<sup>3</sup>), el cual se determinó mediante el método de inmersión en agua. Por otra parte, dentro de la morfometría ósea se calcularon las dimensiones lineales, determinando así el largo (mm) y ancho (mm) de los huesos por medio de un vernier o micrómetro digital. Además, se consideró el índice de forma (Longitud del hueso / Circunferencia del hueso), el cual proporcionó información sobre la forma general del hueso.

Por otro lado, se analizó la estructura ósea, la cual estuvo bajo influencia de la genética, el rápido crecimiento, la nutrición y enfermedades infecciosas, repercutiendo tanto a nivel económico, como en la salud de las aves, dado que se originaron afectaciones que generan un dolor agudo, afectando notablemente su bienestar. En base a ello, se consideran como indicadores la capacidad para caminar y las lesiones de la cabeza femoral <sup>19</sup>.

### 3.3 Marco conceptual

- a) **Avicultura.** Es aquella actividad enfocada en la cría y mejora de aves de consumo humano con el propósito de obtener productos <sup>39</sup>.
- b) **Pollo de engorde Cobb 500.** Los pollos de engorde Cobb 500 son una raza de pollos de crecimiento rápido, desarrollada por la empresa Aviagen. Son una de las razas más populares de pollos de engorde en el mundo, están caracterizados por crecimiento acelerado, su eficiente conversión de alimento y su excelente calidad de carne <sup>40</sup>.
- c) **Interacciones del metabolismo del calcio.** El calcio es un mineral esencial para los pollos de engorde, cuya absorción y utilización dependen de su relación con el fósforo. Los pollos pueden adaptarse a diferentes niveles de calcio y fósforo en su dieta, siempre y cuando se mantenga una proporción adecuada entre ambos <sup>29</sup>.



- d) **Morfometría.** Disciplina que se ocupa de la medición y análisis cuantitativo de la morfología y estructura en diversos organismos. Puede incluir mediciones lineales, angulares, de área, volumétricas, entre otros. Es utilizada para cuantificar las diferencias en la forma y tamaño de estructuras anatómicas entre individuos, poblaciones o especies

35.



## CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

### 4.1 Tipo y nivel de investigación

Este estudio empleó un paradigma cuantitativo misma que posibilitó la medición de las variables de investigación con el fin de recopilar datos que resultaron útiles para validar la hipótesis planteada; la cual al ser de tipo aplicada, buscó resolver un problema práctico específico: la determinación de niveles óptimos de calcio total para pollos de engorde Cobb 500 criados en condiciones de elevada altitud, aplicando conocimientos previos sobre nutrición y morfometría ósea para resolver un problema concreto en la producción avícola, generando resultados con aplicación directa en la formulación de dietas y recomendaciones prácticas <sup>41</sup>.

En este sentido, el nivel de investigación utilizado fue explicativo, porque busca determinar y explicar la influencia de diferentes niveles de calcio total (variable independiente) sobre la morfometría ósea (variable dependiente) en pollos de engorde Cobb 500 criados a elevada altitud, analizando cómo y por qué los distintos niveles de este mineral afectan el desarrollo y las características óseas de las aves, estableciendo así relaciones causales entre las variables estudiadas y proporcionando una comprensión más profunda del fenómeno y sus implicaciones en la producción avícola <sup>42</sup>.

### 4.2 Diseño de la investigación

Concerniente al diseño, se adoptó un estudio experimental, el cual, según la perspectiva de Hernández y Mendoza <sup>42</sup>, se distingue por manipular de forma intencional la variable independiente a evaluar por parte del investigador con el propósito de analizar su impacto en otras variables dependientes. De esta forma, este estudio, manipuló deliberadamente los niveles de calcio y posteriormente evaluó el efecto que tienen estos diferentes niveles de calcio total sobre la morfometría ósea. Mediante la cual se recopilaron datos de manera cuantitativa, utilizando medidas numéricas para analizar estadísticamente este efecto.

A continuación, se brinda una explicación detallada de los procedimientos contemplados para la realización de la investigación.



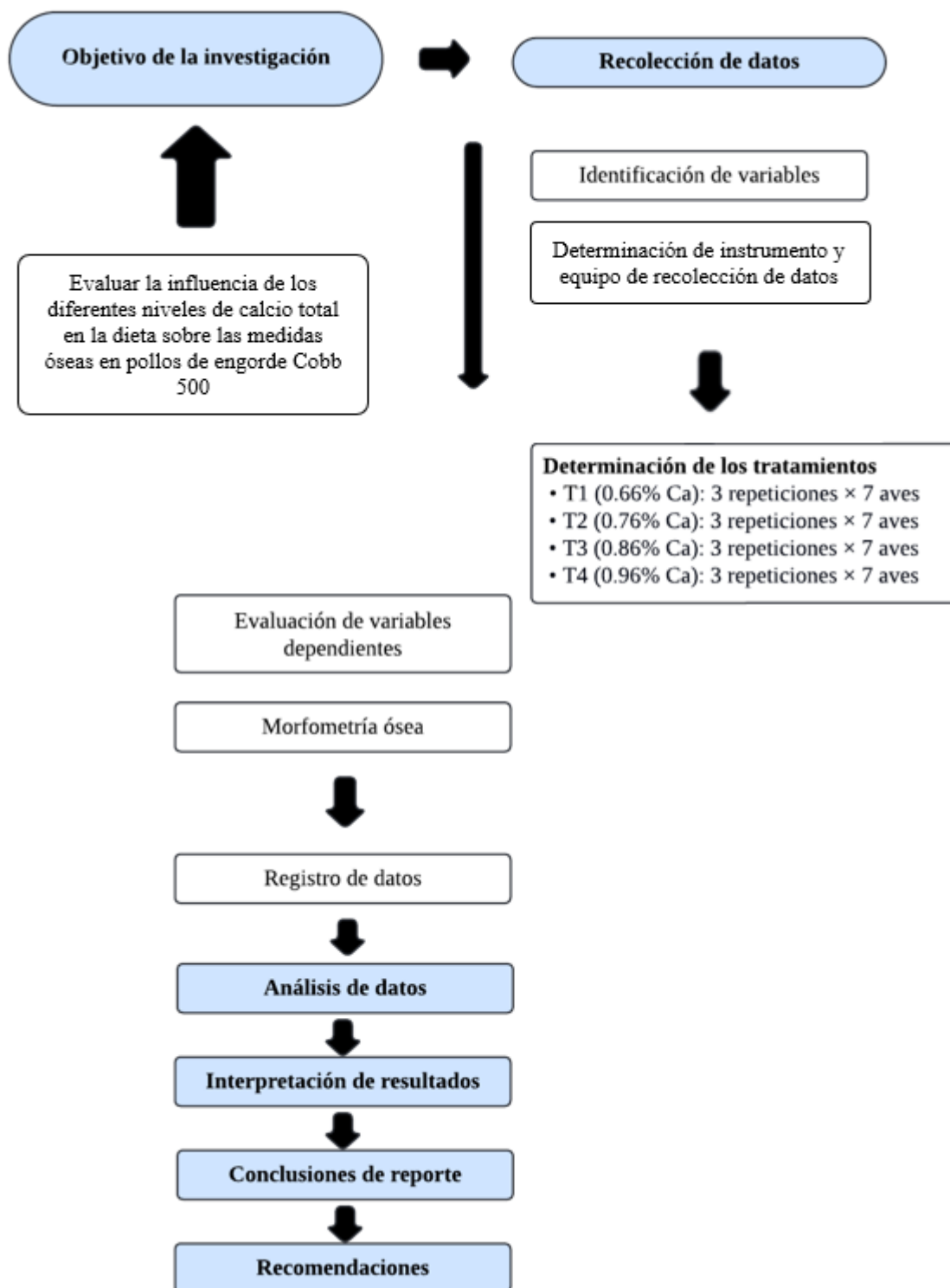


Fig. 1. Diseño de investigación

### 4.3 Descripción ética de la investigación

Durante todo el estudio, se priorizó el bienestar de las aves utilizadas, donde para el control del espacio se mantuvo una densidad de 7 aves por corral, garantizando un área mínima de 0.08 m<sup>2</sup> por ave, lo que permitió su libre movimiento y acceso a comederos, mientras que para la regulación térmica se instalaron calefactores eléctricos en el galpón y se monitoreó



la temperatura ambiente tres veces al día (mañana, tarde y noche), manteniéndola entre 18-22°C para asegurar el confort de las aves. De esta forma, se aseguró su cuidado ético cumpliendo con las normativas específicas para el uso de animales. En primer lugar, respetando los principios éticos de las "3Rs" para reducir la cantidad de animales utilizados y mejorar las condiciones experimentales. Finalmente, se llevó a cabo el beneficio de manera ética y humanitaria al final del estudio, asegurando rapidez y mínimo sufrimiento (45).

#### 4.4 Población y muestra

La población fue la totalidad de pollos de engorde de la línea Cobb 500 que se encontraban en el galpón del Fundo Rinconada ( $n = 5000$ ) debido a que eran los más accesibles y disponibles, localizado en el distrito de Andahuaylillas, situado en la provincia de Quispicanchi, que estuvieron criados dentro de un sistema de producción semi-intensiva y que eran alimentados principalmente con alimento comercial.

El muestreo que se empleó en la indagación es el por conveniencia, ya que en diversos casos es un tanto complicado elegir aleatoriamente a los animales, esencialmente tomando en cuenta el total considerado de pollos ( $n = 5000$ ). Cabe mencionar que, al elegir este método, el indagador tenía conocimiento de que podría haber un pequeño sesgo, debido a que no todos los pollos considerados poseen la misma oportunidad de ser seleccionados. No obstante, el muestreo por conveniencia contribuyó a lograr data valiosa para el análisis. La muestra estuvo compuesta por los 84 pollos de engorde de la línea Cobb 500 en el galpón del Fundo Rinconada; asimismo, se aplicó un muestreo por conveniencia, donde el investigador eligió la muestra centrándose en la disponibilidad y facilidad de acceso, donde la elección de la muestra se dio de acuerdo a los criterios seleccionados; debido a que la muestra es pequeña, se tuvo más facilidad de manejo y evaluación. Dentro de los cuales los criterios seleccionados de los pollos fueron:

##### Criterios de inclusión

- Pollos de la línea Cobb 500
- Peso corporal homogéneo
- Aves en buen estado de salud
- Comportamiento activo y alerta
- Plumaje en buenas condiciones
- Tarsos y dedos sin deformaciones

##### Criterios de exclusión

- Aves con signos de enfermedad respiratoria o digestiva



- Pollos con malformaciones físicas visibles
- Peso corporal fuera del rango establecido
- Presencia de deshidratación
- Signos de letargia o depresión
- Problemas de locomoción
- Aves con lesiones o heridas
- Defectos en el plumaje o la piel

Este tamaño muestral permitió trabajar con cuatro tratamientos (21 aves por tratamiento), cada uno con tres repeticiones (7 aves por repetición), distribución que permitió evaluar el efecto de los diferentes niveles de calcio total sobre la morfometría ósea en pollos de engorde criados a elevada altitud.

## 4.5 Procedimiento

### 4.5.1 Formulación de las dietas

Las dietas fueron establecidas siguiendo las recomendaciones de las Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos (46) teniendo en cuenta la edad (días) y nivel productivo (pollos de engorde de rendimiento superior). Se formularon 4 dietas modificando los niveles de calcio total, utilizando para el T1 (0.66%) de calcio total, T2 (0.76%) de calcio total, T3 (0.86%) de calcio total y T4 (0.96%) de calcio total manteniendo igual las cantidades y concentraciones de los demás nutrientes: energía metabolizable (Kcal/kg), proteína cruda (3150 %), fósforo disponible (0.374%), sodio (0.208%), cloro (0.1.83%), potasio (0.761%), lisina (1.124%), metionina (0.524%), metionina +cisteína (0.832%), treonina (0.764%), triptófano (0.229%), arginina (1.238%), glicina+serina (1.754%), valina (0.882%), isoleucina (0.799%), leucina (1.596%), histidina (0.499%), fenilalanina (0.925%) y fenilalanina+tirosina (1.584%).

### 4.5.2 Descripción de materiales y equipos

Este estudio experimental se llevó a cabo en un galpón para aves de engorde, en el cual se realizaron las adecuaciones necesarias para establecer los tratamientos y mantener la aleatoriedad de la investigación, sin favorecer por alguna razón a un tratamiento.

Además, se aseguraron las condiciones sanitarias adecuadas, de esta manera cuando se dispuso del galpón, se realizó la limpieza y desinfección; asimismo, se verificaron



las dimensiones del galpón con la finalidad de dividir el galpón en áreas iguales para cada grupo experimental. Además, el suministro de agua y alimento fue de manera Ad-libitum. Se implementaron comederos y bebederos en cada repetición. Para controlar las bajas temperaturas, se instalaron calefactores eléctricos en el galpón.

Para el correcto desarrollo del experimento, fue necesario adquirir diversos recursos materiales, los cuales se especifican a continuación, según su naturaleza:

#### Material biológico

- Pollos de engorde Cobb 500

#### Material de laboratorio

- Balanza digital (Marca OHAUS, modelo NV621, capacidad máxima 620 g, pantalla LCD retro-iluminada, función tara, botón de cero, alimentada por baterías tipo C o adaptador de corriente).
- Vernier digital (Marca genérica, modelo digital, rango de medición 0.01 mm a 150 mm, fabricado en acero, con pantalla digital).
- Probeta
- Termómetro

#### Material de escritorio /Otros

- Laptop
- Cuaderno de apuntes
- Fichas de observación
- Lapiceros/lápices/marcadores
- Etiquetas adhesivas
- Depósitos de plástico
- Cámara fotográfica
- Papel toalla

#### Material para la adecuación del galpón

- Malla metálica
- Maderas
- Martillo y clavos
- Cajas de madera
- Barreta, pico y pala
- Desinfectante y cal viva
- Comedero tipo tolva
- Bebedero tipo tolva
- Focos infrarrojos



### 4.5.3 Determinación de grupos experimentales

Se establecieron cuatro grupos experimentales, cada tratamiento específico era un nivel de calcio total. El Tratamiento 1 recibió una dieta con un nivel de calcio total del 0.66 %, representando el nivel más bajo a evaluar. El Tratamiento 2, designado como grupo de control, consistió en una dieta con un nivel estándar de calcio total del 0.76 %, sirviendo como referencia para comparaciones. El Tratamiento 3 consistió en una dieta con un nivel de calcio total del 0.86 %, representando un incremento moderado en contraste al tratamiento control. Por último, el Tratamiento 4 consistió en una dieta con el nivel más alto de calcio total evaluado, establecido en un 0.96 %.

La asignación aleatoria de pollos (unidad experimental) a estos grupos se realizó mediante la numeración de los 84 pollos seleccionados (que cumplían con los criterios de inclusión) con etiquetas del 1 al 84. Luego, utilizando la función de números aleatorios de Excel (=ALEATORIO), se generó una secuencia aleatoria para asignar los primeros 21 números al T1 (0.66 % Ca), los siguientes 21 números al T2 (0.76 % Ca), luego 21 números al T3 (0.86 % Ca) y los últimos 21 números al T4 (0.96 % Ca). Posteriormente, dentro de cada tratamiento, se volvió a usar la función aleatoria para distribuir los 21 pollos en las tres repeticiones (7 aves por repetición); de esta forma, se garantizó que cualquier variabilidad en los resultados pueda asociarse a la diferencia en los niveles de calcio y no a factores externos. Este diseño experimental facilitó la evaluación precisa de estas variables sobre la morfometría ósea de los pollos de engorde Cobb 500. Cabe resaltar que estas aves tuvieron un periodo de adaptación de 7 días para que asimilen el nuevo alimento.

**Tabla 2**

Tratamientos del experimento

Tratamiento	Nivel de calcio total
T1	0.66 %
T2 (Control)	0.76 %
T3	0.86 %
T4	0.96 %

Asimismo, cada uno de los cuatro grupos experimentales estuvo compuesto por tres repeticiones, teniendo un total de 12 grupos de estudio. De esta forma, la muestra de



84 pollos de engorde Cobb 500 fueron distribuidas de manera equitativa y aleatoria entre los 12 grupos con distintos niveles de calcio, lo cual facilitó el manejo y control del entorno experimental.

Tabla 3

Distribución de repeticiones experimentales según niveles de calcio total

Repeticiones	Tratamientos				Total
	0.66 %	0.76 %	0.86 %	0.96 %	
R1	7	7	7	7	28
R2	7	7	7	7	28
R3	7	7	7	7	28
Total	21	21	21	21	84

#### 4.5.4 Administración de las dietas

Para el proceso de administración de las dietas, se optó por un procedimiento diario de alimentación y recojo de residuos. Para esto se estableció un cronograma de alimentación consistente, se pesó y midió con precisión la cantidad de alimento necesario para cada grupo. Además, la supervisión diaria del consumo de alimento permitió ajustar la cantidad según las necesidades de cada grupo experimental, asegurando un acceso adecuado de las aves a cada tratamiento, de esta forma se mantuvo un registro detallado, donde además se anotaron observaciones relevantes sobre el comportamiento de la alimentación.

#### 4.5.5 Estimación de las variables a evaluar

En cuanto a la morfometría ósea, se llevaron a cabo mediciones específicas que permitieron evaluar el desarrollo óseo de los pollos, en base a esto se realizaron evaluaciones detalladas para los huesos del fémur, tibia y tarso.

- **Peso óseo:** Para esto se utilizó una balanza analítica para obtener mediciones precisas del peso óseo.
- **Dimensiones lineales:** Las dimensiones longitudinales y transversales (largo y ancho) de los huesos seleccionados se midieron con un vernier o micrómetro digital. Estas mediciones proporcionaron datos detallados sobre las características dimensionales de los huesos seleccionados.



#### 4.5.6 Procedimiento para la obtención de medidas morfométricas

El proceso de obtención de datos morfométricos comenzó con la selección y beneficiado de las aves al término del período experimental de 42 días. El sacrificio se realizó mediante dislocación cervical. Posteriormente, se realizó una disección cuidadosa y sistemática para extraer las estructuras óseas objeto de estudio: fémur, tibia, metatarso, húmero, radio, cúbito, metacarpo y quilla. La extracción se realizó utilizando instrumental quirúrgico estéril (bisturí, pinzas y tijeras quirúrgicas) para evitar daños en las estructuras óseas. Los huesos extraídos fueron sometidos a un proceso de limpieza meticuloso colocados en bolsas de malla cada uno en agua hirviendo por 10 min y eliminar todo el tejido blando adherente, incluyendo músculos, tendones y ligamentos. Este proceso fue seguido por un período de secado a temperatura ambiente (18-22°C) durante 24 horas, colocando los huesos sobre papel absorbente y rotándolos periódicamente para asegurar un secado uniforme.

Para la determinación del peso óseo, cada estructura fue identificada con etiquetas numeradas y pesada individualmente utilizando una balanza analítica digital marca OHAUS (modelo NV621, capacidad máxima 620 g, precisión 0.1 g), realizando tres pesajes por muestra para obtener un promedio y registrando los resultados en gramos. Las mediciones dimensionales se realizaron empleando un vernier digital con rango de medición de 0.01 mm a 150 mm, previamente calibrado con un patrón de referencia. Se establecieron puntos específicos de medición: para el largo se tomó la distancia entre las superficies articulares proximal y distal, el ancho se determinó en los puntos más amplios de las epífisis proximal y distal, y el medial se midió en el punto medio de la diáfisis, marcado previamente con un lápiz dermatográfico. Cada medición se realizó por triplicado para asegurar la precisión, y todas las mediciones fueron documentadas inmediatamente en milímetros en fichas de observación estandarizadas, diseñadas específicamente para el estudio, incluyendo campos para el código de identificación del ave, el tratamiento, la repetición y las diferentes medidas tomadas.

#### 4.6 Técnica e instrumentos

En la recopilación de datos de este estudio, se empleó la técnica de observación directa, esta metodología implica el registro sistemático del fenómeno u objeto de estudio en su entorno, sin la participación activa del observador en el estudio <sup>39</sup>. En base a esto, se consideró como instrumento para medir, analizar y evaluar los objetivos establecidos, el



uso de la ficha de observación diseñada específicamente para registrar datos sobre la morfometría ósea.

#### 4.7 Análisis estadístico

Se empleó un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) distribuido en cuatro tratamientos con tres repeticiones por tratamiento, a través del cual se estableció el modelo aditivo lineal mediante la siguiente fórmula:

$$Y_{ij} = U + T_i + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta

$U$  = Media general

$T_i$  =  $i$ -ésimo tratamiento ( $i = 1, 2, 3, 4$ )

$E_{ij}$  = Error experimental

Se analizaron los supuestos de normalidad (Prueba de Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (Prueba de Levene) para elegir estadística paramétrica o no paramétrica. Debido a que se cumplieron los supuestos (normalidad y homocedasticidad) se optó por utilizar estadística paramétrica. Se utilizó la prueba ANOVA (Análisis de varianza) para comparar las medias de los tratamientos. De evidenciarse diferencias significativas (Prueba de F de Fisher), se realizó la prueba de Tukey, la cual permitió identificar específicamente qué grupo experimental presentó diferencias. Todas las variables se analizaron mediante la regresión lineal simple y cuadrática para describir la relación entre la respuesta y los términos en modelo ( $y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k$ ). Todos los procedimientos estadísticos se realizaron haciendo uso del programa estadístico RStudio (R Core Team, 2022).



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1 Análisis de resultados

##### 5.1.1 Peso óseo

Se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el peso de fémur, tibia, metatarso, húmero y radio-cúbito (estos últimos se analizan como una unidad debido a que están anatómicamente fusionados en las aves) entre los diferentes tratamientos de calcio, siendo el tratamiento 2 (grupo control, 0.76 % de calcio total) el que presentó los mayores valores para estos huesos. Esta diferencia en el peso óseo se relaciona con la respuesta a los niveles crecientes de calcio, donde el peso de fémur, metatarso y radio - cúbito mostraron respuestas lineales. Por su parte, el peso de fémur, tibia y metatarso presentaron una respuesta cuadrática altamente significativa ( $P < 0.01$ ), mientras que el peso de húmero y radio - cúbito solo mostraron respuestas cuadráticas significativas ( $P < 0.05$ ). En contraste, el peso de metacarpo y quilla no se vio afectado por los diferentes tratamientos y tampoco se observaron respuestas lineales o cuadráticas a los niveles de calcio. Estos resultados sugieren que un nivel moderado de calcio total, como el suministrado en la dieta control (T2), favorece un mayor desarrollo óseo, particularmente en aquellos huesos con mayor participación en la locomoción y soporte del peso corporal, como el fémur, la tibia y el metatarso. Por otra parte, el T1 con bajo nivel de calcio (0.66%) y T4 con el nivel más alto (0.96%) presentaron menores pesos óseos, indicando que niveles deficientes y excesivos de calcio pueden generar desequilibrios en la homeostasis de calcio, afectando negativamente la mineralización ósea y el desarrollo esquelético adecuado. No se encontraron diferencias significativas en el peso del metacarpo y la quilla entre tratamientos, debido a que el metabolismo óseo en estas estructuras es menos crítico para la locomoción y soporte de peso y no se ve influenciado por las variaciones en los niveles de calcio total evaluados. Sin embargo, el mayor peso se obtuvo con el tratamiento 2, siendo consecuente con lo encontrado en los pesos de fémur, tibia y metatarso.

En el error estándar se observa que varían entre 0.0333 y 0.0832, con valor superior en el peso de la tibia y con un valor menor en el metacarpo. Concerniente a la



respuesta lineal, se muestra diferencia significativa en el metatarso ( $p=0.0373$ ) y el peso del fémur (0.0403); sin embargo, en el resto de los huesos no presentan significancia. En cuanto a la respuesta cuadrática, se evidencia que la tibia, húmero, metacarpo, peso del fémur y radio-cúbito muestran valores de  $p$  significativos ( $p<0.05$ ), enfatizando que el nivel de calcio afecta de un modo no lineal estos parámetros óseos.

**Tabla 4**

Efecto del nivel de calcio total en el peso óseo de pollos de engorde criados en

Variable (g)	Tratamientos (porcentaje de calcio total)				Error Estándar	Respuesta	Respuesta
	0.66	0.76	0.86	0.96		Lineal (P-value)	Cuadrática (P-value)
Peso de fémur	2.9173 <sup>ab</sup>	3.2352 <sup>a</sup>	2.9467 <sup>ab</sup>	2.6670 <sup>b</sup>	0.0569	0.0403*	0.0065**
Peso de tibia	3.9202 <sup>b</sup>	4.5493 <sup>a</sup>	4.0917 <sup>ab</sup>	3.6731 <sup>b</sup>	0.0832	0.1077 <sup>ns</sup>	0.0011**
Peso de metatarso	2.3654 <sup>b</sup>	2.7461 <sup>a</sup>	2.4200 <sup>ab</sup>	2.1582 <sup>b</sup>	0.0511	0.0373*	0.0010***
Peso de húmero	2.5626 <sup>ab</sup>	2.7299 <sup>a</sup>	2.6068 <sup>ab</sup>	2.3370 <sup>b</sup>	0.0508	0.0794 <sup>ns</sup>	0.0287*
Peso de radio-cúbito	1.8907 <sup>ab</sup>	2.0482 <sup>a</sup>	1.8540 <sup>ab</sup>	1.7001 <sup>b</sup>	0.0333	0.0117*	0.0242*
Peso de metacarpo	0.5885 <sup>a</sup>	0.6209 <sup>a</sup>	0.5799 <sup>a</sup>	0.5386 <sup>a</sup>	0.0127	0.0943 <sup>ns</sup>	0.1440 <sup>ns</sup>
Peso de quilla	2.3279 <sup>a</sup>	2.6291 <sup>a</sup>	2.2902 <sup>a</sup>	2.1646 <sup>a</sup>	0.0708	0.1950 <sup>ns</sup>	0.1300 <sup>ns</sup>

**CT: Calcio total, g: gramo, ns: No significativo**

<sup>a-b</sup> Valores con diferentes letras indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ );

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ ; \*\*\*  $P < 0.001$

### 5.1.2 Dimensiones óseas

Se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre niveles de calcio total para largo de fémur, metatarso, húmero, radio, cúbito y metacarpo. Siendo el tratamiento 2 (control) que presentó el mayor largo óseo. No se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos para largo de tibia y quilla. El largo de tibia, radio y cubito presentaron respuesta lineal ( $P < 0.01$ ), señalando que según se incrementaban los niveles de calcio se reducía el largo óseo. Por otra parte, el largo de metacarpo evidenció una relación cuadrática ( $P < 0.01$ ) entre los niveles de calcio total, siendo el T2 el punto de inflexión (mayor largo de metacarpo). No se reportaron diferencias significativas para el ancho de ninguna de los huesos evaluados en el presente experimento, indicando que los niveles de calcio total no tienen efecto sobre el ancho óseo.



**Tabla 5**

Efecto del nivel de calcio total en las dimensiones óseas en pollos de engorde criados en altura

Dimensión (mm)	Tratamientos (porcentaje de calcio total)				Error Estándar	Respuesta	Respuesta
	0.66	0.76	0.86	0.96		Lineal (P-value)	Cuadrática (P-value)
Largo de fémur	61.783 <sup>ab</sup>	64.270 <sup>a</sup>	60.700 <sup>b</sup>	60.080 <sup>b</sup>	0.4832	0.043 <sup>**</sup>	0.100 <sup>ns</sup>
Largo de tibia	78.850 <sup>a</sup>	84.434 <sup>a</sup>	80.481 <sup>a</sup>	79.360 <sup>a</sup>	0.9490	0.777 <sup>ns</sup>	0.079 <sup>ns</sup>
Largo de metatarso	54.201 <sup>b</sup>	58.876 <sup>a</sup>	54.561 <sup>ab</sup>	53.056 <sup>b</sup>	0.6211	0.164 <sup>ns</sup>	0.0114 <sup>*</sup>
Largo de húmero	57.980 <sup>b</sup>	56.338 <sup>a</sup>	57.526 <sup>a</sup>	57.544 <sup>a</sup>	0.6438	0.983 <sup>ns</sup>	0.526 <sup>ns</sup>
Largo de radio	56.977 <sup>a</sup>	58.412 <sup>a</sup>	54.813 <sup>b</sup>	54.473 <sup>b</sup>	0.4262	0.003 <sup>**</sup>	0.276 <sup>ns</sup>
Largo de cúbito	54.585 <sup>ab</sup>	56.346 <sup>a</sup>	52.861 <sup>b</sup>	52.671 <sup>b</sup>	0.3684	0.004 <sup>**</sup>	0.167 <sup>ns</sup>
Largo de metacarpo	31.873 <sup>b</sup>	34.599 <sup>a</sup>	32.216 <sup>b</sup>	31.516 <sup>b</sup>	0.3187	0.228 <sup>ns</sup>	0.006 <sup>**</sup>
Largo de quilla	41.298 <sup>a</sup>	39.664 <sup>a</sup>	39.514 <sup>a</sup>	39.777 <sup>a</sup>	0.8449	0.540 <sup>ns</sup>	0.584 <sup>ns</sup>
Ancho de fémur	7.413 <sup>a</sup>	7.760 <sup>a</sup>	7.549 <sup>a</sup>	7.169 <sup>a</sup>	0.0952	0.298 <sup>ns</sup>	0.0767 <sup>ns</sup>
Ancho de tibia	6.259 <sup>a</sup>	6.600 <sup>a</sup>	6.857 <sup>a</sup>	6.219 <sup>a</sup>	0.0943	0.874 <sup>ns</sup>	0.009 <sup>**</sup>
Ancho de metatarso	6.242 <sup>a</sup>	6.767 <sup>a</sup>	6.606 <sup>a</sup>	6.279 <sup>a</sup>	0.2056	0.979 <sup>ns</sup>	0.306 <sup>ns</sup>
Ancho de húmero	6.482 <sup>a</sup>	6.714 <sup>a</sup>	6.484 <sup>a</sup>	6.226 <sup>a</sup>	0.0781	0.154 <sup>ns</sup>	0.114 <sup>ns</sup>
Ancho de radio	5.021 <sup>a</sup>	5.150 <sup>a</sup>	5.132 <sup>a</sup>	4.823 <sup>a</sup>	0.0816	0.405 <sup>ns</sup>	0.183 <sup>ns</sup>
Ancho de cúbito	2.804 <sup>a</sup>	2.954 <sup>a</sup>	2.730 <sup>a</sup>	2.746 <sup>a</sup>	0.0344	0.201 <sup>ns</sup>	0.333 <sup>ns</sup>
Ancho de metacarpo	3.748 <sup>a</sup>	4.105 <sup>a</sup>	3.938 <sup>a</sup>	3.863 <sup>a</sup>	0.0636	0.757 <sup>ns</sup>	0.091 <sup>ns</sup>
Ancho de quilla	25.585 <sup>a</sup>	26.627 <sup>a</sup>	25.669 <sup>a</sup>	25.316 <sup>a</sup>	0.2633	0.461 <sup>ns</sup>	0.192 <sup>ns</sup>
Medial de fémur	9.368 <sup>a</sup>	10.716 <sup>a</sup>	11.044 <sup>a</sup>	11.014 <sup>a</sup>	0.1584	0.000 <sup>***</sup>	0.016 <sup>*</sup>
Medial de tibia	10.028 <sup>b</sup>	11.124 <sup>ab</sup>	11.547 <sup>a</sup>	11.792 <sup>a</sup>	0.1873	0.000 <sup>***</sup>	0.224 <sup>ns</sup>
Medial de metatarso	8.287 <sup>b</sup>	11.291 <sup>a</sup>	11.376 <sup>a</sup>	10.723 <sup>a</sup>	0.2377	0.000 <sup>***</sup>	0.000 <sup>***</sup>
Medial de húmero	9.562 <sup>a</sup>	9.868 <sup>a</sup>	10.203 <sup>a</sup>	10.155 <sup>a</sup>	0.1743	0.177 <sup>ns</sup>	0.612 <sup>ns</sup>
Medial de radio	6.586 <sup>a</sup>	7.335 <sup>a</sup>	7.439 <sup>a</sup>	7.329 <sup>a</sup>	0.0998	0.008 <sup>**</sup>	0.024 <sup>*</sup>
Medial de cúbito	4.311 <sup>b</sup>	4.877 <sup>ab</sup>	5.001 <sup>a</sup>	4.883 <sup>a</sup>	0.0785	0.008 <sup>**</sup>	0.023 <sup>*</sup>
Medial de metacarpo	4.352 <sup>b</sup>	5.728 <sup>a</sup>	5.410 <sup>a</sup>	5.469 <sup>a</sup>	0.1055	0.000 <sup>***</sup>	0.001 <sup>***</sup>
Medial de quilla	23.318 <sup>a</sup>	25.821 <sup>a</sup>	23.755 <sup>a</sup>	23.356 <sup>a</sup>	0.4062	0.598 <sup>ns</sup>	0.076 <sup>ns</sup>

**CT: Calcio total, mm: milímetro, ns: No significativo**

<sup>a-b</sup> Valores con diferentes letras indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ );

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ ; \*\*\*  $P < 0.001$ .

Además, los resultados señalan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos para tibia, metatarso, cúbito y metacarpo; observándose que el medial de estos huesos fue mayor con los tratamientos que tienen los niveles de calcio total más elevados (T3 y T4). El medial de fémur, húmero, radio y quilla no mostraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos. Se encontraron respuestas lineales ( $P < 0.01$ ) para medial de fémur, tibia, metatarso, radio, cúbito y metacarpo;



señalando que a mayor nivel de calcio total la longitud medial se incrementa. Asimismo, existe una respuesta cuadrática ( $P < 0.01$ ) entre tratamientos para medial de metatarso y metacarpo, indicando que no existe evidencia que al aumentar el nivel de calcio incrementará la longitud medial en todos los tratamientos. De los resultados obtenidos se puede reportar que niveles de calcio total por debajo del requerimiento nutricional (0.769% Calcio total) afecta negativamente las dimensiones mediales óseas que se traduciría en huesos con mayor propensión a fracturarse, siendo un aspecto negativo debido a que los pollos de engorde incrementan rápidamente y pueden presentar problemas de locomoción en la fase acabado (mayor a 28 días de edad), incluso en aves criados en altura.

El error estándar exhibe la variabilidad entre 0.0998 y 0.9490, considerando los más altos en las longitudes de la tibia y metatarso; de tal manera, los más bajos en el ancho y las medidas mediales de los huesos. Concerniente a la respuesta lineal, están las diferencias significativas en el cúbito ( $p=0.004$ ) y el largo del fémur ( $p=0.043$ ), además de las medidas mediales del cúbito y metacarpo ( $p=0.000$ ), lo que muestra que el calcio posee un impacto directo en estos huesos. En cuanto a la respuesta cuadrática que evidencia relaciones difíciles, existe significancia en diversas medidas, esencialmente en el largo de la tibia, cúbito y metatarso, en el ancho y medial de otros huesos, proponiendo que la relación del desarrollo óseo y el calcio no es lineal; esto quiere decir que cambia de una forma distinta de acuerdo al nivel del calcio.

## 5.2 Discusión

En cuanto al peso óseo, el presente estudio confirma la importancia del macromineral calcio en el desarrollo óseo de pollos de engorde Cobb 500 criados a elevada altitud. Se encontró que seguir los requerimientos nutricionales de calcio total (0.76 %) favoreció significativamente ( $P < 0.05$ ) un mayor peso en huesos claves para la locomoción, alcanzando valores de 3.2352 g en fémur, 4.5493 g en tibia y 2.7461 g en metatarso.

Asimismo, respecto a las dimensiones óseas, se observaron efectos variables según el parámetro evaluado: mientras el largo de algunos huesos como fémur (64.270 mm) y metatarso (58.876 mm) mostró una respuesta significativa al nivel de calcio de 0.76 %, el ancho óseo no presentó diferencias significativas entre tratamientos; las medidas mediales, por su parte, respondieron positivamente a niveles más altos de calcio (0.86 % y 0.96 %), particularmente en tibia, metatarso y metacarpo.



Estos resultados se alinean con investigaciones previas que reportaron efectos negativos en la densidad mineral ósea y la histomorfología del hueso en aves con dietas bajas en calcio (en relación al requerimiento nutricional) <sup>15</sup>. En contraste, estudios como los de Xing et al <sup>16</sup> y Alves et al <sup>21</sup>, demostraron que niveles moderados a altos de calcio mejoraron el rendimiento muscular, la composición corporal y la mineralización ósea en pollos de engorde. Mientras que Bai et al <sup>14</sup>, reportaron que dietas con un alto porcentaje de calcio optimizaron el crecimiento y desarrollo óseo en pollos de engorde, lo cual ocurre porque en condiciones normales este elemento es un componente esencial en la formación de hidroxiapatita, el principal mineral del hueso. Sin embargo, en condiciones de elevada altitud, la fisiología de las aves se ve alterada debido a una menor presión del oxígeno, por lo que la actividad de enzimas involucradas en la mineralización ósea se puede ver modificada <sup>9</sup>.

De este modo, diversas investigaciones respaldan un efecto en el tejido óseo a las variaciones en los niveles de calcio total, destacando la importancia de la fuente mineral en el desarrollo óseo. En este contexto, la presente investigación evidenció una mayor longitud con el tratamiento control (calcio total según requerimiento nutricional) y medidas mediales con los tratamientos que tenían aportes de calcio total por encima del requerimiento nutricional (T2, T3 y T4), señalando que las dietas para pollos de engorde no deben ser deficientes en calcio para asegurar el crecimiento y la mineralización óptima de los huesos, incluso en pollos criados a elevada altitud, que en muchas ocasiones no es tomado en cuenta. Rojas et al <sup>20</sup>, demostró que un nivel óptimo de calcio maximiza la densidad mineral ósea, lo cual es un indicador de la salud y fortaleza de los huesos; no obstante, una excesiva cantidad de este mineral es dañino, ya que interfiere en la absorción de otros minerales esenciales, generando desequilibrios en el metabolismo mineral de las aves. De igual manera, Uculmana et al <sup>19</sup>, mencionaron que el equilibrio entre el calcio y fósforo es un aspecto clave en salud ósea, ya que ambos minerales garantizan una mineralización ósea adecuada; sin embargo, un exceso o deficiencia en las cantidades deriva en problemas en la tibia, que es uno de los huesos que soporta el peso corporal del pollo. Así también, Roja et al <sup>20</sup>, reportó que los pollos de engorde que son alimentados a través de una dieta basada en calcio con un nivel de 1.10% lograron una sólida estructura ósea, lo cual les permitió tener un mejor soporte ante el peso rápido que adquieren estas aves.

El estudio subraya que el nivel óptimo de calcio en la dieta de las aves puede verse alterada según el entorno en el que se críen las aves; ya que, en altitudes elevadas, las aves están



expuestas a una baja presión atmosférica y baja temperatura ambiental, lo que influye en la utilización del calcio, necesitando una mayor absorción y disponibilidad del mineral para mantener la integridad ósea y permitir un correcto crecimiento del ave. Subrayando que no se debe subestimar el aporte de calcio total en dietas de pollos de engorde, independientemente del lugar y condiciones a los que son criados <sup>9</sup>

Desde el marco conceptual, la morfometría ósea implica el análisis cuantitativo de la forma y tamaño de los huesos; asimismo, en el caso de los pollos de engorde mejorado, los cuales son aves que se caracterizan por un rápido crecimiento con el fin de maximizar la producción de carne en un corto periodo de tiempo. Es importante analizar el crecimiento óseo, ya que los huesos deben desarrollarse al mismo ritmo del crecimiento del ave para soportar un peso corporal que va aumentando de forma acelerada <sup>31</sup>. Por ello, conforme el ave va creciendo, pasa por una etapa de formación (creación de nuevo tejido óseo) y remodelación ósea (sustitución de tejido viejo o dañado), para mantener una estructura ósea sólida y resistente; ya que, caso contrario se obtiene un esqueleto subdesarrollado que conlleva a una menor capacidad de desplazamiento, lo cual es vital el normal acceso a alimentos, agua, etc <sup>34</sup>. En este sentido, se debe asegurar el contenido de los minerales que aseguran el desarrollo de huesos (calcio y fósforo), el estudio deja en evidencia que una deficiencia del calcio total puede afectar directamente el crecimiento óseo y comprometer la mineralización y desarrollo óseo de pollos de engorde de crecimiento acelerado <sup>17</sup>.

Así También, los resultados observados evidencian que las respuestas al calcio. Los dietarios en pollos de engorde son diferentes en condiciones de altura; por ello Soliman & Safwat <sup>9</sup>, señalan que la hipoxia hipobárica característica de La altura altera significativamente el metabolismo de las aves; ello podría explicar por qué el nivel óptimo de calcio para la presente investigación resultó ser en una concentración de 0.76 %, lo cual es una respuesta que difiere de lo reportado por Bai et al <sup>14</sup>, quien en condiciones a nivel de mar tuvo otros parámetros; De este modo, la baja presión parcial de oxígeno podría estar afectando los mecanismos de absorción y utilización del calcio, a través de alteraciones en la actividad de enzimas en el metabolismo óseo, lo cual coincide con lo reportado por Li et al <sup>17</sup>, sobre la sensibilidad del metabolismo mineral a las condiciones ambientales.

También, cabe precisar que el incremento en los niveles de calcio no se tradujo necesariamente en un mayor crecimiento longitudinal de los huesos; si bien Xing et al <sup>16</sup> reportaron que niveles elevados de calcio optimizan el desarrollo óseo, los hallazgos del



presente estudio mostraron que niveles por encima del requerimiento (0.86 % y 0.96 %) no mejoraron el largo óseo, aunque sí afectaron positivamente las medidas mediales; esto pone de manifiesto que el calcio por sí solo no es suficiente para inducir el crecimiento longitudinal, pues depende de otros factores nutricionales y hormonales para completar el proceso de elongación y mineralización adecuada de los huesos <sup>19</sup>.



## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

Las dietas para pollos de engorde Cobb 500 criados en altura deben formularse con un nivel de calcio total de 0.76 % (T2) para no alterar el peso óseo. Además, factores como la temperatura ambiental y la disponibilidad de vitamina D pueden influir en la absorción de calcio y la formación ósea, por lo que deben considerarse en los programas de alimentación y manejo.

Los niveles de calcio total por encima de 0.76 % incrementan el largo y medial de huesos de pollos de engorde Cobb 500 criados en altura; sin embargo, no tienen efecto sobre el ancho de hueso. Asimismo, la temperatura ambiental puede afectar el metabolismo del calcio, y la exposición adecuada a la luz solar, que favorece la síntesis de vitamina D, puede mejorar la asimilación de este mineral, optimizando la salud ósea de las aves.

#### 6.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar investigaciones con calcio digestible en pollos de engorde criados en altura.

Se sugiere evaluar niveles de calcio, fósforo y vitamina D conjuntamente, debido a que intervienen en el crecimiento óseo en pollos de engorde criados en altura.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hernández M. Formulación del plan de acción ambiental de la empresa avícola huevos mi casita, ubicada en la vereda el palmar, en el municipio de Roldanillo, Valle del Cauca. (Tesis de pregrado, Unidad Central del Valle del Cauca). Repositorio Institucional - Unidad Central del Valle del Cauca; 2021.
2. Zevallos R. Harina de Camú Camu (*Myrciaria dubia*) sobre parámetros productivos en pollos de engorde de la línea Ross. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán). Repositorio Institucional UNHEVAL; 2023.
3. Dávila A. Una mirada al sector. Lima, Perú. La avicultura en el Perú. 2019.
4. Olejnik K, Popiela E, Opaliński S. Emerging precision management methods in poultry sector. *Agriculture*. 2022; 15(5): p. 718.
5. Li D, Zhang K, Bai S, Wang J, Zeng Q, Peng H, et al. Effect of 25-hydroxycholecalciferol with different vitamin D3 levels in the hen's diet in the rearing period on growth performance, bone quality, egg production, and eggshell quality. *Agriculture*. 2021; 11(8): p. 698.
6. Sánchez M, López M. Efecto de la suplementación con ajo en pollos de engorde. *Revista MVZ Córdoba*. 2022.
7. Jaramillo J, & RD. Evaluación de dos fórmulas alimenticias con diferentes niveles de proteína en pollos parrilleros. *Revista Politécnica Salesiana*. 2022.
8. Godoy J, Silva J, Gomes C. Effect of dietary phosphorus level and phytase supplementation on growth performance, bone mineralization, and carcass characteristics of broiler chickens. *Poultry Science*. 2002.
9. Soliman A, Safwat A. Climate change impact on immune status and productivity of poultry as well as the quality of meat and egg products. *Climate Change Impacts on Agriculture and Food Security in Egypt: Land and Water Resources—Smart Farming—Livestock, Fishery, and Aquaculture*. 2020: p. 481-498.
10. Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). Boletín sobre producción y comercialización-avícola.; 2022.
11. Meca J. Implementación de un plan HACCP para la empresa Avimec SAC dedicada a la crianza y faenado de aves ubicada, AH Villa Perú Canadá-Piura. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura). Repositorio UNP; 2022.
12. Salinas A, Paredes D, Nakandakari L. Comportamiento productivo y calidad de huevo en gallinas de postura alimentadas con cuatro fuentes comerciales de fosfato inorgánico. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 2023; 34(2).
13. Zhang B, Zhang X, Schilling M, Tabler G, Peebles E, Zhai W. Effects of broiler genetic strain and dietary amino acid reduction on (part I) growth performance and internal organ development. *Poultry science*. 2020; 99(6): p. 3266-3279.
14. Bai S, Yang Y, Ma X, Liao X, Wang R, Zhang L, et al. Dietary calcium requirements of broilers fed a conventional corn-soybean meal diet from 1 to 21 days of age. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2022; 13(1): p. 1-12.
15. Zhao S, Teng X, Xu D, Chi X, Ge M, Xu S. Influences of low level of dietary calcium on bone characters in laying hens. *Poultry science*. 2020; 99(12): p. 7084-7091.
16. Xing R, Yang H, Wang X, Yu H, LS, Li P. Effects of calcium source and calcium level on growth performance, immune organ indexes, serum components, intestinal



- microbiota, and intestinal morphology of broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*. 2020; 29(1): p. 106-120.
17. Li T, Xing G, Shao Y, Zhang L, Li S, Lu L, et al. Dietary calcium or phosphorus deficiency impairs the bone development by regulating related calcium or phosphorus metabolic utilization parameters of broilers. *Poultry science*. 2020; 99(6): p. 3207-3214.
  18. Murga C, Virhuez J, Vílchez C, Nakandakari L. Comportamiento productivo y características morfométricas y mineralización de tibias de pollos de engorde suplementados con fosfatos inorgánicos de cinco fuentes comerciales. *Revista de investigaciones veterinarias del Perú*. 2020; 31(2).
  19. Uculmana M, Martínez D, Zea M O, VPC. Efecto de la relación calcio y fósforo sobre las características óseas, porcentaje de cenizas e integridad esquelética en pollos de carne. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú (RIVEP)*. 2018; 29(4): p. 1268-1277.
  20. Rojas AA, GJE, &GMA. Efecto de diferentes niveles de calcio total sobre el rendimiento productivo e integridad ósea de pollos de engorde. *Revista Peruana de Producción Animal*. 2018.
  21. Alves PA, SMA, &PEG. Effect of dietary calcium supplementation on growth performance, bone mineralization, and bone strength in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*. 2017.
  22. Paredes M, Romero A, Torres M, Vallejos L. Crecimiento y comportamiento reproductivo de la gallina criolla de huevos con cáscara verde de la provincia de Chota, Cajamarca. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 2019; 30(2): p. 733-744.
  23. García J. Estrategias nutricionales y de manejo para mejorar los rendimientos productivos en pollitas rubias para puesta. (Tesis de posgrado, Universidad Politécnica de Madrid). Archivo Digital UPM; 2020.
  24. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). *Panorama Agroalimentario: Carne de pollo 2019.*; 2019.
  25. Aviagen. *Manual de manejo del pollo de engorde*. 2018.
  26. Ciosek Ž, Kot K, Kosik D, Łanocha N, Rotter I. The effects of calcium, magnesium, phosphorus, fluoride, and lead on bone tissue. *Biomolecules*. 2021; 11(4): p. 506.
  27. Matuszewski A, Łukasiewicz M, Niemiec J. Calcium and phosphorus and their nanoparticle forms in poultry nutrition. *World's Poultry Science Journal*. 2020; 76(2): p. 328-345.
  28. Tainika B, Abdallah N, Damaziak K, Waithaka Z, Shah T, Wójcik W. Egg storage conditions and manipulations during storage: effect on egg quality traits, embryonic development, hatchability and chick quality of broiler hatching eggs. *World's Poultry Science Journal*. 2023; p. 1-33.
  29. FAO. *Nutrición animal para la producción de pollos de engorde*. FAO. 2022.
  30. NRC. *Nutrient Requirements of Poultry*. 12th ed. Washington. DC: National Academies Press. 2019.
  31. Sánchez J, Martínez M. *Nutrición y alimentación de aves de corral*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. 2021.
  32. Maglianesi M. *Avifauna neotropical: ecología y conservación*. Instituto Tecnológico de Costa Rica; 2022.
  33. Adeola OA, AOO, & AAA. The role of amino acids in the growth and development of broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*. 2022.



34. Mao J, LH, LY, & LS. Effect of dietary calcium and phosphorus levels on growth performance, bone mineralization, and bone strength of broiler chickens. *Animal Nutrition*. 2018.
35. Ayoola A, Yusuf O, Olatunbosun OB, Ayo O, Ogunmefun F. Carcass Yield, Bone Morphometry and Mineral Concentration in Tissues of Broilers Fed Nano Zinc Fortified Diet. *Agriculturae Conspectus Scientificus*. 2023; 88(2): p. 1-7.
36. Khan I, ZH, MS, AS, RHF, RHU. & RSU (Supplemental Selenium Nanoparticles-loaded to Chitosan Improves Meat Quality, Pectoral Muscle Histology, Tibia Bone Morphometry and Tissue Mineral Retention in Broilers. *Pakistan Veterinary Journal*. 2022; 44(2).
37. Céspedes R, Zea-Mendoza O, Vílchez-Perales C. Respuesta productiva, pH, morfometría ósea e intestinal y sus relaciones en broilers alimentados con acidificantes protegidos y no protegidos y antibióticos. *Rev. investig. vet. Perú [Internet]*. 2023 Dec. 18 [cited 2024 Apr. 24];34(6):e26961. Available from: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/veterinaria/article/view/26961>
38. Alvarez J, Vilchez-Perales C, Serrano J, Sotelo-Méndez A, Zea-Mendoza O. Reemplazo progresivo de bacitracina metileno disalicilato por *Enterococcus faecium* sobre parámetros productivos y morfometrías intestinal y ósea en pollos de engorde. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*. (2023); 24(2). [https://doi.org/10.21930/rcta.vol24\\_num2\\_art:3115](https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num2_art:3115)
39. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Producción y productos avícolas. 2023. Available from: <https://www.fao.org/poultry-production-products/production/poultry-species/es/>.
40. Chávez L, & MJ. La importancia de la avicultura en el desarrollo económico y social del Perú. *Revista de Economía y Ciencias Sociales*. 2022;(28(2), 27-42.).
41. Arias J, Covinos M. Diseño y metodología de la investigación. Biblioteca Nacional del Perú; 2021.
42. Hernández R, Mendoza C. Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta: McGraw-Hill Interamericana editors; 2019.
43. Ruiz J, Pinedo L, Barbarán P, Pretell L. Gestión del Gobierno Abierto y uso del portal de transparencia en una universidad pública peruana. *Enfoque UTE*. 2023; 13(1): p. 73-81.
44. Fontana A. el cambio de paradigma. IESE Business School. Asociación Peruana de Avicultura (APA). 2013.
45. Batista da Silva R, Tavares da Silva T. Principio de las 3R como ética mínima en la experimentación animal. *Rev Bioética*. 2024;32:e3782ES.
46. Gómez M, SC, & GJ. Efecto de la relación calcio y fósforo sobre las características óseas, porcentaje de cenizas e integridad esquelética en pollos de carne. *Revista Peruana de Producción Animal*. 2018.



## ANEXOS





Fig. 2. Proceso de adecuación y preparación de las instalaciones experimentales para la crianza de pollos de engorde Cobb 500



Fig. 3. Procedimiento de pesaje y preparación de ingredientes para la formulación de dietas experimentales con diferentes niveles de calcio total



Fig. 4. Proceso de distribución aleatoria de las unidades experimentales (pollos Cobb 500) en los diferentes tratamientos con niveles variables de calcio total



Fig. 5. Vista general de las aves distribuidas en los corrales experimentales según los tratamientos asignados durante el periodo de investigación



Fig. 6. Procedimiento de recolección y clasificación de estructuras óseas para evaluación morfométrica en laboratorio



Fig. 7. Sistema de identificación y etiquetado de muestras óseas para garantizar la trazabilidad durante los análisis de laboratorio



Fig. 8. Proceso de evaluación y análisis morfométrico de las muestras óseas en el Laboratorio de Nutrición y Alimentación Animal



Fig. 9. Proceso de determinación del peso óseo mediante el uso de balanza analítica digital de alta precisión (Marca OHAUS) para la evaluación cuantitativa de las estructuras óseas obtenidas de pollos de engorde Cobb 500 sometidos a diferentes niveles de calcio total