

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

## **ESCUELA DE POSGRADO**



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS**

**VETERINARIAS**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS**

**TESIS:**

**EFFECTO DE LA CURCUMINA DIETARIA EN EL DESEMPEÑO**

**PRODUCTIVO Y CALIDAD DEL HUEVO DE LA CODORNIZ**

**(*Coturnix japonica*)**

Para optar el Grado Académico de

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: CIENCIAS VETERINARIAS**

Presentada por:

**M.Cs. LIZBETH CRISTINA ZAMBRANO TORREL**

Asesor:

**Dr. TEÓFILO SEVERINO TORREL PAJARES**


Cajamarca, Perú

2026

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:  
Lizbeth Cristina Zambrano Torrel  
DNI: 40214884  
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Veterinarias.  
Programa de Doctorado en Ciencias, Mención: Ciencias Veterinarias.
2. Asesor(a): Dr. Teófilo Severino Torrel Pajares
3. Grado académico o título profesional  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
4. Tipo de Investigación:  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:  
EFECTO DE LA CURCUMINA DIETARIA EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y CALIDAD  
DEL HUEVO DE LA CODORNIZ (*Coturnix japonica*)
6. Fecha de evaluación: **27/04/2026**
7. Software antiplagio:                       TURNITIN                       URKUND (OURIGINAL) (\*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **15%**
9. Código Documento: **3117:583683885**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:  
 **APROBADO**       PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **27/04/2026**

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 ..... <b>Dr. Teófilo Severino Torrel Pajares</b> DNI: 26604631

\* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2026 by  
**LIZBETH CRISTINA ZAMBRANO TORREL**  
Todos los derechos reservados



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD

## ESCUELA DE POSGRADO

CAJAMARCA – PERU

### PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS

#### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



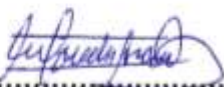
Siendo las *11.00 a.m.* horas, del día 22 de Abril de dos mil veintiséis, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **DR. JOSÉ ANTONIO NIÑO RAMOS, DR. MANUEL EBER PAREDES ARANA, DR. GILBERTO FERNÁNDEZ IDROGO** y en calidad de Asesor el **DR. TEÓFILO SEVERINO TORREL PAJARES**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestrías y Doctorados de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la Sustentación de la TESIS titulada: **"EFECTO DE LA CURCUMINA DIETARIA EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y CALIDAD DEL HUEVO DE LA CODORNIZ (*Coturnix japonica*)"**, presentada por la Maestro en Ciencias Mención: Producción y Reproducción Animal **LIZBETH CRISTINA ZAMBRANO TORREL**.

Realizada la exposición de la TESIS y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó ..... *Aprobada* ..... con la calificación de *Distinto* ..... la mencionada TESIS; en tal virtud, la Maestro en Ciencias Mención: Producción y Reproducción Animal, **LIZBETH CRISTINA ZAMBRANO TORREL**, se encuentra apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que la acredita como **DOCTOR EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de **CIENCIAS VETERINARIAS**, con mención en **CIENCIAS VETERINARIAS**.

Siendo las *12.00* horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

  
.....  
**Dr. Teófilo Severino Torrel Pajares**  
Asesor

  
.....  
**Dr. José Antonio Niño Ramos**  
Jurado Evaluador

  
.....  
**Dr. Manuel Eber Paredes Arana**  
Jurado Evaluador

  
.....  
**Dr. Gilberto Fernández Idrogo**  
Jurado Evaluador

## DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, salud y haber logrado este objetivo.

A mi esposo Wilmer, por su constante apoyo, comprensión y acompañamiento incondicional para obtener este gran logro en mi vida. A mis amados hijos Wilmer Fernando y Rodrigo Mariano, por ser el pilar y motivo de levantarme cada día a pesar de las dificultades que se puedan presentar.

A la memoria de mi madre: ROSA, a quien le debo la vida y todo lo alcanzado.

A mi padre: SEGUNDO, y a mis hermanos: Oscar, Karina y Leidy, quienes son los pilares importantes en mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

A los docentes de las Facultades: Ciencias Veterinarias y Ciencias Pecuarias de la Universidad Nacional de Cajamarca y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por sus sabios conocimientos brindados durante el desarrollo de esta investigación.

Al Dr. Teófilo Severino Torrel Pajares y al Dr. Manuel Eber Paredes

Arana, docentes de la Universidad Nacional de Cajamarca por su paciencia y por brindarme de manera continua su conocimiento, permitiendo que esta tesis se desarrolle y concluya en los tiempos oportunos.

Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano.

Isaac Newton

## CONTENIDOS

Ítem	Página
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
EPÍGRAFE .....	vii
CONTENIDOS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xii
LISTA DE ABREVIACIONES .....	xiii
PREFACIO .....	xiv
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO II .....	5
MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Antecedentes de investigación .....	5
2.2. Bases teóricas .....	7
2.2.1. Fisiología reproductiva de la codorniz .....	7
2.2.2. Características productivas de la codorniz .....	8
2.2.2.1. Postura .....	8
2.2.3. Consumo del alimento y conversión alimenticia .....	9
2.2.4. Cúrcuma .....	10
2.2.5. Composición química .....	11
2.2.5.1. Actividad biológica de la cúrcuma .....	11
2.2.5.2. Actividad hepática .....	11
2.2.5.3. Actividad ovárica .....	12
2.2.5.4. Efecto anticoccidial .....	12
2.2.6. Curcumina .....	12
2.2.6.1. Propiedades de la curcumina .....	13
2.2.7. Calidad del huevo .....	14
2.2.7.1. Peso del huevo .....	15
2.2.7.2. Peso de la cáscara .....	15

2.2.7.3. Grosor de la cáscara.....	15
2.2.7.4. Peso de la yema .....	15
2.2.7.5. Peso de la clara .....	16
2.2.7.6. Diámetro del huevo .....	16
2.2.7.7. Longitud del huevo.....	16
2.2.7.8. Diámetro de la yema.....	17
2.2.7.9. Altura de la yema.....	17
2.2.7.10. Altura de la clara .....	18
2.2.7.11. Luminosidad (L*).....	18
2.2.7.12. Enrojecimiento (a*).....	18
2.2.7.13. Amarillez (b*) .....	19
2.2.7.14. Unidades Haugh .....	19
CAPÍTULO III.....	20
DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	20
3.1. Hipótesis.....	20
3.2. Localización .....	20
3.3. Diseño de investigación.....	21
3.4. Población, muestra y unidad de análisis.....	21
3.4.1. Población .....	21
3.4.2. Muestra .....	22
3.4.3. Unidad de análisis.....	22
3.5. Determinación del desempeño productivo .....	22
3.5.1. Porcentaje de postura semanal (%).....	23
3.5.2. Peso promedio del huevo semanal (g).....	23
3.5.3. Consumo del alimento (g/ave/día).....	24
3.5.4. Porcentaje de mortalidad (%) .....	24
3.6. Determinación de la calidad del huevo .....	24
3.6.1. Peso del huevo (g) .....	25
3.6.2. Peso de la cáscara (g) .....	25
3.6.3. Grosor de la cáscara (mm).....	25
3.6.4. Peso de la yema (g).....	25
3.6.5. Peso de la clara (g) .....	25
3.6.6. Diámetro del huevo (mm) .....	25
3.6.7. Longitud del huevo (mm):.....	25

3.6.8. Diámetro de la yema (mm).....	25
3.6.9. Altura de la yema (mm).....	26
3.6.10. Colorimetría de la yema .....	26
3.6.11. Unidades Haugh .....	26
3.7. Manejo experimental.....	26
3.7.1. Preparación de las instalaciones .....	26
3.7.2. Distribución de las aves y tratamientos .....	27
3.7.3. Alimentación y suministro de agua .....	27
3.8. Diseño estadístico.....	27
3.9. Aprobación ética.....	28
CAPÍTULO IV .....	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	29
4.1. Porcentaje de postura por semana .....	29
4.2. Peso promedio del huevo por semana.....	34
4.3. Mortalidad .....	38
4.4. Consumo del alimento .....	39
4.5. Efecto de la suplementación con curcumina sobre la calidad del huevo .....	42
CAPÍTULO V .....	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	49
5.1. Conclusiones.....	49
5.2. Recomendaciones .....	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	51
ANEXOS.....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación botánica de <i>Curcuma longa</i> .....	10
Tabla 2. Composición química de la cúrcuma.....	11
Tabla 3. Porcentaje postura (%).....	30
Tabla 4. Peso del huevo .....	35
Tabla 5. Mortalidad.....	38
Tabla 6. Consumo de alimento .....	40
Tabla 7. Efecto de la suplementación con curcumina a los 30 días.....	43
Tabla 8. Efecto de la suplementación con curcumina a los 60 días.....	45
Tabla 9. Unidades Haugh (UH) .....	48

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química de componentes activos de la cúrcuma .....	14
Figura 2. Ubicación de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Pecuarias .....	20
Figura 3. Evolución del porcentaje de postura (%). .....	31
Figura 4. Evolución del peso del huevo.....	36
Figura 5. Evolución del consumo del alimento.....	41

## LISTA DE ABREVIACIONES

a\*: Enrojecimiento

b\*: Amarillez

EE: Error estándar

EM: Energía metabolizable

FSHR: Receptor de la hormona foliculoestimulante

h: Altura de la albúmina

IC 95 %: Intervalo de confianza al 95 %

L\*: Luminosidad

LHR: Receptor de la hormona luteinizante

mm: Milímetro

p: Valor de probabilidad

UH: Unidades Haugh

UI: Unidades internacionales

W: Peso del huevo

%: Porcentaje

$\chi^2$ : Chi-cuadrado

## PREFACIO

La presente tesis doctoral fue desarrollada con el propósito de aportar evidencia científica sobre el uso de la curcumina dietaria como alternativa natural en la alimentación de codornices japonesas en etapa de postura. El interés por esta temática surge de la necesidad de identificar estrategias nutricionales que permitan mejorar el desempeño productivo y la calidad del huevo, dentro de un enfoque orientado a la eficiencia productiva y al uso de aditivos de origen natural.

La investigación se centró en evaluar el efecto de diferentes niveles de curcumina sobre variables productivas y de calidad del huevo en *Coturnix japonica*, considerando que, aunque este compuesto ha mostrado resultados promisorios en otras especies avícolas, en codornices aún existe información limitada.

Este trabajo representa no solo un esfuerzo académico, sino también un compromiso con la generación de conocimiento útil para el campo de las ciencias veterinarias. Se espera que los resultados obtenidos contribuyan a fortalecer la base científica sobre el uso de fitoaditivos en avicultura y sirvan de referencia para futuras investigaciones y aplicaciones en la producción coturnícola.

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la suplementación con curcumina en la dieta sobre el desempeño productivo y la calidad del huevo de la codorniz (*Coturnix japonica*) en etapa de postura. Se utilizaron 450 codornices hembras de 30 días de edad, distribuidas en cinco tratamientos: T<sub>0</sub> (control, sin curcumina), T<sub>1</sub> (100 mg/kg), T<sub>2</sub> (200 mg/kg), T<sub>3</sub> (300 mg/kg) y T<sub>4</sub> (400 mg/kg), con 90 aves por tratamiento. Se registraron semanalmente variables productivas como porcentaje de postura, peso del huevo, consumo de alimento y mortalidad, además de parámetros de calidad interna y externa del huevo evaluados a los 30 y 60 días. Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos en la mayoría de las variables evaluadas ( $p < 0.05$ ). El tratamiento T<sub>2</sub> (200 mg/kg) presentó el mayor porcentaje de postura (92.5 %;  $p < 0.05$ ), así como el mejor desempeño productivo en comparación con los demás tratamientos. Asimismo, el peso del huevo fue influenciado significativamente por el nivel de curcumina ( $p < 0.05$ ), mientras que la mortalidad fue numéricamente menor en el tratamiento T<sub>2</sub>; sin embargo, no se evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos ( $p > 0.05$ ). El consumo de alimento fue influenciado significativamente por el tratamiento ( $p < 0.05$ ), registrándose el mayor consumo en el grupo control y el menor en el tratamiento T<sub>2</sub>. En relación con la calidad del huevo, las dosis de 300 y 400 mg/kg mostraron resultados favorables en algunos parámetros internos, especialmente en la altura de albúmina y unidades Haugh, aunque no todas las variables presentaron diferencias significativas. Se concluye que la suplementación con 200 mg/kg de curcumina constituye el nivel más eficiente para optimizar el desempeño productivo en codornices en postura, mientras que los niveles de 300 y 400 mg/kg favorecieron determinados atributos de calidad del huevo. Estos hallazgos evidencian el potencial de la curcumina como aditivo fitogénico en sistemas de producción avícola.

**Palabras clave:** Codorniz, curcumina, desempeño productivo, calidad del huevo.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of dietary curcumin supplementation on the production performance and egg quality of laying quail (*Coturnix japonica*). A total of 450 30-day-old female quails were used, distributed across five treatments: T<sub>0</sub> (control, no curcumin), T<sub>1</sub> (100 mg/kg), T<sub>2</sub> (200 mg/kg), T<sub>3</sub> (300 mg/kg), and T<sub>4</sub> (400 mg/kg), with 90 birds per treatment. Production variables such as laying percentage, egg weight, feed intake, and mortality were recorded weekly, in addition to internal and external egg quality parameters evaluated at 30 and 60 days. The results showed significant differences between treatments for most of the evaluated variables ( $p < 0.05$ ). Treatment T<sub>2</sub> (200 mg/kg) showed the highest laying rate (92.5%;  $p < 0.05$ ), as well as the best production performance compared to the other treatments. Likewise, egg weight was significantly influenced by the curcumin level ( $p < 0.05$ ), while mortality was numerically lower in treatment T<sub>2</sub>; however, no significant differences were observed between treatments ( $p > 0.05$ ). Feed intake was significantly influenced by the treatment ( $p < 0.05$ ), with the highest intake recorded in the control group and the lowest in treatment T<sub>2</sub>. Regarding egg quality, the 300 and 400 mg/kg doses showed favorable results for some internal parameters, particularly albumen height and Haugh units, although not all variables showed significant differences. It is concluded that supplementation with 200 mg/kg of curcumin constitutes the most efficient level for optimizing productive performance in laying quails, while the 300 and 400 mg/kg levels favored certain egg quality attributes. These findings demonstrate the potential of curcumin as a phyto-genic additive in poultry production systems.

Keywords: Quail, curcumin, production performance, egg quality.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La industria de las codornices constituye el tercer sector más grande dentro del ámbito avícola mundial, y su segmento de cría muestra una expansión gradual. Las codornices exhiben una tasa de postura notable, que se mantiene en aproximadamente el 80 % incluso después del pico de producción (Liu et al., 2024). Sin embargo, durante esta fase productiva se observa un incremento en la mortalidad y en la incidencia de rotura de huevos, factores que afectan negativamente la eficiencia del sistema productivo (Minvielle, 2004). Por lo tanto, se ha incrementado el interés por optimizar las condiciones durante el periodo de postura, debido a su influencia directa en el rendimiento reproductivo y en la calidad del huevo en codornices (Berrama et al., 2021)

En los sistemas modernos de producción avícola, el rendimiento productivo no depende únicamente del potencial genético de las aves, sino también del manejo nutricional y sanitario aplicado durante el periodo de postura (Korver, 2023). En codornices japonesas, se ha demostrado que la eficiencia productiva puede verse influenciada por factores como el equilibrio nutricional de la dieta, la calidad del alimento y la incorporación de compuestos bioactivos, los cuales contribuyen a mejorar la respuesta fisiológica, el aprovechamiento de nutrientes y el desempeño productivo de las aves (de Moraes et al., 2019; Hossain et al., 2024; Guimarães et al., 2021).

Los aditivos alimentarios, como probióticos, prebióticos, enzimas, ácidos orgánicos y extractos de hierbas, han cobrado relevancia por su potencial para mejorar la salud y la producción sin necesidad de antibióticos. La inclusión de aditivos de origen natural en la ración de aves de postura es una práctica cada vez más frecuente por los efectos positivos sobre la calidad del producto final (Prakash et al., 2024). Asimismo, los aditivos fitogénicos utilizados en

la alimentación animal son compuestos bioactivos derivados de plantas que aportan múltiples beneficios en la salud, el crecimiento, la reproducción y la calidad de los productos animales, además de contribuir a disminuir la toxicidad (Wang et al., 2024).

Por otro lado, se sabe que la oxidación de productos de origen animal, durante el tiempo que transcurre desde que es producido hasta que llega al consumidor final, deteriora la calidad de este (Domínguez et al., 2019). Por lo tanto, el uso de aditivos en las raciones es una alternativa que garantiza que el estado antioxidante del ave mejore y consecuentemente el producto final pueda mitigar el efecto oxidativo del tiempo de almacenaje y mantener su calidad (Prado, 2016).

El deterioro oxidativo constituye uno de los principales factores que afectan la estabilidad y calidad de los productos de origen animal durante el almacenamiento (Obianwuna et al., 2022). Este proceso genera alteraciones en la estructura lipídica y proteica del huevo, lo que repercute negativamente en su valor nutricional y características sensoriales (Domínguez et al., 2019). En este sentido, la incorporación de antioxidantes naturales en la alimentación de aves representa una estrategia nutricional de creciente interés, debido a su capacidad para fortalecer el estado antioxidante del organismo y, con ello, contribuir a la preservación de la calidad interna del huevo durante el almacenamiento. La evidencia disponible sugiere que estos compuestos favorecen una mayor estabilidad del producto final y atenúan los efectos del deterioro oxidativo a lo largo del tiempo (Surai, 2020; Park et al., 2012)

Aunque la curcumina ha sido ampliamente evaluada en pollos de engorde y gallinas ponedoras (Hafez et al., 2022), la información disponible sobre su uso en codornices aún es limitada, particularmente en relación con su influencia sobre parámetros productivos y características fisicoquímicas del huevo. Asimismo, distintos estudios han señalado que los compuestos fitogénicos pueden mejorar la digestibilidad de nutrientes y fortalecer la respuesta

inmune, contribuyendo a un mejor desempeño productivo en aves (Hafez et al., 2022; Liu et al., 2024; Li et al., 2024).

La curcumina ha despertado un creciente interés en la nutrición aviar debido a sus posibles beneficios sobre la salud, el rendimiento productivo y la calidad del producto, como se ha observado en gallinas ponedoras y pollos de engorde (Liu et al., 2020; Hafez et al., 2022). Sin embargo, en codornices japonesas en etapa de postura, la información aún es limitada, especialmente en lo que respecta a la evaluación de diferentes niveles de suplementación y su efecto combinado sobre variables productivas y características fisicoquímicas del huevo (Olgun et al., 2022). Aunque se han publicado algunos estudios recientes en esta especie, la evidencia disponible todavía no es suficiente para establecer conclusiones firmes sobre su aplicación en sistemas de producción coturnícola (Liu et al., 2024).

En este contexto, aunque la curcumina ha mostrado efectos favorables en distintas especies avícolas, en codornices japonesas en etapa de postura aún existe información limitada respecto a su efecto sobre variables productivas y atributos de calidad del huevo, especialmente cuando se evalúan diferentes niveles de suplementación dietaria. Por ello, surge la necesidad de generar evidencia experimental que permita determinar si la inclusión de curcumina en la dieta mejora el desempeño productivo y la calidad del huevo en codornices (*Coturnix japonica*) en etapa de postura.

El presente estudio tuvo como objetivo principal evaluar los efectos de la curcumina como aditivo en la ración, sobre el desempeño productivo y la calidad del huevo de las codornices.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Evaluar el efecto de la curcumina como aditivo en la ración, sobre el desempeño productivo y la calidad del huevo de codornices (*Coturnix japonica*).

### **Objetivos específicos**

Determinar el efecto de la suplementación con curcumina en la dieta sobre el porcentaje de postura, peso del huevo, mortalidad y consumo de alimento.

Determinar el efecto de la suplementación con curcumina en la dieta sobre los principales parámetros de calidad interna y externa del huevo.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de investigación

La producción de huevos en codornices japonesas sigue una dinámica fisiológica caracterizada por un incremento durante las primeras semanas de postura, seguido de una fase de estabilización a medida que el sistema reproductivo alcanza su madurez funcional. En este sentido, Kaewhom et al. (2026) señalan que esta dinámica productiva se encuentra estrechamente relacionada con procesos metabólicos y hormonales propios de la especie.

En codornices japonesas, la suplementación dietaria con polvo de cúrcuma ha sido asociada con mejoras en la calidad del huevo durante el almacenamiento, particularmente por su efecto sobre la estabilidad oxidativa. Al respecto, Fouad et al. (2025) reportaron que esta suplementación incrementó la resistencia al deterioro oxidativo y favoreció la conservación de la calidad interna del huevo a lo largo del tiempo, lo que respalda su potencial como aditivo natural en la producción avícola.

En los últimos años, la curcumina y el extracto de cúrcuma han despertado creciente interés en la investigación avícola debido a sus posibles efectos sobre la producción y la salud de las aves de corral. Al respecto, Li et al. (2024) encontraron que la suplementación con 200 mg/kg de curcumina en gallinas ponedoras mejoró significativamente la calidad del huevo y el metabolismo hepático de los lípidos. Asimismo, Sureshbabu et al. (2023) reportaron una reducción en la expresión de genes vinculados con la lipogénesis y el estrés oxidativo.

La curcumina es un polifenol bioactivo con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias e inmunomoduladoras en aves de producción. Se ha señalado que este compuesto favorece el equilibrio redox celular, fortalece la respuesta inmune y contribuye a una mayor estabilidad intestinal, lo que respalda su potencial como aditivo fitogénico en la nutrición aviar (Zhang et al., 2024; Tuong et al., 2023; Chen et al., 2024; Abdel Moneim et al., 2020).

De igual manera, Liu et al. (2020) encontraron que la suplementación con 150 mg/kg de curcumina mejoró el rendimiento de postura, la calidad del huevo y la actividad antioxidante en gallinas expuestas a estrés calórico.

En un estudio reciente, Liu et al. (2024) evaluaron los efectos de la suplementación dietética con curcumina (0, 50, 100 y 200 mg/kg) administrada durante ocho semanas a 960 aves, encontrándose que la dosis de 200 mg/kg redujo significativamente la mortalidad y mejoró parámetros de calidad del huevo, como el grosor y la resistencia de la cáscara en el periodo de las semanas 5 a 8 comparado con el grupo control; adicionalmente, la curcumina promovió el metabolismo lipídico, incrementó la actividad antioxidante y modificó favorablemente la estructura de la microbiota intestinal, por lo que los autores concluyeron que la inclusión de 200 mg/kg de curcumina en la dieta resulta ser una estrategia efectiva para preservar la calidad del huevo y la salud metabólica en codornices ponedoras, recomendando este aditivo como herramienta nutricional para sistemas de producción avícola enfocados en prolongar la calidad y funcionalidad del huevo en etapas avanzadas de producción.

Liu et al. (2020) evaluaron el efecto de la inclusión de 30 y 50 mg/kg de curcumina en la dieta de gallinas ponedoras sobre la excreción de ooquistes de *Eimeria* y la calidad del huevo. Para ello, emplearon un diseño experimental con distintos niveles de suplementación y analizaron tanto la eliminación de ooquistes como los parámetros de calidad del huevo. Los resultados mostraron que la curcumina redujo la excreción de ooquistes de *Eimeria* y, al mismo tiempo, favoreció la calidad del huevo. En conjunto, estos hallazgos sugieren que dosis bajas de

curcumina pueden contribuir al control de la coccidiosis y a la mejora de la calidad del huevo (El-Shall et al., 2022).

Prado (2016) evaluó el efecto del extracto de palillo (EP) en codornices japonesas, encontrando que su inclusión en la dieta mejoró el consumo de alimento, la masa y el peso del huevo, y la conversión alimenticia. Además, una suplementación del 0.02% de EP redujo la oxidación de la yema, especialmente en aves jóvenes, sin afectar la calidad de la cáscara.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Fisiología reproductiva de la codorniz**

La fisiología reproductiva de la codorniz japonesa (*Coturnix japonica*) se caracteriza por su precocidad sexual y por la rápida instauración del ciclo de postura, lo que la convierte en una especie de interés productivo y experimental. En esta especie, la eficiencia reproductiva cambia con la edad, debido a variaciones en la biometría ovárica, la estructura del oviducto y el número de folículos funcionales, aspectos directamente relacionados con la capacidad de postura y fertilidad (Taghipour-Shahbandi et al., 2024).

Desde el punto de vista anatómico y funcional, el aparato reproductor de la hembra depende principalmente del ovario izquierdo y del oviducto izquierdo, donde ocurren la maduración folicular, la ovulación y la formación del huevo. Además, la actividad reproductiva está regulada por el eje hipotálamo–hipófisis–gónada, mediante la participación de hormonas gonadotrópicas y de sus receptores, como FSHR y LHR, cuya expresión se asocia con el rendimiento de postura en codornices japonesas (Manaa et al., 2024).

Asimismo, la fisiología reproductiva de esta especie puede verse afectada por factores ambientales, especialmente por el estrés térmico, el cual altera la funcionalidad de los órganos, compromete el desempeño productivo y repercute negativamente en la reproducción. En ese

sentido, el ambiente de crianza constituye un factor determinante en la estabilidad fisiológica y reproductiva de la codorniz japonesa (Abdulkadir y Reddy, 2023).

## **2.2.2. Características productivas de la codorniz**

### **2.2.2.1. Postura**

Estas aves alcanzan una madurez sexual precoz. La curva de postura en etapas tempranas se inicia alrededor de los 45 días, en condiciones especiales de iluminación, el porcentaje de puesta está entre 80-82 % y a medida que van transcurriendo en edad van disminuyendo hasta que alcanza un 45 %, casi a los 8 meses o un año de edad (Grimaldos, 2020).

El tiempo de postura, es generalmente en las tardes, aunque no tienen un tiempo exacto de postura. La temperatura y la velocidad del aire en las instalaciones de codornices son factores importantes para lograr el máximo rendimiento productivo. En un ambiente templado, tranquilo y bajo un régimen alimenticio correcto, la codorniz puede llegar a un promedio de postura de un huevo diario (Santos et al., 2019).

Cuando una codorniz japonesa alcanza la madurez sexual, comienza la producción de huevos, alcanza rápidamente su punto máximo y luego disminuye constantemente con el tiempo. Las codornices japonesas tienen una edad de madurez sexual declarada de 35 a 45 días en varios estudios (Manaa et al., 2024). Los promedios de producción de huevos pueden variar considerablemente dependiendo de factores como el manejo, la nutrición, la genética y la edad de las aves, los cuales influyen directamente en la curva productiva durante el ciclo de postura (Manaa et al., 2024; Tůmová et al., 2019).

La codorniz japonesa (*Coturnix japonica*) puede producir entre 260 y 300 huevos por año bajo condiciones óptimas de manejo y alimentación. Asimismo, se han reportado porcentajes de postura entre 50 % y 70 % a lo largo de 52 semanas de producción, con incrementos progresivos durante las primeras semanas de postura hasta alcanzar picos superiores al 80 % en etapas intermedias del ciclo productivo (Liu et al., 2024).

En relación con el peso del huevo, este puede oscilar entre 9 y 16 g dependiendo de la edad, la fase de postura y el programa nutricional implementado (Hossain et al., 2024).

### **2.2.3. Consumo del alimento y conversión alimenticia**

La codorniz japonesa (*Coturnix japonica*) consume diariamente entre 20 y 30 g de alimento, dependiendo de la densidad energética de la dieta, la edad y la fase productiva (Tůmová et al., 2019). Asimismo, la eficiencia de conversión alimenticia en codornices ponedoras se sitúa aproximadamente en 2.8 a 3.2 kg de alimento por kilogramo de masa de huevo producida, variando según el manejo nutricional y las condiciones ambientales (Liu et al., 2024).

La eficiencia de conversión alimenticia en codornices ponedoras se sitúa aproximadamente entre 2.8 y 3.2 kg de alimento por kilogramo de masa de huevo producida, variando en función del manejo nutricional, la densidad energética de la dieta y las condiciones ambientales. En este sentido, (Liu et al., 2024) reportaron que la suplementación dietaria y el balance energético influyen significativamente en la eficiencia productiva y en la conversión alimenticia en codornices en postura. De manera similar, El-Tarabany, M.S. (2016) señalaron que la edad de las aves y las condiciones ambientales pueden modificar la eficiencia de utilización del alimento durante el ciclo productivo.

#### 2.2.4. Cúrcuma

La cúrcuma (*Curcuma longa*) es una planta originaria de la India que ha sido utilizada desde hace mucho tiempo para tratar enfermedades inflamatorias. Su compuesto activo principal es la curcumina, también llamada diferuloilmetano, un pigmento amarillo característico de esta planta.

Se ha demostrado que exhibe numerosas propiedades biológicas, sus rizomas constituyen las porciones de mayor actividad biológica en las aves domésticas (Goel et al., 2008).

**Tabla 1. Clasificación botánica de *Curcuma longa***

<b>Categoría taxonómica</b>	<b>Clasificación</b>
Clase	Monocotiledóneas
Orden	Zingiberales
Familia	Zingiberaceae
Género	Curcuma
Especie	Longa
Nombre científico	<i>Curcuma longa</i> L.
Nombres comunes	Cúrcuma, palillo, yuquilla

Elaboración propia con base en *World Flora Online* (2026).

### 2.2.5. Composición química

En la tabla 2, se muestra comparativamente, la composición centesimal aproximada de la cúrcuma según tres fuentes.

**Tabla 2. Composición química de la cúrcuma**

Componente químico	Comenge (1964)	Grau (1964)	Souza (1998)
Agua	10%	10%	10%
Cenizas totales	8%	8%	7.81%
Cenizas insolubles en HCl al 10%	-	1%	1%
Proteínas totales	5%	5 a 13%	7.01%
Extractos de éter en total	11%	10%	8.51%
Almidón con ácido	48 a 50%	50 a 52%	39.87%
Aceite esencial	3 a 4%	-	-
Curcumina	5 a 7%	5 a 6%	4.41%

Elaboración propia a partir de Comenge (1964), Grau (1964) y Souza et al. (1998)

#### 2.2.5.1. Actividad biológica de la cúrcuma

#### 2.2.5.2. Actividad hepática

La cúrcuma es una fuente de fitoestrógenos, de la clase de isoflavonas, que se pueden unir a los receptores de estrógeno. La unión de los fitoestrógenos a los receptores de estrógeno relacionados con proteína, desencadena la síntesis de proteína para terminar en una respuesta fisiológica (Prado, 2016).

Los fitoestrógenos presentes en la harina de la cúrcuma pueden estimular la síntesis de vitelogenina en las células hepáticas, que trae como resultado una mayor deposición del producto sintetizado en la yema (Saraswati et al., 2013).

La mejora en la función hepática a través de la suplementación con harina de cúrcuma podría incrementar la síntesis de vitelogenina y el desarrollo folicular indicado por la mejora de la jerarquía folicular y producción de huevos (Reda et al., 2020).

#### **2.2.5.3. Actividad ovárica**

Los fitoestrógenos presentes en la cúrcuma tienen un efecto en el ovario, estos pueden estimular la proliferación del desarrollo folicular que incrementará la jerarquía folicular (Saraswati et al., 2013).

Saraswati et al. (2013) mencionan que la provisión de la cúrcuma en gallinas ponedoras no afecta el patrón de fluctuación de la hormona progesterona, pero si afecta la fluctuación de la hormona estriol. Asimismo, reporta que los ciclos de ovulación se reducen en 5 h 35 min debido a la mejora en la función hepática en la síntesis de vitelogenina, esta última al ser transportada mejora el crecimiento de la jerarquía folicular (Saraswati et al., 2013).

#### **2.2.5.4. Efecto anticoccidial**

La coccidiosis causada por *Eimeria* es una enfermedad parasitaria grave en la industria avícola debido a su alta morbilidad, mortalidad y pérdidas económicas. Se ha observado un efecto coccidiostático máximo con la cúrcuma agregada al 3% en raciones de pollos de engorde mostrando resultados comparables a un coccidiostato convencional como la salinomicina. Asimismo, los ooquistes fecales de aves experimentalmente infectadas con *Eimeria acervulina* disminuyeron significativamente cuando los pollos fueron alimentados con dietas suplementadas con cúrcuma (Pop et al., 2019).

## **2.2.6. Curcumina**

Se ha reportado que la producción de huevos, peso y masa se incrementaron significativamente en gallinas de postura alimentadas con raciones suplementadas con cúrcuma con un nivel de 0.5% de la dieta basal. Por otro lado, registraron que no hubo efecto significativo en la producción por ave alojada y porcentaje de postura diario en gallinas Leghorn alimentadas con raciones con 0.1% de cúrcuma (Prado, 2016).

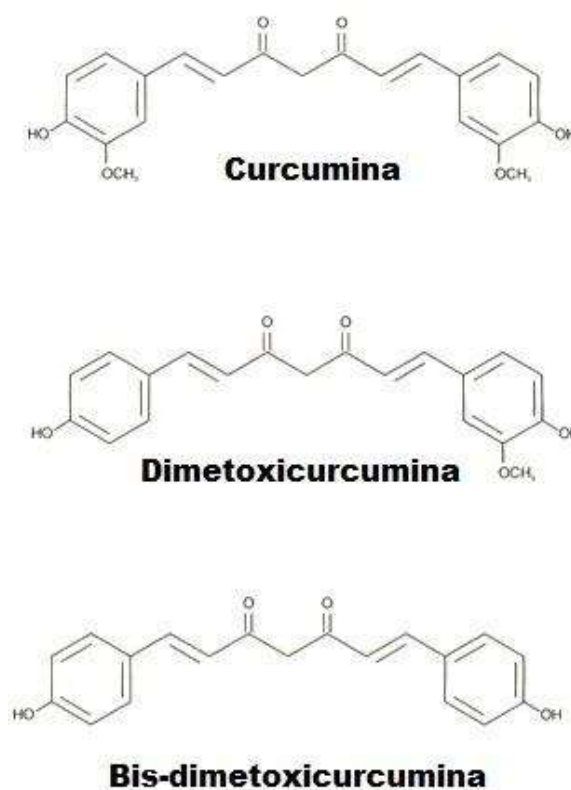
La curcumina proviene de una planta medicinal llamada *Curcuma longa*, la cual es nativa de Asia y posee importancia económica debido a su peculiar rizoma. La curcumina es el principal componente activo de la cúrcuma. Adicionalmente a la curcumina, la cúrcuma también contiene otras sustancias químicas como dimetoxicurcumina y bis-dimetoxicurcumina. Los componentes principales de la curcumina comercial son la curcumina (77 %), dimetoxicurcumina (17 %) y la bis-dimetoxicurcumina (3 %) (Goel et al., 2008).

La curcumina se encuentra principalmente almacenada en los rizomas de *Curcuma longa*, y su concentración puede variar según la especie o variedad cultivada, la localización geográfica y las condiciones agronómicas del cultivo. Asimismo, el contenido de curcuminoides también se ve influenciado por los métodos de extracción empleados, ya que factores como el tipo de solvente y el procesamiento afectan el rendimiento y la pureza del compuesto obtenido (Kaewhom et al., 2026).

### **2.2.6.1. Propiedades de la curcumina**

La curcumina posee actividad hepatoprotectora, atribuida en gran medida a su capacidad antioxidante (Wang et al., 2024). Este compuesto contribuye a reducir la peroxidación lipídica y a prevenir el daño oxidativo celular, al actuar como captador de radicales libres y favorecer la estabilidad fisiológica de los tejidos (Liu et al., 2019).

Por otro lado, la curcumina reduce la peroxidación lipídica y mayor capacidad antioxidante. El antioxidante previene el daño oxidativo celular al actuar como eliminador de radicales libres, evitando lesiones tisulares y celulares causadas por un exceso de radicales libres (Liu et al., 2019).



**Figura 1.** Estructura química de los componentes activos de la cúrcuma (Liu et al., 2019)

### 2.2.7. Calidad del huevo

La calidad del huevo es un atributo multifactorial que se evalúa mediante diversos parámetros físicos, tales como la firmeza de la albúmina, la coloración de la yema, y la integridad y el espesor de la cáscara. Estos indicadores son fundamentales no solo para garantizar la aceptación del producto por parte del consumidor, sino también para asegurar su resistencia durante el transporte y almacenamiento. La expresión de estos parámetros depende en gran medida de la genética del ave, su dieta, y las condiciones de manejo a las que es sometida durante el ciclo productivo (El-Tarabany et al., 2016; Tougan y Thewis, 2024).

### **2.2.7.1. Peso del huevo**

El peso del huevo es un parámetro clave tanto en la evaluación de calidad como en la clasificación comercial, ya que refleja no solo el tamaño del producto final, también el estado de salud, nutrición y genética de la ponedora. Este indicador es altamente valorado en el mercado debido a su impacto directo en la preferencia del consumidor y en la eficiencia productiva del sistema avícola (Hossain et al., 2024).

### **2.2.7.2. Peso de la cáscara**

El peso de la cáscara constituye un indicador relevante para evaluar la fortaleza estructural y la calidad de calcificación del huevo. Una cáscara más pesada suele asociarse con una mayor integridad física, lo cual es fundamental para minimizar pérdidas durante el transporte, almacenamiento y manipulación en los sistemas comerciales (Benavides-Reyes et al., 2021).

### **2.2.7.3. Grosor de la cáscara**

El grosor de la cáscara es un parámetro fundamental que refleja la salud mineral de la ponedora y determina en gran medida la resistencia del huevo a fracturas o agrietamientos. Este indicador tiene un impacto directo en la viabilidad comercial del producto, especialmente en lo que respecta a su manipulación, transporte y vida útil en condiciones de almacenamiento (Benavides-Reyes et al., 2021).

### **2.2.7.4. Peso de la yema**

El peso de la yema constituye un indicador clave de la calidad nutricional del huevo, ya que concentra la mayor proporción de lípidos, proteínas, vitaminas y minerales esenciales (Liu et al., 2025). Este parámetro puede variar de manera significativa en función de factores como la dieta, el estado fisiológico y la salud general de la ponedora.

Desde el punto de vista productivo y comercial, el peso de la yema es altamente valorado tanto por los consumidores como por la industria alimentaria, dado que influye directamente en el valor nutritivo y en las propiedades gastronómicas del huevo (Nemati et al., 2020)

#### **2.2.7.5. Peso de la clara**

El peso de la clara, en conjunto con su firmeza, constituye un criterio fundamental para evaluar la calidad y frescura del huevo. Una clara más pesada y consistente no solo refleja mejores condiciones fisiológicas de la gallina, sino que también aporta ventajas tecnológicas relevantes. Este parámetro es altamente valorado tanto en el consumo directo como en la industria alimentaria, ya que incide directamente en la textura, volumen y rendimiento de productos elaborados a base de huevo (Silversides y Budgell, 2004).

#### **2.2.7.6. Diámetro del huevo**

El diámetro del huevo corresponde a la medición transversal realizada en su punto más ancho, y constituye un parámetro esencial para la clasificación comercial de los huevos según su tamaño. Este criterio es ampliamente utilizado en sistemas de selección y empaque, ya que influye en la estandarización del producto, en la percepción del consumidor y en su valor comercial dentro del mercado avícola (Liu et al., 2024).

#### **2.2.7.7. Longitud del huevo**

La longitud del huevo se mide desde el polo superior hasta el polo inferior, y constituye un parámetro clave en la caracterización morfométrica del producto. Este valor, en conjunto con el diámetro, permite calcular el índice de forma del huevo, el cual es utilizado como criterio de calidad en los procesos de empaquetado, clasificación y

selección comercial. Un índice de forma adecuado facilita la estandarización y mejora la eficiencia en las líneas automatizadas de clasificación ( Liu et al., 2024).

#### **2.2.7.8. Diámetro de la yema**

El diámetro de la yema es un parámetro morfométrico clave para evaluar la calidad interna del huevo de codorniz, porque refleja el estado fisiológico de la ponedora y la eficiencia del aporte nutricional de la dieta durante la formación del huevo. Por ello, variaciones en el tamaño de la yema pueden interpretarse como cambios asociados al balance de nutrientes y a las condiciones de manejo. En este sentido, se ha reportado que la dieta influye directamente en la calidad del huevo y en características de la yema en codornices, respaldando el uso de estos indicadores morfométricos para evaluar nutrición y manejo (Utami y Akbar, 2025).

#### **2.2.7.9. Altura de la yema**

La altura de la yema se define como la distancia vertical desde su base hasta el punto más elevado de su superficie y se considera un indicador sensible de la calidad interna y de la frescura del huevo. Con el tiempo posterior a la postura ocurre migración de agua desde la albúmina hacia la yema, lo que reduce su firmeza y provoca su aplanamiento, disminuyendo su altura. Por ello, valores más altos de altura de yema se asocian con huevos más frescos y de mejor calidad para consumo y procesamiento, utilizándose este parámetro como una medida objetiva para evaluar el deterioro por almacenamiento y el efecto de factores productivos y nutricionales sobre la calidad del huevo (Kirunda y McKee, 2000).

#### **2.2.7.10. Altura de la clara**

La altura de la clara es uno de los principales indicadores de la calidad interna y frescura del huevo, ya que refleja la firmeza de la albúmina y su estabilidad estructural. Valores elevados de altura de clara se asocian con huevos recién puestos y de mayor calidad, mientras que durante el almacenamiento se produce una pérdida de viscosidad y firmeza de la albúmina, ocasionando una disminución progresiva de su altura. Este parámetro es ampliamente utilizado en evaluaciones científicas y comerciales para determinar la frescura del huevo y el efecto de factores nutricionales, genéticos y de manejo en aves de postura, incluyendo codornices (Tůmová y Ketta, 2021).

#### **2.2.7.11. Luminosidad ( $L^*$ )**

La luminosidad ( $L^*$ ) es un parámetro colorimétrico que expresa el grado de claridad de la yema y la albúmina, y se emplea como indicador objetivo de la calidad visual del huevo. Este valor puede variar según la frescura, el almacenamiento y la dieta, por lo que su medición permite evaluar el efecto de estrategias nutricionales, incluida la suplementación con curcumina, sobre la apariencia del huevo y su aceptación comercial en aves de postura como la codorniz (Marchiori et al., 2019).

#### **2.2.7.12. Enrojecimiento ( $a^*$ )**

El enrojecimiento ( $a^*$ ) es un parámetro del sistema de color CIELAB que cuantifica la presencia de tonalidades rojas o verdes en la yema de huevo. Valores positivos de ( $a^*$ ) indican una mayor intensidad rojiza, mientras que los negativos reflejan tonalidades verdes. Un mayor valor de  $a^*$  se asocia con yemas más intensamente coloreadas, lo cual puede ser percibido como un atributo de calidad superior en ciertos mercados, donde se valora el color rojizo por su aparente vínculo con una mejor nutrición

o sabor. Este indicador es esencial en los procesos de control de calidad, ya que garantiza la uniformidad visual del producto y la satisfacción del consumidor (Zhang et al., 2024).

#### **2.2.7.13. Amarillez (b\*)**

La amarillez (b\*) es un componente del sistema de color CIELAB que mide la intensidad del tono amarillo presente en la yema de huevo. Este valor está directamente relacionado con la dieta de la gallina, en particular con el consumo de pigmentos naturales como los carotenoides. Una mayor puntuación en el parámetro b\* indica una yema más amarilla, la cual suele ser percibida como un signo de mayor valor nutricional, especialmente en mercados que asocian el color intenso con altos niveles de vitaminas y antioxidantes. Por tanto, la amarillez se ha convertido en un criterio relevante dentro del control de calidad y la preferencia del consumidor (Zhang et al., 2024).

#### **2.2.7.14. Unidades Haugh**

Las unidades Haugh constituyen uno de los indicadores más confiables para evaluar la calidad interna del huevo, especialmente en lo que respecta a la albúmina. Este parámetro, propuesto por Raymond R. Haugh en 1937, relaciona la altura de la clara con el peso del huevo mediante una fórmula logarítmica, proporcionando un valor objetivo que refleja la frescura del producto. En general, valores más altos de unidades Haugh indican una mejor calidad del huevo, por lo que este método es ampliamente utilizado en laboratorios, centros de clasificación y estudios científicos (Kirunda y McKee, 2000).

## CAPÍTULO III

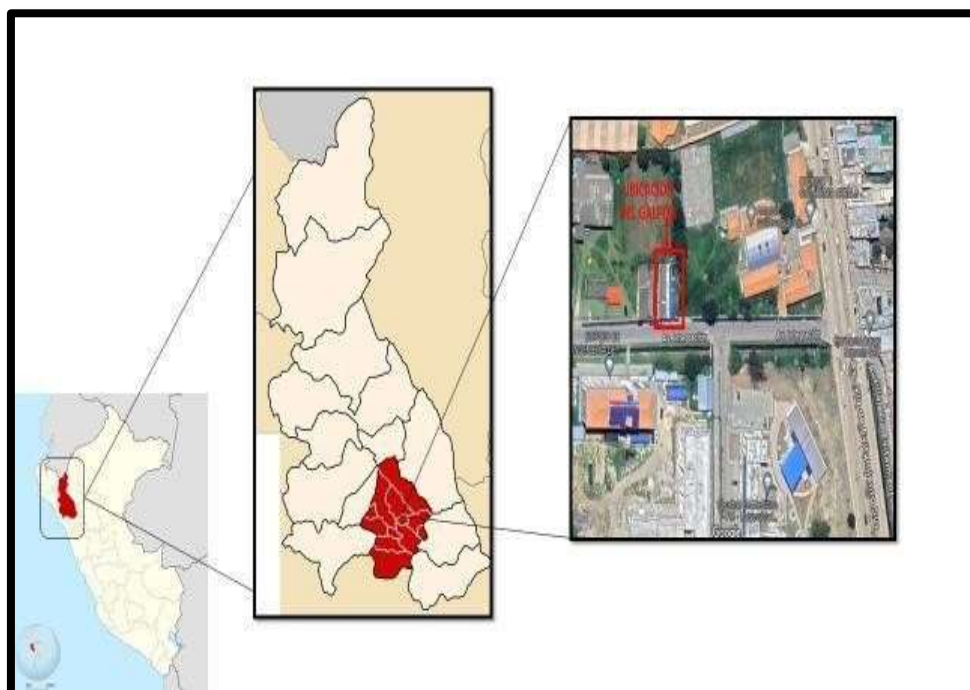
### DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

#### 3.1. Hipótesis

La suplementación con curcumina en la dieta mejora el desempeño productivo y la calidad del huevo en codornices japonesas en etapa de postura.

#### 3.2. Localización

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la granja avícola de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Pecuarias de la Universidad Nacional de Cajamarca (Figura 2). La evaluación de las características de calidad del huevo se realizó en el Laboratorio de Evaluación de Productos Pecuarios de la misma Universidad.



**Figura 2.** Ubicación de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Pecuarias de la Universidad Nacional de Cajamarca. (Elaboración a partir de Google Earth Pro y Google Maps)

### **3.3. Diseño de investigación**

La presente investigación fue de tipo experimental, porque se evaluó el efecto de diferentes niveles de curcumina añadidos a la dieta de codornices japonesas, manteniendo constantes las demás condiciones de manejo. De esta manera, fue posible comparar la respuesta de las aves frente a cada tratamiento y contrastarla con un grupo control.

El estudio tuvo un nivel explicativo, ya que estuvo orientado a determinar la influencia de la curcumina sobre el desempeño productivo y la calidad del huevo, buscando identificar posibles cambios en variables como el porcentaje de postura, el peso del huevo, el consumo de alimento y la mortalidad. Además, permitió establecer cuál de los niveles de suplementación produjo la respuesta más favorable en las codornices evaluadas.

Finalmente, fue de corte longitudinal porque la información se recolectó en distintos momentos del periodo experimental. Las variables productivas se registraron semanalmente durante 16 semanas, mientras que la calidad del huevo se evaluó a los 30 y 60 días, lo que permitió analizar la evolución de las variables en el tiempo.

### **3.4. Población, muestra y unidad de análisis**

#### **3.4.1. Población**

La población estuvo constituida por 6000 codornices japonesas (*Coturnix japonica*) alojadas en la empresa Ugaval S.R.L. de la ciudad de Lima.

#### **Criterios de inclusión**

Codornices de 30 días de edad.

Codornices hembras.

### **Criterios de exclusión**

Codornices machos

Aves con signos clínicos de enfermedad o malformaciones.

Aves que no correspondieron a la edad de 30 días al momento de su selección.

### **3.4.2. Muestra**

En el presente estudio se utilizó 450 codornices japonesas (*Coturnix japonica*) hembras, de 30 días de edad y con un peso promedio de 110 a 130 g por ave, procedentes de la empresa Ugaval S.R.L. de la ciudad de Lima. El estudio se realizó bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), conformado por cinco tratamientos, cada uno con seis repeticiones y 15 aves por unidad experimental, en total, se evaluaron 90 codornices por tratamiento.

Los tratamientos fueron distribuidos de la siguiente manera:

T<sub>0</sub>: grupo testigo de 90 codornices: dieta basal sin curcumina.

T<sub>1</sub>: grupo de 90 codornices: dieta basal con 100 mg/kg de curcumina.

T<sub>2</sub>: grupo de 90 codornices: dieta basal con 200 mg/kg de curcumina.

T<sub>3</sub>: grupo de 90 codornices: dieta basal con 300 mg/kg de curcumina.

T<sub>4</sub>: grupo de 90 codornices: dieta basal con 400 mg/kg de curcumina.

La información de las dietas se muestra en Anexos.

### **3.4.3. Unidad de análisis**

Codorniz (*Coturnix japonica*)

### **3.5. Determinación del desempeño productivo.**

El desempeño productivo del estudio se realizó en las instalaciones de la granja avícola de la Universidad Nacional de Cajamarca. Para ello, se consideraron parámetros

productivos como el porcentaje de postura, peso del huevo, consumo de alimento y mortalidad, por ser indicadores que reflejan de manera directa la respuesta productiva de las codornices frente a los tratamientos evaluados (Leeson y Summers, 2005; Tůmová y Ketta, 2021).

En el presente trabajo de investigación se evaluaron los siguientes parámetros.

### **3.5.1. Porcentaje de postura semanal (%)**

El porcentaje de postura semanal se determinó a partir del registro diario de la producción de huevos por jaula, de acuerdo con el formato de control de producción. Posteriormente, de manera semanal, se calculó el porcentaje de postura promedio considerando el número de huevos obtenidos por las codornices de cada jaula y el número de aves vivas por unidad experimental (Anexo 6). Para ello, se empleó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Postura} = (\text{Número de huevos producidos} / \text{Número de aves en jaula}) \times 100$$

### **3.5.2. Peso promedio del huevo semanal (g)**

El peso promedio del huevo semanal se determinó mediante la recolección de los huevos en horario de la mañana, dos veces por semana. Posteriormente, los huevos producidos en todas las jaulas fueron pesados con una balanza de precisión, y con estos datos se calculó el promedio semanal en función del peso total obtenido y del número de huevos recolectados. La fórmula empleada fue la siguiente:

$$\text{Peso promedio del huevo (g)} = \text{Peso total de huevos por semana} / \text{Número de huevos por semana}$$

### **3.5.3. Consumo de alimento (g/ave/día)**

El consumo de alimento se registró diariamente. Para su determinación, se pesó la cantidad de alimento ofrecido y el desperdicio generado, con el propósito de estimar el consumo real por ave y por día. Posteriormente, este valor se relacionó con el número de codornices de cada unidad experimental. La expresión utilizada fue la siguiente:

$$\text{Consumo de alimento (g/ave/día)} = \text{Consumo total de alimento (g)} / \text{Número de codornices}$$

### **3.5.4. Porcentaje de mortalidad (%)**

El porcentaje de mortalidad se determinó a partir del registro diario del número de aves muertas por jaula y por tratamiento. Con esta información, se calculó el porcentaje correspondiente en relación con el total de animales evaluados. Para ello, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Mortalidad} = (\text{Número de aves muertas} / \text{Total de animales}) \times 100$$

### **3.6. Determinación de la calidad del huevo**

Los huevos recolectados fueron trasladados desde la granja avícola hasta el Laboratorio de Evaluación de Productos Pecuarios (LEPP) de la Universidad Nacional de Cajamarca. Para evaluar la calidad del huevo, se seleccionó aleatoriamente un huevo por repetición, totalizando seis huevos por tratamiento en cada momento de evaluación (días 30 y 60).

La evaluación de los componentes del huevo se realizó siguiendo metodologías estándar empleadas en estudios de calidad interna y externa en aves de postura, utilizando

balanza de precisión para el peso del huevo y de sus componentes, micrómetro digital para el grosor de la cáscara y separación manual de yema y clara para su cuantificación individual (Tůmová y Ketta, 2021).

Las variables analizadas se detallan a continuación:

**3.6.1. Peso del huevo (g):** Se pesó con una balanza de precisión ( $\pm 0.01$  g) inmediatamente después de su recolección.

**3.6.2. Peso de la cáscara (g):** Luego de separar cuidadosamente los componentes del huevo, la cáscara fue secada a temperatura ambiente para eliminar la humedad superficial y posteriormente pesada con balanza de precisión.

**3.6.3. Grosor de la cáscara (mm):** Se determinó en la zona ecuatorial utilizando un micrómetro digital con precisión de 0.001 mm.

**3.6.4. Peso de la yema (g):** La yema fue separada por completo de la clara y pesada individualmente en la balanza de precisión.

**3.6.5. Peso de la clara (g):** Se obtuvo por diferencia entre el peso total del huevo y la suma de la cáscara y la yema.

**3.6.6. Diámetro del huevo (mm):** Se midió el diámetro máximo de cada huevo utilizando un calibrador digital de precisión ( $\pm 0.01$  mm), siguiendo el protocolo establecido por Yuan et al. (2022). Las mediciones se realizaron en el eje transversal del huevo, registrándose los datos por repetición para cada tratamiento.

**3.6.7. Longitud del huevo (mm):** Se determinó desde el polo superior hasta el inferior del huevo con el mismo calibrador.

**3.6.8. Diámetro de la yema (mm):** Se midió el diámetro mayor de la yema utilizando calibrador digital.

**3.6.9. Altura de la yema (mm):** Se midió desde la base hasta el punto más alto de la yema utilizando micrómetro.

**3.6.10. Colorimetría de la yema:** La evaluación del color de la yema se realizó mediante un colorímetro Konica Minolta, que permitió obtener los valores de:

**Luminosidad (L\*):** Nivel de claridad u oscuridad de la yema

**Enrojecimiento (a\*):** Intensidad del color rojo

**Amarillez (b\*):** Intensidad del color amarillo

**3.6.11. Unidades Haugh:** Se calcularon mediante la fórmula propuesta por Haugh (1937), que relaciona la altura de la clara con el peso del huevo. Este índice se emplea ampliamente para evaluar la calidad interna del huevo. La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$UH = 100 \times \log_{10}(h - 1.7 \times W^{0.37} + 7.6)$$

Donde: h = altura de la clara (mm) y W = peso del huevo (g).

### 3.7. Manejo experimental

#### 3.7.1. Preparación de las instalaciones

Seis días antes de la llegada de las aves se realizó la limpieza y desinfección del galpón, empleando una solución preparada con agua, vanodine y lejía. Posteriormente, cuatro días antes del inicio del experimento, se armaron las baterías, cada una conformada por seis jaulas, y se instaló el sistema de abastecimiento de agua para los bebederos automáticos. Para el almacenamiento del agua se utilizaron baldes con capacidad de 20 litros.

Un día antes de la recepción de las codornices, se verificaron las condiciones ambientales del galpón, especialmente la temperatura y la ventilación, procurando evitar

corrientes directas de aire mediante el uso de cortinas. Asimismo, se identificaron las jaulas de acuerdo con los tratamientos establecidos en el estudio.

### **3.7.2. Distribución de las aves y tratamientos**

Al momento de la recepción, las codornices fueron pesadas y alojadas aleatoriamente en 30 jaulas metálicas de 40 × 20 × 60 cm, previamente identificadas y distribuidas en baterías de seis pisos. Esta distribución al azar permitió una asignación homogénea de las aves entre los tratamientos experimentales, reduciendo posibles sesgos durante la evaluación de la respuesta productiva.

### **3.7.3. Alimentación y suministro de agua**

El suministro de alimento y agua se realizó dos veces al día. El 50 % de la ración diaria se ofreció a las 7:00 a. m. y el 50 % restante a las 5:00 p. m., con la finalidad de reducir el desperdicio de alimento. La cantidad suministrada diariamente fue pesada previamente con una balanza de precisión, lo que permitió registrar información confiable para el cálculo del consumo de alimento. El agua se proporcionó ad libitum durante todo el periodo experimental.

### **3.8. Diseño estadístico.**

El análisis estadístico se realizó considerando la estructura longitudinal de las variables productivas registradas semanalmente. Para el porcentaje de postura, peso del huevo y consumo de alimento se emplearon modelos lineales mixtos, incluyendo como efectos fijos el tratamiento, la semana y su interacción, considerando la repetición (jaula) como efecto aleatorio. La significancia de los efectos se evaluó mediante análisis de varianza tipo III con aproximación de Satterthwaite para los grados de libertad. Cuando se detectaron diferencias significativas, las comparaciones múltiples de medias se realizaron mediante medias

marginales estimadas (emmeans) con ajuste de Bonferroni (Lohse et al., 2023; Bates et al., 2015; Kuznetsova et al., 2017).

Para las variables de calidad del huevo evaluadas a los 30 y 60 días, se aplicaron modelos lineales mixtos con los efectos fijos de tratamiento, momento de evaluación y su interacción, considerando la repetición como efecto aleatorio. En los casos en que no se cumplieron los supuestos paramétricos, se recurrió a pruebas no paramétricas complementarias, especificando la prueba utilizada en cada caso. El nivel de significancia adoptado fue de 5 % ( $p < 0.05$ ) (Lohse et al., 2023; Kuznetsova et al., 2017).

### **3.9. Aprobación ética**

La investigación fue desarrollada con estricto cumplimiento de los principios éticos para el estudio en animales de experimentación, garantizando el bienestar, el manejo humanitario y la reducción del sufrimiento de los animales. El protocolo utilizado fue revisado y aprobado por docentes de investigación de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, considerando las recomendaciones de la Guía para el cuidado y uso de animales de laboratorio (National Research Council, 2011) y las normas internacionales sobre el bienestar animal establecidos por la World Organisation for Animal Health (WOAH, 2021). En concordancia con el principio de las 3R (Reemplazo, Reducción y Refinamiento), el estudio priorizó procedimientos no invasivos o mínimamente invasivos, centrados en el registro de variables productivas y en la evaluación de la calidad del huevo, evitando intervenciones innecesarias que comprometieran el bienestar de las codornices. Además, se aplicaron medidas de manejo, alimentación, alojamiento y recolección orientadas a minimizar el dolor y el estrés durante toda la ejecución del experimento (Azkona, 2023).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Porcentaje de postura semanal (%)

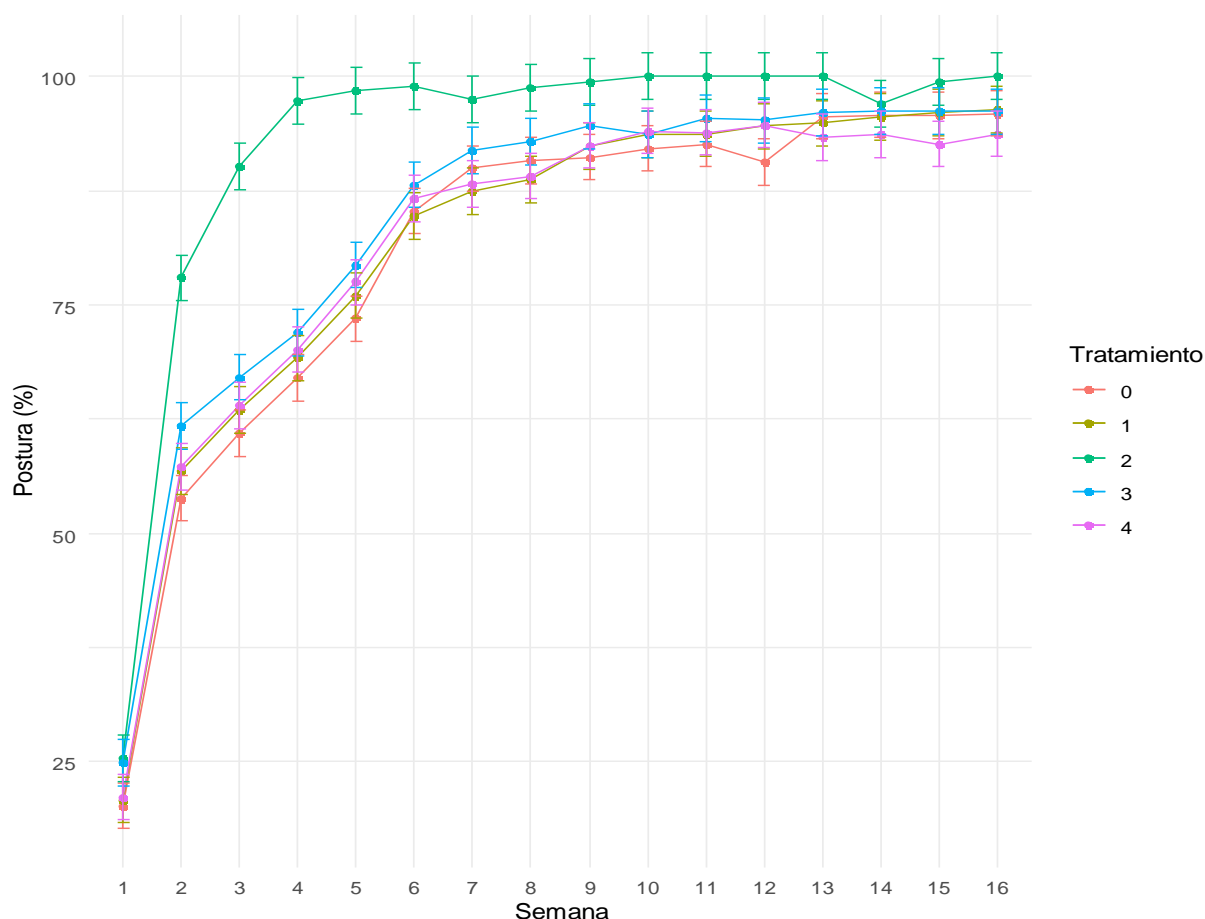
Durante el periodo experimental se registró semanalmente el porcentaje de postura de codornices japonesas suplementadas con diferentes niveles de curcumina. El porcentaje de postura mostró diferencias claras entre los tratamientos, entre semanas y en la interacción tratamiento por semana ( $p < 0.001$ ) (Tabla 3). El grupo control ( $T_0$ , sin aditivo) alcanzó un promedio de  $80.68 \pm 2.11\%$ , mientras que los grupos suplementados con curcumina presentaron incrementos variables.  $T_1$  (100 mg/kg) con un promedio de  $81.51 \pm 2.06\%$ , no varió significativamente con respecto al control.  $T_2$  (200 mg/kg) presentó el mayor rendimiento promedio ( $92.50 \pm 1.87\%$ ), alcanzando 100% de postura entre las semanas 10 a 13.  $T_3$  (300 mg/kg) también mostró un rendimiento mayor que  $T_0$  y  $T_1$  ( $83.82 \pm 1.95\%$ ) aunque fueron estadísticamente semejantes; de manera similar ocurrió con  $T_4$  (400 mg/kg) con un rendimiento promedio de  $81.39 \pm 2.01\%$ , sugiriendo una posible disminución de la eficiencia de suplementación con dosis más altas.

**Tabla 3: Porcentaje (%) de postura semanal en codornices japonesas (*Coturnix japonica*) suplementadas con diferentes niveles de curcumina**

Semanas	T <sub>0</sub> (control)	T <sub>1</sub> (100 mg/kg)	T <sub>2</sub> (200 mg/kg)	T <sub>3</sub> (300 mg/kg)	T <sub>4</sub> (400 mg/kg)
S1	20.2 (17.6-22.7) <sup>b</sup>	20.8 (18.3-23.3) <sup>ab</sup>	25.4 (22.9-27.9) <sup>a</sup>	24.9 (22.4-27.4) <sup>ab</sup>	21.1 (18.6-23.6) <sup>ab</sup>
S2	53.8 (51.3-56.3) <sup>c</sup>	56.8 (54.3-59.3) <sup>bc</sup>	77.9 (75.4-80.5) <sup>a</sup>	61.7 (59.2-64.3) <sup>b</sup>	57.3 (54.8-59.8) <sup>bc</sup>
S3	60.95 (58.4-63.5) <sup>c</sup>	63.5 (61.0-66.0) <sup>bc</sup>	90.2 (87.6-92.7) <sup>a</sup>	67.1 (64.5-69.6) <sup>b</sup>	64.0 (61.5-66.5) <sup>bc</sup>
S4	67.0 (64.5-69.5) <sup>c</sup>	69.2 (66.7-71.7) <sup>bc</sup>	97.3 (94.8-99.8) <sup>a</sup>	72.0 (69.4-74.5) <sup>b</sup>	70.1 (67.6-72.6) <sup>bc</sup>
S5	73.5 (71.0-76.0) <sup>c</sup>	76.0 (73.5-78.5) <sup>bc</sup>	98.4 (95.9-100.9) <sup>a</sup>	79.3 (76.8-81.8) <sup>b</sup>	77.46 (74.9-80.0) <sup>bc</sup>
S6	85.26 (82.7-87.8) <sup>b</sup>	84.7 (82.2-87.3) <sup>b</sup>	98.9 (96.4-101.4) <sup>a</sup>	88.1 (85.6-90.6) <sup>b</sup>	86.6 (84.1-89.1) <sup>b</sup>
S7	89.9 (87.4-92.4) <sup>b</sup>	87.4 (84.9-90.0) <sup>b</sup>	97.5 (94.9-100.0) <sup>a</sup>	91.9 (89.4-94.4) <sup>b</sup>	88.2 (85.7-90.7) <sup>b</sup>
S8	90.7 (88.2-93.3) <sup>b</sup>	88.7 (86.2-91.2) <sup>b</sup>	98.7 (96.2-101.2) <sup>a</sup>	92.8 (90.3-95.4) <sup>b</sup>	89.1 (86.6-91.6) <sup>b</sup>
S9	91.1 (88.6-93.7) <sup>b</sup>	92.4 (89.9-94.9) <sup>b</sup>	99.4 (96.8-101.9) <sup>a</sup>	94.6 (92.0-97.1) <sup>ab</sup>	92.4 (89.9-94.9) <sup>b</sup>
S10	92.1 (89.6-94.6) <sup>b</sup>	93.67 (91.2-96.2) <sup>b</sup>	100.0 (97.5-102.5) <sup>a</sup>	93.6 (91.1-96.1) <sup>b</sup>	94.0 (91.5-96.5) <sup>b</sup>
S11	92.6 (90.1-95.1) <sup>b</sup>	93.7 (91.2-96.2) <sup>b</sup>	100.0 (97.5-102.5) <sup>a</sup>	95.4 (92.8-97.9) <sup>ab</sup>	93.9 (91.4-96.4) <sup>b</sup>
S12	90.6 (88.1-93.2) <sup>b</sup>	94.5 (92.0-97.0) <sup>b</sup>	100.0 (97.5-102.5) <sup>a</sup>	95.2 (92.7-97.7) <sup>ab</sup>	94.6 (92.1-97.2) <sup>b</sup>
S13	95.6 (93.1-98.2) <sup>ab</sup>	94.9 (92.4-97.4) <sup>b</sup>	100.0 (97.5-102.5) <sup>a</sup>	96.0 (93.5-98.5) <sup>ab</sup>	93.4 (90.9-95.9) <sup>b</sup>
S14	95.8 (93.3-98.3) <sup>a</sup>	95.5 (93.0-98.0) <sup>a</sup>	97.0 (94.5-99.5) <sup>a</sup>	96.2 (93.7-98.7) <sup>a</sup>	93.7 (91.2-96.2) <sup>a</sup>
S15	95.8 (93.2-98.3) <sup>ab</sup>	96.0 (93.5-98.5) <sup>ab</sup>	99.4 (96.8-101.9) <sup>a</sup>	96.2 (93.7-98.7) <sup>ab</sup>	92.6 (90.1-95.1) <sup>b</sup>
S16	95.9 (93.4-98.4) <sup>ab</sup>	96.3 (93.8-98.8) <sup>ab</sup>	100.0 (97.5-102.5) <sup>a</sup>	96.2 (93.6-98.7) <sup>ab</sup>	93.7 (91.2-96.2) <sup>b</sup>
<b>Promedio</b>	<b>80.7</b> (79.6 – 81.8) <sup>c</sup>	<b>81.5</b> (80.4 – 82.6) <sup>c</sup>	<b>92.5</b> (91.4 – 93.6) <sup>a</sup>	<b>83.8</b> (82.7 – 84.9) <sup>b</sup>	<b>81.4</b> (80.3 – 82.5) <sup>c</sup>

Se muestra la media ajustada y los intervalos de confianza 95% entre paréntesis. Letras diferentes en superíndice <sup>(a,b,c)</sup> en filas indican efecto significativo al nivel  $p < 0.001$  mediante la prueba de Bonferroni.

Con relación a la evolución semanal, el incremento en la postura fue progresivo en todos los tratamientos, con estabilización alrededor de las semanas 6 a 7. El tratamiento T<sub>2</sub> mantuvo los porcentajes de postura cercanos o iguales al 100 % entre las semanas 10 y 13, evidenciando un efecto óptimo en esa dosis. En cambio, dosis más altas (T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>) no mostraron un efecto adicional, e incluso tendieron a igualar al rendimiento del grupo control (Figura 3).



**Figura 3.** Evolución del porcentaje de postura semanal de huevos de codornices suplementadas con diferentes niveles de curcumina. El grupo T<sub>0</sub>: control; T<sub>1</sub>: 100 mg/kg; T<sub>2</sub>: 200 mg/kg; T<sub>3</sub>: 300 mg/kg; T<sub>4</sub>: 400 mg/kg.

Los resultados obtenidos evidencian que la suplementación con 200 mg/kg de curcumina constituyó el nivel que mostró la respuesta más favorable en las condiciones del presente estudio, con una mejora aproximada de 14,7 % en comparación con el grupo control. Por el contrario, las

dosis superiores no mostraron una respuesta productiva adicional. Este resultado coincide con Liu et al. (2024), quienes reportaron que 200 mg/kg de curcumina mejoraron parámetros productivos y de calidad del huevo en codornices ponedoras. En la misma línea, Li et al. (2024) encontraron efectos favorables de la curcumina sobre la calidad del huevo en gallinas ponedoras, mientras que Fouad, El-Senousey y Ruan (2025) documentaron mejoras en la estabilidad oxidativa del huevo en codornices suplementadas con cúrcuma.

Asimismo, Prado (2016) describió efectos positivos del extracto de palillo sobre variables productivas en codornices japonesas. En consecuencia, los hallazgos del presente estudio sugieren que la curcumina puede contribuir a mejorar la postura cuando se administra en niveles intermedios, aunque se requieren evaluaciones complementarias para esclarecer los mecanismos involucrados.

El rendimiento de postura obtenido en este experimento confirma que la suplementación con 200 mg/kg de curcumina constituye el nivel óptimo para maximizar la producción de huevos en codornices, alcanzando valores superiores al 92 %. Este resultado concuerda con lo reportado en estudios recientes, donde la adición de fitoaditivos como cúrcuma, canela o extractos vegetales en dietas aviares se asocia con una mejora significativa en la postura y calidad de los huevos (Liu et al., 2024).

La respuesta positiva observada en niveles intermedios sugiere la existencia de un rango fisiológico óptimo para la utilización de la curcumina, ya que dosis excesivas podrían limitar su aprovechamiento metabólico y reducir la eficiencia productiva. En conjunto, estos resultados evidencian que la suplementación con 200 mg/kg de curcumina generó la mejor respuesta productiva, logrando un incremento notable en la postura semanal. Las dosis superiores no mejoraron este rendimiento, lo que sugiere que el efecto de la curcumina sigue un patrón de respuesta más favorable en niveles intermedios, en el cual cantidades mayores no aportan

beneficios adicionales e incluso pueden limitar su aprovechamiento (Gadde et al., 2017; Liu et al., 2024).

Los incrementos observados en el porcentaje de postura podrían estar asociados a la capacidad antioxidante de la curcumina, la cual contribuye a disminuir el estrés oxidativo y optimizar los procesos metabólicos involucrados en la producción de huevos. Este comportamiento ha sido descrito en investigaciones previas donde el uso de fitoaditivos naturales favoreció la estabilidad fisiológica y el rendimiento productivo en aves de postura (Shang et al., 2020; Surai, 2020).

De manera similar, diversos estudios con aditivos fitogénicos han evidenciado efectos positivos sobre la productividad y la calidad del huevo en aves de postura. La suplementación con compuestos de origen vegetal ricos en antioxidantes ha demostrado mejorar el metabolismo reproductivo, la eficiencia en la utilización de nutrientes y la estabilidad de los componentes del huevo. En este sentido, investigaciones recientes señalan que la inclusión de curcumina en la dieta de codornices y gallinas ponedoras favorece el rendimiento de postura y la calidad del huevo, confirmando el papel modulador de los fitoaditivos sobre los procesos metabólicos y reproductivos en aves (Fouad et al., 2025).

En contraste, las dosis más altas de curcumina evaluadas en este experimento (300–400 mg/kg) no generaron beneficios adicionales sobre el rendimiento de postura, e incluso el tratamiento con 400 mg/kg presentó un comportamiento similar al del grupo control. Este resultado sugiere que la respuesta productiva fue más favorable en una dosis intermedia que en niveles superiores de suplementación. Esta observación es consistente con lo señalado por Kaewhom et al. (2026), quienes señalaron que las dosis moderadas de extractos vegetales maximizan el rendimiento y la rentabilidad, mientras que niveles superiores no necesariamente producen mejoras proporcionales.

Asimismo, la literatura señala que la inclusión de fitoaditivos en la dieta de las aves puede contribuir al mejoramiento del microbiota intestinal, la digestibilidad de los nutrientes y la eficiencia metabólica, aspectos que, en conjunto, favorecen el rendimiento productivo. En esa línea, Zhang et al. (2024) informaron que la curcumina ejerce efectos moduladores sobre la respuesta inmune y los procesos inflamatorios subclínicos, lo que contribuiría a mantener una mayor estabilidad fisiológica durante la fase de producción. Bajo esta perspectiva, es posible que dichos efectos estén vinculados con el mejor desempeño registrado en el tratamiento T<sub>2</sub>, el cual presentó porcentajes de postura cercanos al 100 % durante varias semanas del periodo experimental.

Por lo tanto, los resultados del presente estudio permiten señalar que la suplementación con curcumina influyó en el rendimiento de postura de las codornices japonesas evaluadas. El tratamiento con 200 mg/kg mostró el comportamiento más favorable, mientras que las concentraciones superiores no evidenciaron un incremento adicional en la productividad. Este resultado guarda concordancia con lo reportado por Liu et al. (2024) quienes también observaron efectos favorables de la curcumina en codornices ponedoras, particularmente en niveles moderados de suplementación. En ese sentido, los hallazgos sugieren que, bajo las condiciones experimentales del estudio, la mejor respuesta productiva se observó en una dosis intermedia.

#### **4.2. Peso promedio del huevo por semana.**

En la Tabla 4 se presentan los valores de peso promedio de los huevos obtenidos en los diferentes tratamientos a lo largo de 16 semanas.

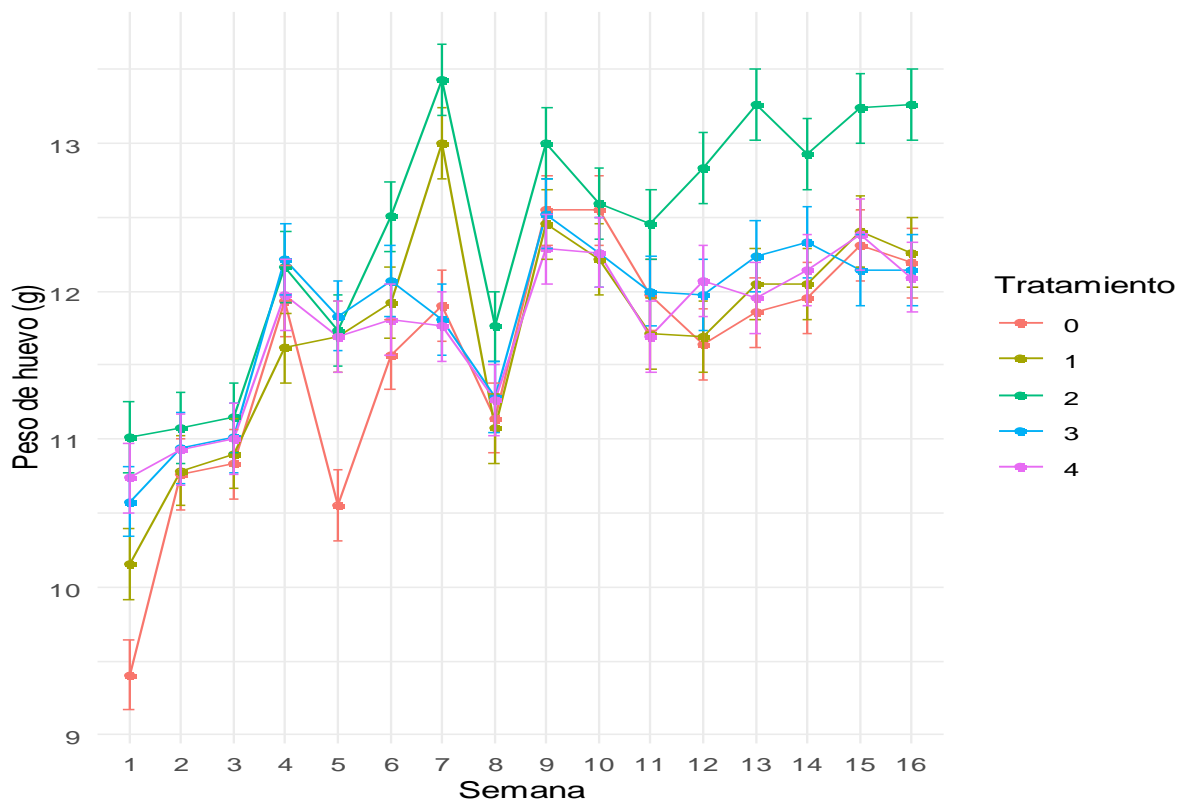
**Tabla 4. Peso promedio semanal del huevo (g) en codornices japonesas suplementadas con diferentes niveles de curcumina**

Semanas	T <sub>0</sub> (control)	T <sub>1</sub> (100 mg/kg)	T <sub>2</sub> (200 mg/kg)	T <sub>3</sub> (300 mg/kg)	T <sub>4</sub> (400 mg/kg)
S1	9.41 (9.17-9.64) <sup>c</sup>	10.16 (9.92-10.39) <sup>b</sup>	11.01 (10.78-11.25) <sup>a</sup>	10.58 (10.34-10.82) <sup>ab</sup>	10.74 (10.50-10.98) <sup>a</sup>
S2	10.76 (10.52-11.00) <sup>a</sup>	10.79 (10.55-11.03) <sup>a</sup>	11.08 (10.84-11.31) <sup>a</sup>	10.94 (10.70-11.18) <sup>a</sup>	10.93 (10.69-11.17) <sup>a</sup>
S3	10.83 (10.59-11.07) <sup>a</sup>	10.90 (10.66-11.14) <sup>a</sup>	11.14 (10.91-11.38) <sup>a</sup>	11.01 (10.77-11.25) <sup>a</sup>	11.00 (10.76-11.24) <sup>a</sup>
S4	11.94 (11.70-12.17) <sup>ab</sup>	11.62 (11.38-11.85) <sup>b</sup>	12.17 (11.93-12.41) <sup>a</sup>	12.22 (11.98-12.45) <sup>a</sup>	11.98 (11.74-12.21) <sup>ab</sup>
S5	10.55 (10.31-10.79) <sup>b</sup>	11.69 (11.45-11.93) <sup>a</sup>	11.74 (11.50-11.98) <sup>a</sup>	11.83 (11.59-12.07) <sup>a</sup>	11.69 (11.45-11.93) <sup>a</sup>
S6	11.57 (11.33-11.81) <sup>c</sup>	11.92 (11.68-12.16) <sup>b</sup>	12.51 (12.27-12.74) <sup>a</sup>	12.07 (11.83-12.31) <sup>ab</sup>	11.81 (11.57-12.05) <sup>b</sup>
S7	11.90 (11.67-12.14) <sup>b</sup>	13.00 (12.76-13.24) <sup>a</sup>	13.43 (13.19-13.67) <sup>a</sup>	11.81 (11.57-12.05) <sup>b</sup>	11.76 (11.52-12.0) <sup>b</sup>
S8	11.14 (10.90-11.38) <sup>b</sup>	11.07 (10.83-11.31) <sup>b</sup>	11.76 (11.52-12.00) <sup>a</sup>	11.29 (11.05-11.52) <sup>b</sup>	11.26 (11.02-11.50) <sup>b</sup>
S9	12.55 (12.31-12.79) <sup>ab</sup>	12.45 (12.21-12.69) <sup>b</sup>	13.00 (12.76-13.24) <sup>a</sup>	12.52 (12.29-12.76) <sup>ab</sup>	12.29 (12.05-12.52) <sup>b</sup>
S10	12.55 (12.31-12.79) <sup>a</sup>	12.22 (11.98-12.45) <sup>a</sup>	12.60 (12.36-12.83) <sup>a</sup>	12.26 (12.02-12.50) <sup>a</sup>	12.26 (12.02-12.50) <sup>a</sup>
S11	11.98 (11.74-12.21) <sup>ab</sup>	11.71 (11.48-11.95) <sup>b</sup>	12.45 (12.21-12.69) <sup>a</sup>	12.00 (11.76-12.24) <sup>ab</sup>	11.69 (11.45-11.93) <sup>b</sup>
S12	11.64 (11.40-11.88) <sup>b</sup>	11.69 (11.45-11.93) <sup>b</sup>	12.83 (12.59-13.07) <sup>a</sup>	11.98 (11.74-12.21) <sup>b</sup>	12.07 (11.83-12.31) <sup>b</sup>
S13	11.86 (11.62-12.10) <sup>b</sup>	12.05 (11.81-12.29) <sup>b</sup>	13.26 (13.02-13.50) <sup>a</sup>	12.24 (12.00-12.48) <sup>b</sup>	11.95 (11.71-12.19) <sup>b</sup>
S14	11.96 (11.71-12.19) <sup>b</sup>	12.05 (11.81-12.29) <sup>b</sup>	12.93 (12.69-13.17) <sup>a</sup>	12.34 (12.09-12.57) <sup>b</sup>	12.15 (11.90-12.38) <sup>b</sup>
S15	12.31 (12.07-12.55) <sup>b</sup>	12.41 (12.17-12.64) <sup>b</sup>	13.24 (13.00-13.48) <sup>a</sup>	12.14 (11.90-12.38) <sup>b</sup>	12.38 (12.14-12.62) <sup>b</sup>
S16	12.19 (11.95-12.43) <sup>b</sup>	12.26 (12.02-12.50) <sup>b</sup>	13.26 (13.02-13.50) <sup>a</sup>	12.14 (11.90-12.38) <sup>b</sup>	12.09 (11.86-12.33) <sup>b</sup>
<b>Promedio</b>	<b>11.6</b> <b>(11.5-11.7)<sup>c</sup></b>	<b>11.7</b> <b>(11.7-11.8)<sup>b</sup></b>	<b>12.4</b> <b>(12.3-12.5)<sup>a</sup></b>	<b>11.8</b> <b>(11.8-11.9)<sup>b</sup></b>	<b>11.8</b> <b>(11.7-11.8)<sup>b</sup></b>

Se muestra la media ajustada y los intervalos de confianza 95% entre paréntesis. Letras diferentes en superíndice (<sup>a,b,c</sup>) en filas indican diferencias significativas al nivel  $p < 0.001$  mediante la prueba de Bonferroni.

El peso promedio más alto se registró en el tratamiento T<sub>2</sub> (200 mg/kg) con  $12.40 \pm 0.09$  g ( $p < 0.001$ ), seguido de T<sub>3</sub> ( $11.83 \pm 0.06$  g), T<sub>4</sub> ( $11.75 \pm 0.05$  g), T<sub>1</sub> ( $11.75 \pm 0.08$  g) y el control T<sub>0</sub> ( $11.57 \pm 0.09$  g), que fueron similares estadísticamente. Este resultado confirma que la suplementación con curcumina en niveles de 200 mg/kg favorece no solo el rendimiento de postura, sino también el peso de los huevos, lo cual es un indicador clave de la calidad del producto en avicultura comercial.

La evolución semanal del peso de huevo muestra una tendencia relativamente irregular en todos los tratamientos (Figura 4). Sin embargo, en todos los tratamientos se encontró un efecto significativo de las semanas del experimento sobre el peso del huevo ( $p < 0.001$ ); además, se observaron mayores pesos de huevo en el grupo T<sub>2</sub> (200 mg/kg) a partir de la semana 6 con respecto a los otros tratamientos y el control.



**Figura 4.** Evolución del peso de huevo semanal de codornices suplementadas con niveles de curcumina. Se muestran promedios y error estándar. T<sub>0</sub>: control, T<sub>1</sub>: 100 mg/kg, T<sub>2</sub>: 200 mg/kg, T<sub>3</sub>:300 mg/kg, T<sub>4</sub>: 400 mg/kg.

El incremento en el peso de huevo observado en el tratamiento T<sub>2</sub> permite suponer que la curcumina, suministrada en una concentración intermedia, pudo generar un entorno metabólico más favorable para la formación del huevo. Esta respuesta podría estar vinculada con su acción antioxidante y con su capacidad para modular procesos metabólicos relacionados con el aprovechamiento de nutrientes esenciales. Esta interpretación resulta coherente con lo reportado por Coronado-Ibarra (2023), quien indicó que la incorporación de fitobióticos y antioxidantes naturales en la dieta de aves puede contribuir al mejoramiento del peso y de la calidad del huevo, particularmente cuando se utilizan niveles apropiados de inclusión.

En concordancia con los resultados del presente estudio, Shang et al. (2020) señalaron que la suplementación con curcumina y otros compuestos bioactivos en aves reproductoras puede favorecer la deposición de nutrientes en el huevo, con efectos positivos sobre el peso y la composición del mismo. No obstante, en este experimento las dosis de 300 mg/kg o más no mostraron mejoras significativas en los parámetros evaluados, lo que permite suponer que la respuesta productiva fue más favorable en una concentración intermedia. Esta tendencia resulta consistente con lo reportado por Liu et al. (2024) quienes indicaron que los efectos de la curcumina sobre el desempeño productivo y la calidad del huevo dependen del nivel de inclusión y del contexto fisiológico en el que se aplica.

Asimismo, el patrón de incremento semanal refleja la curva fisiológica típica de crecimiento en peso del huevo en codornices, alcanzando su estabilización hacia la semana 6–7. Este comportamiento coincide con lo reportado en literatura reciente sobre la dinámica de la postura en codornices japonesas (Kaewhom et al., 2026).

### 4.3. Mortalidad.

En la Tabla 5 se presentan los porcentajes de mortalidad de codornices sometidas a los tratamientos experimentales de suplementación con curcumina durante las 16 semanas de producción. El grupo control sin suplementación (T<sub>0</sub>) presentó una mortalidad de 4.44 % o 4 aves, al igual que T<sub>3</sub> (300 mg/kg). En los grupos T<sub>1</sub> (100 mg/kg) y T<sub>4</sub> (400 mg/kg) se registró una mortalidad de 2.22 % o 2 aves, y la menor mortalidad se registró en T<sub>2</sub> (200 mg/kg) con 1 ave o 1.11 %, lo que sugiere una tendencia numérica favorable del tratamiento T<sub>2</sub>; sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ).

**Tabla 5. Mortalidad durante 16 semanas de producción en codornices suplementadas con diferentes niveles de curcumina**

<b>Mortalidad</b>	<b>T<sub>0</sub> (control)</b>	<b>T<sub>1</sub> (100 mg/kg)</b>	<b>T<sub>2</sub> (200 mg/kg)</b>	<b>T<sub>3</sub> (300 mg/kg)</b>	<b>T<sub>4</sub> (400 mg/kg)</b>	<b>Total</b>
Aves vivas	86 95.56%	88 97.78%	89 98.89%	86 95.56%	88 97.78%	437 97.11
Aves muertas	4 4.44%	2 2.22%	1 1.11%	4 4.44%	2 2.22%	13 2.89
<b>p-valor</b>	<b>0.58</b>					

Se muestra el conteo y porcentaje de aves vivas y muertas. La asociación estadística entre variables categóricas se analizó con la prueba  $\chi^2$  ( $p < 0.05$ ).

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Fouad et al. (2025) quienes señalaron que la suplementación con compuestos derivados de la cúrcuma puede favorecer la estabilidad fisiológica de las aves. Asimismo, Zhang et al. (2024) indicaron que la curcumina ejerce efectos moduladores sobre la respuesta inmune y el equilibrio metabólico durante la producción. Aunque en el presente estudio no se encontraron diferencias estadísticas en la mortalidad entre tratamientos, el grupo T<sub>2</sub> presentó el menor porcentaje de aves muertas, lo que podría sugerir una respuesta biológica favorable a una dosis intermedia de curcumina. No obstante, esta

interpretación debe realizarse con prudencia, dado que el valor de  $p$  no evidenció significancia estadística ( $p = 0.58$ ).

De manera similar, Liu et al. (2020) señalaron que el uso de aditivos fitogénicos como la curcumina ejerce un efecto positivo sobre la supervivencia de las aves, particularmente en condiciones de desafío ambiental o nutricional, atribuido a sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas e inmunomoduladores.

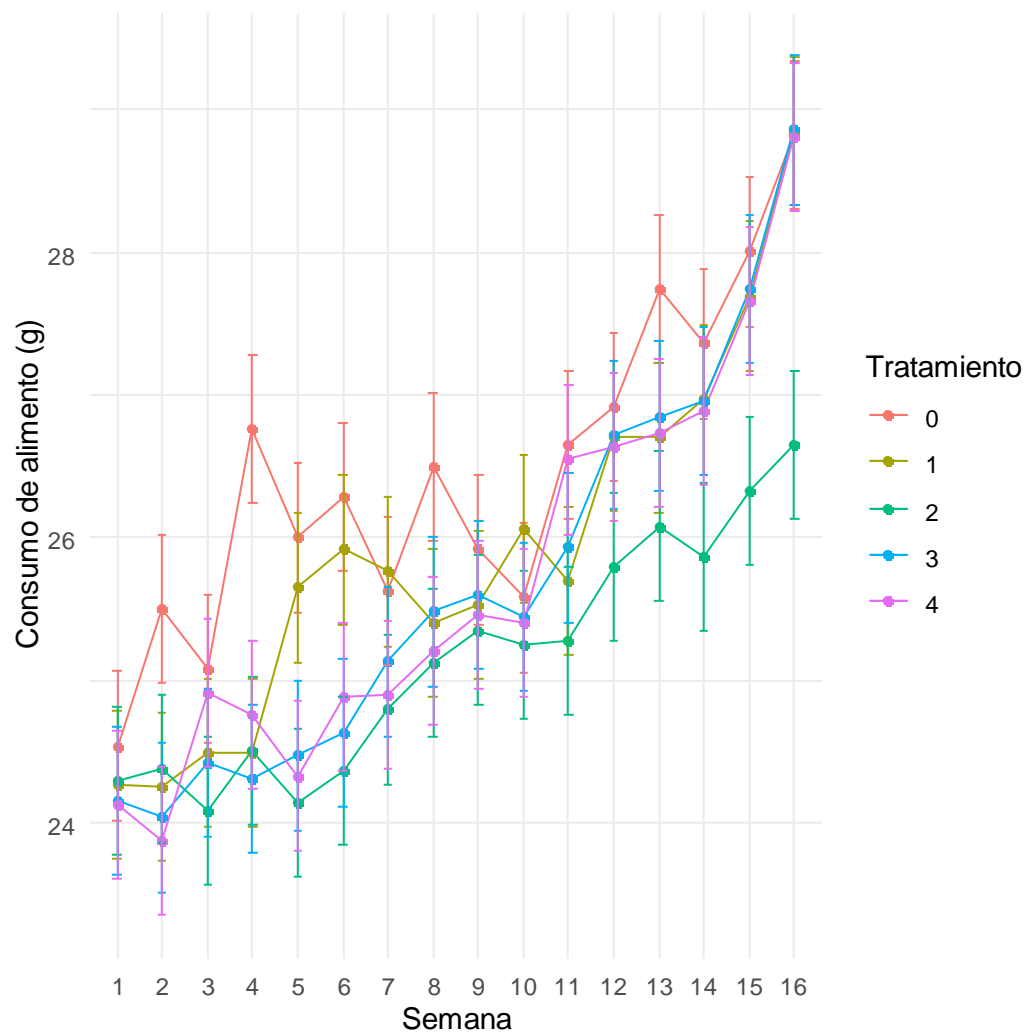
#### **4.4. Consumo del alimento.**

En la Tabla 6 se presentan los valores de consumo de alimento semanal en codornices sometidas a los tratamientos de suplementación con curcumina. El consumo de alimento mostró un patrón ascendente a lo largo de las 16 semanas en todos los tratamientos (Figura 5), lo cual es consistente con el crecimiento fisiológico y la mayor demanda metabólica asociada a la etapa de alta postura en codornices. En promedio, las aves del grupo control sin suplementación ( $T_0$ ) presentaron un consumo de alimento superior ( $26.46 \pm 0.14$  g/ave/día), seguido de  $T_1$ ,  $T_4$ , y  $T_3$  con  $25.90 \pm 0.14$ ,  $25.70 \pm 0.15$ , y  $25.67 \pm 0.15$  g/ave/día, y el grupo  $T_2$  con  $25.15 \pm 0.09$  g/ave/día, con diferencias significativas entre grupos ( $p < 0.001$ ).

**Tabla 6. Consumo semanal de alimento (g/ave/día) en codornices japonesas suplementadas con diferentes niveles de curcumina**

<b>Semanas</b>	<b>T<sub>0</sub> (control)</b>	<b>T<sub>1</sub> (100 mg/kg)</b>	<b>T<sub>2</sub> (200 mg/kg)</b>	<b>T<sub>3</sub> (300 mg/kg)</b>	<b>T<sub>4</sub> (400 mg/kg)</b>
S1	24.5 (24.0-25.1) <sup>a</sup>	24.3 (23.7-24.8) <sup>a</sup>	24.3 (23.8-24.8) <sup>a</sup>	24.2 (23.6-24.7) <sup>a</sup>	24.1 (23.6-24.7) <sup>a</sup>
S2	25.5 (25.0-26.0) <sup>a</sup>	24.3 (23.7-24.8) <sup>b</sup>	24.4 (23.9-24.9) <sup>b</sup>	24.0 (23.5-24.6) <sup>b</sup>	23.9 (23.4-24.4) <sup>b</sup>
S3	25.1 (24.6-25.6) <sup>a</sup>	24.5 (24.0-25.0) <sup>a</sup>	24.1 (23.6-24.6) <sup>a</sup>	24.4 (23.9-24.9) <sup>a</sup>	24.9 (24.4-25.4) <sup>a</sup>
S4	26.8 (26.2-27.3) <sup>a</sup>	24.5 (24.0-25.0) <sup>b</sup>	24.5 (24.0-25.0) <sup>b</sup>	24.3 (23.8-24.8) <sup>b</sup>	24.7 (24.2-25.3) <sup>b</sup>
S5	26.0 (25.5-26.5) <sup>a</sup>	25.6 (25.1-26.2) <sup>a</sup>	24.1 (23.6-24.7) <sup>b</sup>	24.5 (24.0-25.0) <sup>b</sup>	24.3 (23.8-24.9) <sup>b</sup>
S6	26.3 (25.8-26.8) <sup>a</sup>	25.9 (25.4-26.4) <sup>a</sup>	24.4 (23.8-24.9) <sup>b</sup>	24.6 (24.1-25.2) <sup>b</sup>	24.9 (24.4-25.4) <sup>ab</sup>
S7	25.6 (25.1-26.2) <sup>a</sup>	25.8 (25.2-26.3) <sup>a</sup>	24.8 (24.3-25.3) <sup>a</sup>	25.1 (24.6-25.7) <sup>a</sup>	24.9 (24.4-25.4) <sup>a</sup>
S8	26.5 (26.0-27.0) <sup>a</sup>	25.4 (24.9-25.9) <sup>b</sup>	25.1 (24.6-25.6) <sup>b</sup>	25.5 (25.0-26.0) <sup>ab</sup>	25.2 (24.7-25.7) <sup>b</sup>
S9	25.9 (25.4-26.4) <sup>a</sup>	25.5 (25.0-26.0) <sup>a</sup>	25.4 (24.8-25.9) <sup>a</sup>	25.6 (25.1-26.1) <sup>a</sup>	25.5 (24.9-26.0) <sup>a</sup>
S10	26.6 (25.1-26.1) <sup>a</sup>	25.7 (25.5-26.6) <sup>a</sup>	25.3 (24.7-25.8) <sup>a</sup>	25.9 (24.9-26.0) <sup>a</sup>	26.5 (24.9-25.9) <sup>a</sup>
S11	26.9 (26.1-27.2) <sup>a</sup>	26.7 (25.2-26.2) <sup>ab</sup>	25.8 (24.8-25.8) <sup>b</sup>	26.7 (25.4-26.4) <sup>ab</sup>	26.6 (26.0-27.1) <sup>a</sup>
S12	27.7 (26.4-27.4) <sup>a</sup>	26.7 (26.2-27.2) <sup>ab</sup>	26.1 (25.3-26.3) <sup>b</sup>	26.9 (26.2-27.2) <sup>ab</sup>	26.7 (26.1-27.2) <sup>ab</sup>
S13	27.4 (27.2-28.3) <sup>a</sup>	27.0 (26.2-27.2) <sup>ab</sup>	25.9 (25.6-26.6) <sup>b</sup>	27.0 (26.3-27.4) <sup>ab</sup>	26.9 (26.2-27.3) <sup>ab</sup>
S14	28.0 (26.8-27.9) <sup>a</sup>	27.7 (26.4-27.5) <sup>a</sup>	26.3 (25.3-26.4) <sup>b</sup>	27.7 (26.4-27.5) <sup>a</sup>	27.7 (26.4-27.4) <sup>ab</sup>
S15	28.8 (27.5-28.5) <sup>a</sup>	28.8 (27.2-28.2) <sup>a</sup>	26.6 (25.8-26.9) <sup>b</sup>	28.9 (27.2-28.3) <sup>a</sup>	28.8 (27.1-28.2) <sup>a</sup>
S16	28.8 (28.3-29.3) <sup>a</sup>	28.8 (28.3-29.4) <sup>a</sup>	26.6 (26.1-27.2) <sup>b</sup>	28.9 (28.3-29.4) <sup>a</sup>	28.8 (28.3-29.3) <sup>a</sup>
	<b>26.46</b>	<b>25.90</b>	<b>25.15</b>	<b>25.67</b>	<b>25.70</b>
<b>Promedio</b>	<b>(26.32-26.59)<sup>a</sup></b>	<b>(25.77-26.03)<sup>b</sup></b>	<b>(25.02-25.28)<sup>c</sup></b>	<b>(25.54-25.80)<sup>b</sup></b>	<b>(25.56-25.83)<sup>b</sup></b>

Se muestra la media ajustada y los intervalos de confianza 95 % entre paréntesis. Letras diferentes en superíndice <sup>(a,b,c)</sup> en filas indican diferencias significativas al nivel  $p < 0.001$  mediante la prueba de Bonferroni.



**Figura 5.** Evolución del consumo de alimento semanal de codornices suplementadas con niveles de curcumina. Se muestran promedios y error estándar. T<sub>0</sub>: control, T<sub>1</sub>: 100 mg/kg, T<sub>2</sub>: 200 mg/kg, T<sub>3</sub>:300 mg/kg, T<sub>4</sub>: 400 mg/kg.

Estos resultados contrastan con lo descrito por Fouad et al. (2025) quienes reportaron que la suplementación con curcumina en dietas avícolas no modifica significativamente el consumo de alimento, sugiriendo que la mejora en productividad observada en ciertos tratamientos se debe más a la eficiencia metabólica y antioxidante que a cambios en la ingesta. De manera similar, Zhang et al. (2024) encontraron que la adición de curcumina en niveles moderados mejora la utilización de nutrientes y el rendimiento productivo sin afectar la palatabilidad del alimento. En este estudio el grupo control y las dosis altas T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub> resultaron en mayores consumos promedio,

lo cual fue menos eficiente que en el grupo T<sub>2</sub>. Este comportamiento coincide con lo señalado por Fouad et al. (2025), quienes observaron que dosis altas de curcumina pueden inducir adaptaciones metabólicas que limitan la absorción intestinal y la eficiencia de utilización.

En conjunto, los datos muestran que la curcumina no actúa como un promotor de consumo, sino más bien como un modulador del metabolismo, mejorando la productividad (peso y número de huevos) con un consumo estable de alimento. El grupo T<sub>2</sub> con 200 mg/kg se reafirma como el óptimo, al combinar un consumo moderado con los mejores parámetros de postura y peso del huevo.

#### **4.5. Efecto de la suplementación con curcumina en la dieta sobre la calidad del huevo**

La Tabla 7 presenta los resultados del efecto de la suplementación con diferentes niveles de curcumina en la dieta sobre los parámetros de calidad del huevo de codornices evaluados a los 30 días.

La calidad del huevo constituye un parámetro esencial para evaluar tanto el valor comercial como el valor nutricional del producto final en la avicultura. Se analizaron las características internas y externas del huevo de codornices sometidas a suplementación con diferentes niveles de curcumina en la dieta. Las variables evaluadas incluyeron el peso y grosor de la cáscara, la altura de la albúmina y la yema, el color de la yema y las unidades Haugh. Los resultados obtenidos a los 30 días de iniciada nola postura evidencia que la suplementación con curcumina influyó positivamente en diversos parámetros de calidad externa e interna del huevo (Tabla 7). El peso del huevo fue superior en los tratamientos T<sub>2</sub> (12.16 g) y T<sub>4</sub> (12.22 g) en comparación con el tratamiento control T<sub>0</sub> (11.72 g), aunque no de manera significativa ( $p > 0.05$ ).

Respecto a las dimensiones del huevo, se observó una tendencia al incremento del diámetro y longitud conforme aumentó el nivel de suplementación, destacando el tratamiento T<sub>4</sub>, que alcanzó los mayores valores de diámetro (26.39 mm) y longitud (32.93 mm), aunque no de

manera significativa ( $p > 0.05$ ). En relación con la calidad interna, la altura de la albúmina presentó un incremento notable en los tratamientos suplementados, siendo significativamente mayor en T<sub>4</sub> (8.80 mm) frente al control (4,85 mm) ( $p < 0.01$ ). De igual forma, la altura de la yema fue superior en T<sub>1</sub> y T<sub>4</sub>, sugiriendo una mejor integridad estructural de la yema en presencia de curcumina, aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ).

**Tabla 7. Efecto de la suplementación con curcumina en la dieta sobre la calidad del huevo de codorniz a los 30 días**

Variables	T <sub>0</sub> (control)	T <sub>1</sub> (100 mg/kg)	T <sub>2</sub> (200 mg/kg)	T <sub>3</sub> (300 mg/kg)	T <sub>4</sub> (400 mg/kg)
Peso/huevo (g)	11.7 (10.8-12.7) <sup>a</sup>	11.2 (10.3-12.2) <sup>a</sup>	12.2 (11.2-13.1) <sup>a</sup>	11.8 (10.8-12.8) <sup>a</sup>	12.22 (11.3-13.2) <sup>a</sup>
Diám./huevo (mm)	25.9 (23.9-28.0) <sup>a</sup>	25.4 (23.4-27.4) <sup>a</sup>	25.2 (23.2-27.2) <sup>a</sup>	25.9 (23.9-27.9) <sup>a</sup>	26.4 (24.4-28.4) <sup>a</sup>
Long./huevo (mm)	31.0 (29.7-32.4) <sup>a</sup>	31.3 (30.3-33.0) <sup>a</sup>	31.6 (30.3-33.0) <sup>a</sup>	32.0 (30.7-33.4) <sup>a</sup>	32.9 (31.6-34.3) <sup>a</sup>
Diám./yema (mm)	23.4 (22.3-24.5) <sup>a</sup>	24.0 (22.9-25.1) <sup>a</sup>	22.9 (21.8-24.0) <sup>a</sup>	23.6 (22.5-24.7) <sup>a</sup>	24.3 (23.2-25.4) <sup>a</sup>
Alt./yema (mm)	13.0 (11.0-15.1) <sup>a</sup>	14.2 (12.1-16.3) <sup>a</sup>	12.3 (10.2-14.4) <sup>a</sup>	13.5 (11.4-15.6) <sup>a</sup>	14.0 (11.9-16.1) <sup>a</sup>
Alt./albúmina (mm)	4.8 (4.0-5.7) <sup>c</sup>	7.1 (6.3-7.9) <sup>b</sup>	7.2 (6.3-8.0) <sup>b</sup>	7.4 (6.6-8.2) <sup>ab</sup>	8.8 (8.0-9.6) <sup>a</sup>
Luminosidad (L*)	79.3 (78.1-80.6) <sup>a</sup>	81.3 (80.0-82.6) <sup>a</sup>	80.9 (79.7-82.2) <sup>a</sup>	80.3 (79.1-81.2) <sup>a</sup>	81.1 (79.8-82.4) <sup>a</sup>
Enrojecimiento (a*)	2.34 (1.24-3.44) <sup>a</sup>	1.10 (0.01-2.20) <sup>a</sup>	0.58 (-0.52-1.68) <sup>a</sup>	1.46 (0.36-2.56) <sup>a</sup>	0.64 (-0.46-1.73) <sup>a</sup>
Amarillez (b*)	33.1 (26.9-39.2) <sup>a</sup>	28.4 (22.3-34.6) <sup>a</sup>	25.7 (19.5-31.9) <sup>a</sup>	32.6 (26.5-38.8) <sup>a</sup>	27.7 (21.5-33.8) <sup>a</sup>
Peso/yema (g)	3.92 (3.42-4.42) <sup>ab</sup>	3.10 (2.60-3.60) <sup>b</sup>	4.63 (4.13-5.13) <sup>a</sup>	3.57 (3.07-4.07) <sup>b</sup>	3.80 (3.30-4.30) <sup>ab</sup>
Peso/clara (g)	5.48 (4.73-6.24) <sup>a</sup>	5.78 (5.03-6.54) <sup>a</sup>	6.68 (5.93-7.44) <sup>a</sup>	6.43 (5.68-7.19) <sup>a</sup>	6.17 (5.41-6.92) <sup>a</sup>
Peso/cáscara (g)	1.77 (1.30-2.24) <sup>ab</sup>	1.60 (1.13-2.07) <sup>b</sup>	2.63 (2.16-3.10) <sup>a</sup>	1.73 (1.26-2.20) <sup>ab</sup>	1.70 (1.23-2.17) <sup>ab</sup>
Grosor/cáscara (mm)	0.22 (0.17-0.28) <sup>a</sup>	0.27 (0.21-0.32) <sup>a</sup>	0.21 (0.15-0.26) <sup>a</sup>	0.22 (0.17-0.27) <sup>a</sup>	0.24 (0.19-0.30) <sup>a</sup>
Unidades Haugh	91.0 (87.4-94.6) <sup>b</sup>	102.0 (97.9-105.2) <sup>a</sup>	102.0 (97.9-105.3) <sup>a</sup>	103.0 (99.3-106.6) <sup>a</sup>	108.0 (104.5-111.8) <sup>a</sup>

Se muestra la media ajustada con los intervalos de confianza al 95% entre paréntesis. Letras diferentes en superíndice (<sup>a,b,c</sup>) en filas indican diferencias significativas al nivel  $p < 0.01$  mediante la prueba de Bonferroni.

Los parámetros colorimétricos mostraron que la luminosidad ( $L^*$ ) se mantuvo relativamente estable entre tratamientos ( $p > 0.05$ ), mientras que el valor  $a^*$  (enrojecimiento) y  $b^*$  (amarillez) eran altamente variables y aparentemente disminuyeron en los tratamientos con curcumina dietaria, particularmente en  $T_2$  y  $T_4$ , lo que indica una modificación en la pigmentación de la yema atribuida a la acción de compuestos fenólicos presentes en la curcumina, aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ). El peso de la yema destacó en  $T_2$  con respecto a los otros tratamientos de suplementación y el control ( $p < 0.05$ ). El peso de la clara fue mayor en los tratamientos  $T_2$  y  $T_3$ , mientras que el peso y grosor de la cáscara mostraron valores más altos en los tratamientos suplementados, destacando  $T_2$  (2,63 g y 0,20 mm), lo que sugiere una mejora en la mineralización de la cáscara, aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ).

A los 60 días de iniciada la postura, los huevos de aves suplementadas con curcumina mantuvieron mejores características de calidad en comparación con el grupo control (Tabla 8). El peso del huevo mostró valores similares entre tratamientos ( $p > 0.05$ ), aunque  $T_0$  (12,63 g) y  $T_4$  (12,22 g) presentaron los valores más altos. El diámetro de huevo fue menor en  $T_3$  y  $T_4$  ( $p < 0.01$ ), mientras que la longitud de huevo destacó en  $T_4$  ( $p < 0.05$ ). La altura de la yema fue superior en los tratamientos suplementados, destacando  $T_3$  ( $15.21 \pm 2.01$  mm), sugiriendo una mayor estabilidad de la membrana vitelina durante el almacenamiento prolongado, aunque las diferencias entre grupos no fueron estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, la altura de la albúmina alcanzó el mayor valor en  $T_4$  ( $8.65 \pm 0.29$  mm), evidenciando un efecto protector de la curcumina sobre la degradación proteica de la clara.

**Tabla 8. Efecto de la suplementación con curcumina en la dieta sobre la calidad del huevo de codorniz a los 60 días**

<b>Variab</b> les	<b>T<sub>0</sub></b> <b>(control)</b>	<b>T<sub>1</sub></b> <b>(100 mg/kg)</b>	<b>T<sub>2</sub></b> <b>(200 mg/kg)</b>	<b>T<sub>3</sub></b> <b>(300 mg/kg)</b>	<b>T<sub>4</sub></b> <b>(400 mg/kg)</b>
Peso/huevo (g)	12.6 (11.7-13.6) <sup>a</sup>	12.4 (11.4-13.4) <sup>a</sup>	11.9 (10.9-12.9) <sup>a</sup>	11.8 (10.9-12.8) <sup>a</sup>	12.0 (11.1-13.0) <sup>a</sup>
Diám./huevo (mm)	26.0 (24.7-27.3) <sup>b</sup>	25.9 (24.5-27.2) <sup>b</sup>	25.9 (24.6-27.3) <sup>b</sup>	27.9 (26.6-29.3) <sup>b</sup>	26.8 (24.8-28.8) <sup>a</sup>
Long./huevo (mm)	33.05 (31.0-35.1) <sup>a</sup>	32.6 (30.6-34.6) <sup>a</sup>	32.5 (30.5-34.5) <sup>a</sup>	32.5 (30.5-34.5) <sup>a</sup>	31.7 (30.4-33.1) <sup>a</sup>
Diám./yema (mm)	24.5 (23.5-25.6) <sup>a</sup>	23.9 (22.8-25.0) <sup>a</sup>	24.0 (22.9-25.1) <sup>a</sup>	24.3 (23.2-25.3) <sup>a</sup>	24.4 (23.3-25.5) <sup>a</sup>
Alt./yema (mm)	14.0 (11.9-16.1) <sup>ab</sup>	15.0 (12.9-17.1) <sup>ab</sup>	14.3 (12.2-16.4) <sup>ab</sup>	15.2 (13.1-17.3) <sup>a</sup>	13.8 (11.8-15.9) <sup>b</sup>
Alt./albúmina (mm)	7.6 (6.8-8.4) <sup>a</sup>	8.0 (7.2-8.8) <sup>a</sup>	7.5 (6.7-8.3) <sup>a</sup>	6.8 (6.1-7.7) <sup>a</sup>	8.6 (7.8-9.5) <sup>a</sup>
Luminosidad (L*)	80.1 (78.8-81.4) <sup>a</sup>	80.0 (78.8-81.3) <sup>a</sup>	79.4 (78.1-80.7) <sup>a</sup>	78.3 (77.0-79.6) <sup>a</sup>	80.6 (79.4-81.9) <sup>a</sup>
Enrojecimiento (a*)	2.05 (0.95-3.15) <sup>a</sup>	1.73 (0.63-2.83) <sup>a</sup>	1.16 (0.06-2.25) <sup>a</sup>	2.74 (1.64-3.84) <sup>a</sup>	0.60 (0.50-1.70) <sup>a</sup>
Amarillez (b*)	33.6 (27.5-39.8) <sup>a</sup>	25.9 (19.7-32.0) <sup>a</sup>	27.8 (21.7-34.0) <sup>a</sup>	28.4 (22.2-34.5) <sup>a</sup>	27.7 (21.5-33.9) <sup>a</sup>
Peso/yema (g)	5.05 (4.55-5.55) <sup>a</sup>	3.60 (3.10-4.10) <sup>b</sup>	3.87 (3.37-4.37) <sup>b</sup>	3.52 (3.02-4.02) <sup>b</sup>	3.58 (3.07-4.08) <sup>b</sup>
Peso/clara (g)	6.60 (5.85-7.36) <sup>a</sup>	5.93 (5.18-6.69) <sup>a</sup>	6.27 (5.51-7.02) <sup>a</sup>	6.10 (5.35-6.85) <sup>a</sup>	6.12 (5.36-6.87) <sup>a</sup>
Peso/cáscara (g)	3.08 (2.61-3.55) <sup>a</sup>	2.07 (1.60-2.54) <sup>b</sup>	1.58 (1.11-2.05) <sup>b</sup>	1.88 (1.41-2.35) <sup>b</sup>	1.54 (1.07-2.01) <sup>b</sup>
Grosor/cáscara (mm)	0.26 (0.20-0.31) <sup>a</sup>	0.19 (0.14-0.24) <sup>a</sup>	0.17 (0.11-0.22) <sup>a</sup>	0.19 (0.14-0.24) <sup>a</sup>	0.23 (0.18-0.28) <sup>a</sup>
Unidades Haugh	103.0 (99.8-107.0) <sup>a</sup>	105.0 (101.4-108.7) <sup>a</sup>	103.0 (99.5-106.8) <sup>a</sup>	101 (97.0-104.3) <sup>a</sup>	108 (104.2-111.4) <sup>a</sup>

Se muestra la media ajustada con los intervalos de confianza al 95% entre paréntesis. Letras diferentes en superíndice (<sup>a,b,c</sup>) en filas indican diferencias significativas al nivel  $p < 0.01$  mediante la prueba de Bonferroni.

En cuanto al color de la yema, los valores de L\* y a\* fueron similares entre grupos ( $p > 0.05$ ), aunque los valores de b\* fueron altamente variables, mostrando mayores niveles en el grupo control ( $33.65 \pm 6.62$ ), mientras que los tratamientos con curcumina presentaron valores inferiores.

El peso de la yema destacó en el grupo control ( $p < 0.01$ ), mientras que el peso de la clara fue similar estadísticamente entre grupos ( $p > 0.05$ ). Respecto a la cáscara, el peso y grosor tendieron a disminuir con el tiempo de almacenamiento; sin embargo, el grupo control mantuvo valores de peso y grosor mayores a los tratamientos de suplementación.

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian que la suplementación con curcumina en la dieta mejora diversos parámetros de calidad del huevo, tanto a los 30 como a los 60 días de iniciada la postura. El incremento en la altura de la albúmina y de la yema en los tratamientos suplementados coincide con lo reportado por (Liu *et al.*, 2024), quienes señalan que los compuestos antioxidantes presentes en la curcumina reducen el daño oxidativo de las proteínas del huevo durante el almacenamiento.

Las mejoras observadas en las características internas del huevo pueden atribuirse a la capacidad de la curcumina para favorecer la absorción de nutrientes y estabilizar los procesos oxidativos a nivel celular. Diversos estudios han señalado que los antioxidantes naturales desempeñan un papel importante en la preservación de la frescura y la estabilidad estructural del huevo durante su almacenamiento, contribuyendo a mantener su calidad interna por mayor tiempo (Kedir *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2024).

El efecto positivo sobre la altura de la albúmina es particularmente relevante, ya que este parámetro se asocia directamente con la frescura del huevo y con valores superiores de unidades Haugh, como lo indican (Tůmová *et al.*, 2019). La curcumina, al actuar como antioxidante natural, contribuiría a preservar la estructura de la ovomucina, disminuyendo su degradación oxidativa.

La disminución del valor  $b^*$  (amarillez) observada en los tratamientos con curcumina concuerda con lo reportado por (Zhang *et al.*, 2024), quienes indican que algunos fitobióticos pueden modificar la deposición de carotenoides en la yema debido a interacciones metabólicas en el

intestino y el hígado. Asimismo, la mejora en el peso y grosor de la cáscara en ciertos tratamientos podría estar relacionada con el efecto antiinflamatorio y antioxidante de la curcumina, que favorecería una mejor absorción de minerales, especialmente calcio y fósforo, tal como señalan (Liu et al., 2024). En conjunto, los resultados confirman que la curcumina dietaria no solo contribuye a mantener la calidad interna del huevo durante el almacenamiento prolongado, sino que también representa una alternativa natural a los aditivos sintéticos, en concordancia con las tendencias actuales de producción avícola sostenible.

Los resultados muestran que la suplementación con curcumina influyó en algunos parámetros de calidad del huevo, particularmente en la unidad Haugh (UH), mientras que el peso promedio se mantuvo relativamente estable entre tratamientos y periodos evaluados (Tabla 9). El tratamiento T<sub>4</sub> con 400 mg/kg obtuvo los valores más altos de UH a los 30 y 60 días ( $108.15 \pm 2.15$  y  $107.79 \pm 1.06$ ), lo que indica una mejor calidad interna del huevo en términos de frescura y viscosidad de la albúmina. En contraste, el grupo control (T<sub>0</sub>) registró valores menores de UH, aunque dentro de rangos considerados adecuados. Las diferencias estadísticas más claras se observaron a los 30 días de almacenamiento ( $p < 0.01$ ). La suplementación con 200 mg/kg (T<sub>2</sub>), que había mostrado el mejor desempeño en la producción y el peso del huevo en las variables anteriores, presentó valores intermedios de UH ( $101.68 \pm 1.84$  y  $103.13 \pm 0.96$ ), lo que sugiere que dosis moderadas de curcumina favorecen principalmente la eficiencia productiva, mientras que dosis altas (T<sub>4</sub>) podrían estar más asociadas a la calidad interna del huevo.

**Tabla 9. Unidades Haugh (UH) de huevos de codorniz suplementadas con niveles de curcumina a los 30 y 60 días**

<b>Tratamiento</b>	<b>UH 30 días</b>	<b>UH 60 días</b>
T <sub>0</sub> (control)	91.0 (87.4–94.6) <sup>b</sup>	103.0 (99.8–107.0)
T <sub>1</sub> (100 mg/kg)	102.0 (97.9–105.2) <sup>a</sup>	105.0 (101.4–108.7)
T <sub>2</sub> (200 mg/kg)	102.0 (98.0–105.3) <sup>a</sup>	103.0 (99.5–106.8)
T <sub>3</sub> (300 mg/kg)	103.0 (99.3–106.6) <sup>a</sup>	101.0 (97.0–104.3)
T <sub>4</sub> (400 mg/kg)	108.0 (104.5–111.8) <sup>a</sup>	108.0 (104.2–111.4)
<b>p-valor</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>0.05</b>

Se muestra la media ajustada con los intervalos de confianza al 95 % entre paréntesis. Letras diferentes en superíndice dentro de cada periodo de evaluación indican diferencias significativas al nivel  $p < 0.01$  mediante la prueba de Bonferroni.

Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por (Liu et al., 2024), quienes señalaron que la curcumina puede mejorar la calidad del huevo mediante sus propiedades antioxidantes, reduciendo la oxidación lipídica de la yema y preservando la integridad de la albúmina. Asimismo (Zhang et al., 2024), destacaron que los antioxidantes dietéticos en aves mejoran la frescura del huevo, expresada en mayores valores de UH, al mantener un pH más estable en la clara. No obstante, se debe considerar que dosis elevadas pueden no traducirse en una mejora proporcional en otros parámetros productivos. Tal como observaron Fouad et al. (2025), niveles altos de curcumina pueden inducir efectos de saturación metabólica, lo cual explicaría el peso de huevos menor en T<sub>4</sub> con respecto a T<sub>2</sub>, a pesar de la mejora en UH.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- La suplementación con curcumina en la dieta de codornices (*Coturnix japonica*) influyó en el desempeño productivo y en algunos indicadores de calidad del huevo, por lo que se acepta que este aditivo fitogénico ejerce efectos favorables bajo las condiciones experimentales del presente estudio.
- En relación con el desempeño productivo, la suplementación con 200 mg/kg de curcumina presentó la respuesta más favorable, al registrar el mayor porcentaje de postura y un mejor comportamiento en el peso del huevo, sin afectar negativamente el consumo de alimento. Asimismo, esta dosis mostró el comportamiento más eficiente respecto de los demás tratamientos evaluados.
- La mortalidad no mostró diferencias estadísticas entre tratamientos, aunque el menor valor numérico se registró en T2. Por su parte, el consumo de alimento fue afectado significativamente por la suplementación, observándose el menor consumo en T2, sin que ello comprometiera el desempeño productivo general de las aves.
- En cuanto a la calidad del huevo, los tratamientos con 300 y 400 mg/kg mostraron resultados favorables en algunos parámetros, especialmente en altura de albúmina y unidades Haugh; sin embargo, no todas las variables de calidad interna y externa presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos.

## 5.2. Recomendaciones

- Se recomienda la inclusión de 200 mg/kg de curcumina en dietas para codornices en etapa de postura, cuando el objetivo principal sea mejorar el desempeño productivo, especialmente el porcentaje de postura y el peso del huevo.
- Se recomienda desarrollar estudios complementarios para precisar el efecto de niveles superiores de curcumina sobre la calidad del huevo, particularmente en grosor de cáscara, altura de albúmina, pigmentación de la yema y unidades Haugh, a fin de definir con mayor exactitud la dosis más conveniente según el objetivo productivo.
- Se recomienda evaluar la suplementación con curcumina durante periodos más prolongados y en diferentes fases del ciclo productivo, con el propósito de determinar su efecto sostenido sobre el rendimiento y la calidad del huevo.
- Se recomienda realizar investigaciones que analicen la interacción de la curcumina con otros aditivos fitogénicos o antioxidantes naturales, para optimizar estrategias nutricionales aplicables a la producción de codornices.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel Moneim, A. E., Shehata, A. M., Alzahrani, S. O., Shafi, M. E., Mesalam, N.M. y Taha, A. E. (2020). The role of polyphenols in poultry nutrition. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(6), pp.1851–1866. <https://doi.org/10.1111/jpn.13455>
- Abdulkadir, A. y Reddy, D. (2023). A scoping review of the impact of heat stress on the organs of the Japanese quail (*Coturnix japonica*). *The Journal of Basic and Applied Zoology*, 84(1), p. 8. <https://doi.org/10.1186/s41936-023-00331-z>
- Azkona, G. (2023). Implementing the 3Rs in laboratory animal research—From theory to practice. *Animals*, 13(19), p.3063. <https://doi.org/10.3390/ani13193063>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. y Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), pp. 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Benavides-Reyes, C., Cámara, L., Latorre, M.A., Mateos, G.G. y Serrano, M.P. (2021). Changes in eggshell quality and microstructure related to hen age during a production cycle. *Poultry Science*, 100(9), p. 101287. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101287>
- Berrama, Z., Souames, S., Merati, R., Korteby, H. M., Chirane, M.S., Negab, N., Hettab, K., Idris, H., Morzouglal, N. y Temim, S. (2021). Effects of laying cycle periods on egg quality, egg chemical composition, and reproductive performance of Japanese quail breeders reared in Northern Algeria. *World's Veterinary Journal*, 11(3), pp.439–447. <https://doi.org/10.54203/scil.2021.wvj56>
- Comenge, M. (1964). *Análisis de alimentos. Tomo III: productos manufacturados, productos fruitivos*. 3.<sup>a</sup> ed. Madrid: Escelicer
- Coronado-Ibarra, A. (2023). Calidad del huevo y comportamiento productivo en codornices japonesas (*Coturnix coturnix japonica*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 34(1). <https://doi.org/10.15381/rivep.v34i1.24615>
- Chen, Y., Liu, L., Yu, L., Li, S., Zhu, N. y You, J. (2024). Curcumin supplementation improves growth performance and anticoccidial index by improving antioxidant capacity, inhibiting inflammatory responses, and maintaining intestinal barrier function in *Eimeria tenella*-infected broilers. *Animals*, 14(8), artículo 1223. <https://doi.org/10.3390/ani14081223>

Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W. y Lorenzo, J. M. (2019). A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products. *Antioxidants*, 8(10), p. 429. <https://doi.org/10.3390/antiox8100429>

El-Shall, N.A., Allam, A.A., Ghareeb, K., Zuy, R., Elokil, A.A., Swelum, A.A., Abdel-Moneim, A. y Alagawany, M. (2022). Phytochemical control of poultry coccidiosis: a review. *Poultry Science*, 101(1), p.101542. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101542>

El-Tarabany, M.S. (2016). Effect of thermal stress on fertility and egg quality of Japanese quail. *Journal of Thermal Biology*, 61, pp. 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.08.012>

Fouad, A.M., El-Senousey, H.K. y Ruan, D. (2025). Turmeric bioactive compounds in poultry nutrition: current status and future prospects. *Poultry Science*, 104(10), artículo 105582. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105582>

Gadde, U., Kim, W. H., Oh, S. T. y Lillehoj, H. S. (2017). Alternatives to antibiotics for maximizing growth performance and feed efficiency in poultry. *Animal Health Research Reviews*, 18(1). <https://doi.org/10.1017/S1466252316000207>

Goel, A., Kunnumakkara, A. B. y Aggarwal, B. B. (2008). Curcumin as “Curecumin”: From kitchen to clinic. *Biochemical Pharmacology*, 75(4), pp. 787–809. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2007.08.016>

Grau, C.A. (1964). *Código Latinoamericano de alimentos*. 2.<sup>a</sup> ed. Buenos Aires: Sidus.

Grimaldos, D. (2020). *Codornices y sus derivados*. Trabajo académico Universidad Cooperativa de Colombia. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/7f3cd388-29ba-49e3-9941-e7442820f221/content>

Guimarães, R.R., de Oliveira, M.A., Oliveira, H.C., Doró, S.C.O.L., Machado, L.A. y de Oliveira, M.C. (2021). Turmeric powder in the diet of Japanese quails improves the quality of stored eggs. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 22, e2122052021. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402122052021>

Hafez, M. H., El-Kazaz, S. E., Alharthi, B., Ghamry, H. I., Alshehri, M. A., Sayed, S., Shukry, M. y El-Sayed, Y. S. (2022). The Impact of Curcumin on Growth Performance, Growth-Related Gene Expression, Oxidative Stress, and Immunological Biomarkers in Broiler Chickens at Different Stocking Densities. *Animals*, 12(8), p. 958. <https://doi.org/10.3390/ani12080958>

Hossain, M.A., Mahbub, A.S.M. y Belal, S.A. (2024). Housing and dietary effects on production performance, quality index, and chemical composition of Japanese quail eggs. *Veterinary and Animal Science*, 23, p. 100340. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2024.100340>

Kaewhom, P., Saelim, K., Poolsamran, P., Thammakarn, C., Chaosap, C., Sulaimon, R. O., Sivapirunthep, P. y Srikijkasemwat, K. (2026). Evaluation of productivity and egg quality in Japanese quails reared under different LED colors and rearing systems. *Veterinary Sciences*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/vetsci13020164>

Kedir, S., Tamiru, M., Tadese, D.A., Takele, L., Wondmeneh, E., Shibeshi, E., Esatu, W. y Burton, E. (2023). Effect of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) leaf meal supplementation on production performance and egg quality of laying hens. *Heliyon*, 9(8), artículo e19124.: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19124>

Kirunda, D.F.K y McKee, S.R. (2000). Relating quality characteristics of aged eggs and fresh eggs to vitelline membrane strength as determined by a texture analyzer. *Poultry Science*, 79(8), pp. 1189–1193. <https://doi.org/10.1093/ps/79.8.1189>

Korver, D.R. (2023). Review: Current challenges in poultry nutrition, health, and welfare. *Animal*, 17(Suppl. 2), p.100755. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100755>

Kuznetsova, A., Brockhoff, P.B. y Christensen, R.H.B. (2017). lmerTest package: Tests in linear mixed effects models. *Journal of Statistical Software*, 82(13), pp. 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss.v082.i13>

Leeson, S. y Summers, J.D. (2005). *Commercial Poultry Nutrition*. 3rd ed. Guelph, Ontario: University Books

Li, C., Gao, J., Guo, S., He, B. y Ma, W. (2024). Effects of curcumin on the egg quality and hepatic lipid metabolism of laying hens. *Animals*, 14(1), artículo 138. <https://doi.org/10.3390/ani14010138>

Liu, M., Lu, Y., Gao, P., Xie, X., Li, D., Yu, D. y Yu, M. (2020). Effect of curcumin on laying performance , egg quality , endocrine hormones , and immune activity in heat-stressed hens. *Poultry Science*, 99(4), pp. 2196–2202. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.12.001>

Liu, N., Lin, L., Wang, J.Q., Zhang, F.K. y Wang, J.P. (2019). Tetramethylpyrazine supplementation reduced Salmonella Typhimurium load and inflammatory response in broilers. *Poultry Science*, 98(8), pp. 3158–3164. <https://doi.org/10.3382/ps/pez128>

Liu, Y., Song, M., Bai, H., Wang, C., Wang, F. y Yuan, Q. (2024). Curcumin improves the egg quality, antioxidant activity, and intestinal microbiota of quails during the late laying period. *Poultry Science*, 103(1), p. 103233. <https://doi.org/10.1016/J.PSJ.2023.103233>

Liu, Y., Yang, Y., Jing, Y., Zhang, M., Zhang, M., Zhang, S., Qi, C., Ma, W., Khan, M.Z. y Zhu, M. (2025). Research progress on genetic factors of poultry egg quality. *Animals*, 15(24), p.3652. <https://doi.org/10.3390/ani15243652>

Lohse, K., Kozlowski, A. y Strube, M.J. (2023). Model Specification in Mixed-Effects Models: A Focus on Random Effects. *Communications in Kinesiology*, 1(5). <https://doi.org/10.51224/cik.2023.52>

Manaa, E.A., El-Attrouny, M.M., EL-Barbary, A., Albadrani, G.M., Al-Ghadi, M.Q., Abdel-Daim, M.M., El-Tarabany, M.S. y Ramadan, S.I. (2024). Laying performance, genetic parameters, and the expression of FSH $\beta$ , LH $\beta$ , FSHR, and LHR genes in Japanese quails selected for early egg production. *Poultry Science*, 103(2). <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103358>

Marchiori, M.S., De Oliveira, R. C., Souza, C. F., Baldissera, M. D., Ribeiro, Q. M., Wagner, R., Gundel, S. S., Ourique, A. F., Kirinus, J. K., Stefani, L. M., Boiago, M. M. y da Silva, A. S. (2019). Curcumin in the diet of quail in cold stress improves performance and egg quality. *Animal Feed Science and Technology*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.05.015>

Minvielle, F. (2004). The future of Japanese quail for research and production. *World's Poultry Science Journal*, 60(4), pp.500–507. <https://doi.org/10.1079/WPS200433>

de Moraes, M.T.T., da Rocha, C., Moreno, T. B., Surek, D., Borges, S. A. y Maiorka, A. (2019). Effect of Different Dietary Electrolyte Balance Values at High Temperature Peaks on Performance and Egg Quality of Japanese Quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Journal of Applied Poultry Research*, 28(4). <https://doi.org/10.3382/japr/pfz089>

National Research Council (2011). *Guide for the care and use of laboratory animals*. 8th edn. Washington, DC: National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/12910>

Nemati, Z., Ahmadian, H., Besharati, M., Leeson, S., Alirezalu, K., Domínguez, R. y Lorenzo, J.M. (2020). Assessment of dietary selenium and vitamin E on laying performance and quality parameters of fresh and stored eggs in Japanese quails. *Foods*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/foods9091324>

Obianwuna, U. E., Oleforuh-Okoleh, V. U., Wang, J., Zhang, H.-J., Qi, G.-H., Qiu, K. y Wu, S.G. (2022). Potential implications of natural antioxidants of plant origin on oxidative stability of chicken albumen during storage. *Antioxidants*, 11(4), p.630. <https://doi.org/10.3390/antiox11040630>

Olgun, O., Gül, E.T., Kılınç, G., Yıldız, A., Çolak, A. y Sarmiento-García, A. (2022). Performance, egg quality, and yolk antioxidant capacity of laying quail in response to dietary choline levels. *Animals*, 12(23), p.3361. <https://doi.org/10.3390/ani12233361>

Park, S.-S., Kim, J.-M., Kim, E.-J., Kim, H.-S., An, B.-K y Kang, C.-W. (2012). Effects of Dietary Turmeric Powder on Laying Performance and Egg Qualities in Laying Hens. *Korean Journal of Poultry Science*, 39(1), pp. 27–32. <https://doi.org/10.5536/KJPS.2012.39.1.027>

Pop, L.M., Varga, E., Coroian, M., Nedişan, M.E., Mircean, V., Dumitrache, M.O., Farczádi, L., Fülöp, I., Croitoru, M.D., Fazakas, M. y Györke, A. (2019). Efficacy of a commercial herbal formula in chicken experimental coccidiosis. *Parasites and Vectors*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s13071-019-3595-4>

Prado, F. (2016). *Evaluación del palillo (Curcuma longa) sobre la respuesta productiva, estabilidad oxidativa de yema y calidad de huevo de codornices japonesas*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2603>

Prakash, J., Kumar, V. y Singh, S. (2024). Feed Additives for Layer Chicken Health and Production : A Review. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(12), pp. 926–937

Reda, F.M., El-Saadony, M.T., Elnesr, S.S., Alagawany, M. y Tufarelli, V. (2020). Effect of dietary supplementation of biological curcumin nanoparticles on growth and carcass traits, antioxidant status, immunity and caecal microbiota of Japanese quails. *Animals*, 10(5), p.754. <https://doi.org/10.3390/ani10050754>

Santos, T.C., Gates, R.S., Tinôco, I.F.F., Zolnier, S., Rocha, K.S.O. y Freitas, L.C.S.R. (2019). Productive performance and surface temperatures of Japanese quail exposed to different environment conditions at start of lay. *Poultry Science*, 98(7), pp. 2830–2839. <https://doi.org/10.3382/ps/pez068>

Shang, H., Zhao, J., Dong, X., Guo, Y., Zhang, H., Cheng, J. y Zhou, H. (2020). Inulin improves the egg production performance and affects the cecum microbiota of laying hens. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, pp. 1599–1609. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.137>

Saraswati, T. R., Manalu, W., Ekastuti, D. R., y Kusumorini, N. (2013). The role of turmeric powder in lipid metabolism and its effect on quality of the first quail's egg. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 38(2), 123–130. <https://doi.org/10.14710/jitaa.38.2.123-130>

Silversides, F.G. y Budgell, K. (2004). The relationships among measures of egg albumen height, pH, and whipping volume. *Poultry Science*, 83(10), pp. 1619–1623. <https://doi.org/10.1093/ps/83.10.1619>

Souza, C.R.A. y Glória, M.B.A. (1998). Chemical analysis of turmeric from Minas Gerais, Brazil and comparison of methods for flavour free oleoresin. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 41(2), pp. 218–224.

Surai, P.F. (2020). Antioxidants in Poultry Nutrition and Reproduction: An Update. *Antioxidants*, 9(2), p. 105. <https://doi.org/10.3390/antiox9020105>.

Sureshbabu, A., Smirnova, E., Karthikeyan, A., Moniruzzaman, M., Kalaiselvi, S., Nam, K., Le Goff, G. y Min, T. (2023). The impact of curcumin on livestock and poultry animal's performance and management of insect pests. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, p.1048067. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1048067>

Szuba-Trznadel, A., Korzeniowska, M., Hikawczuk, T. y Fuchs, B. (2021). The effect of hybrid barley in the diets of fattening pigs on pork oxidative stability related to the fatty acid profile. *Animals*, 11(7), artículo 2134. <https://doi.org/10.3390/ani11072134>

Taghipour-Shahbandi, M., Zhandi, M., Ansari-Pirsaraei, Z. y Yousefi, A.R. (2024). Exploration of age-related changes in reproductive parameters of female Japanese quail (*Coturnix japonica*). *Poultry Science*, 103(12), artículo 104499. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104499>.

Tougan, U.P. y Thewis, A. (2024). Factors affecting egg quality and functional properties. *International Journal of Advanced Research*, 12(08), pp.1235–1250. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/19366>

Tuong, D.T.C., Moniruzzaman, M., Smirnova, E., Chin, S., Sureshbabu, A., Karthikeyan, A. y Min, T. (2023). Curcumin as a potential antioxidant in stress regulation of terrestrial, avian, and aquatic animals: a review. *Antioxidants*, 12(9), p.1700. <https://doi.org/10.3390/antiox12091700>

Tůmová, E., Vlčková, J., Míková, K., Englmaierová, M., Okrouhlá, M. y Chodová, D. (2019). Changes in the quality of eggs during storage depending on the housing system and the age of hens. *Poultry Science*, 98(11), pp. 6187–6193. <https://doi.org/10.3382/ps/pez401>

Utami, M.M.D. y Akbar, A. (2025). Enhancing nutrient intake, egg production, and egg quality by fermented *Leucaena leucocephala* leaf meal in a diet of laying quail. *Veterinary World*, 18(1), pp. 133–140. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2025.133-140>

Wang, J., Deng, L., Chen, M., Che, Y., Li, L., Zhu, L., Chen, G. y Feng, T. (2024). Phytogetic feed additives as natural antibiotic alternatives in animal health and production: A review of the literature of the last decade. *Animal Nutrition*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2024.01.012>

World Flora Online (2026) *Curcuma longa* L. <https://www.worldfloraonline.org/>

World Organisation for Animal Health (WOAH) (2021). *Terrestrial Animal Health Code*. Paris: World Organisation for Animal Health. [https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health\\_standards/tahc/2021/en\\_sommaire.htm](https://www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/tahc/2021/en_sommaire.htm)

Yuan, T., Li, J., Wang, Y., Li, M., Yang, A., Ren, C., Qi, D. y Zhang, N. (2022). Effects of zearalenone on production performance, egg quality, ovarian function and gut microbiota of laying hens. *Toxins*, 14(10), artículo 653. <https://doi.org/10.3390/toxins14100653>

Zhang, J., Zhang, R., Jin, S. y Feng, X. (2024). Curcumin, a plant polyphenol with multiple physiological functions of improving antioxidation, anti-inflammation, immunomodulation and its application in poultry production. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 108(6), pp. 1890–1905. <https://doi.org/10.1111/jpn.14029>

## ANEXOS



**Figura 1.** Tratamientos del trabajo de investigación



**Figura 2.** Registro del número de huevos



**Figura 3.** Peso de los huevos



**Figura 4.** Determinación de la calidad del huevo



**Figura 5.** Longitud y ancho del huevo



**Figura 6.** Altura de la yema



**Figura 7.** Color de la yema



**Figura 8.** Peso del huevo

**Formulación y composición nutricional de las dietas experimentales con inclusión de curcumina**

**Anexo 1.** Tratamiento T<sub>0</sub> (control s/curcumina), 100% alimento, según fórmula alimenticia

<b>INSUMOS</b>	<b>%</b>
Maíz amarillo	58,70
Torta de soya	32,30
Aceite de palma	1,80
Carbonato de calcio	5,54
Fosfato dicalcico	1,20
Sal	0,30
Premix*	0,10
Linina	0,06
<b>Curcumina</b>	<b>0,000</b>
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Composición calculada</b>	
Em (Kcal/Kg)	2901
Proteína cruda (%)	20
Calcio (%)	2,5
Proteína disponible (%)	0,35
Lisina %	1,00
Metionina-cisteína %	0,70

(\*) Cada kg de premezcla contiene: vitamina A: 8000000 UI, vitamina D3 2 000 000 UI, vitamina E 10 000 UI, vitamina K3 2.5 g, Riboflavina 3.5 g, Cianocobalamina 10 mg, Acido pantoténico 5 g, Ácido Fólico 500 mg, Niacina 15 g, Manganeso 55 g, Zinc 45g, Hierro 35 g, Cobre 5 g, Yodo 1 g, Selenio 100 mg.

**Anexo 2.** Tratamiento T<sub>1</sub> (100mg/kg), 100 kg alimento + 0,010 % curcumina (10g)

<b>INSUMOS</b>	<b>%</b>
Maíz amarillo	58,69
Torta de soya	32,30
Aceite de palma	1,80
Carbonato de calcio	5,54
Fosfato dicalcico	1,20
Sal	0,30
Premix*	0,10
Linina	0,06
<b>Curcumina</b>	<b>0,010</b>
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Composición calculada</b>	
Em (Kcal/Kg)	2901
Proteína cruda (%)	20
Calcio (%)	2,5
Proteína disponible (%)	0,35
Lisina %	1,00
Metionina-cisteína %	0,70

(\*) Cada kg de premezcla contiene: vitamina A: 8000000 UI, vitamina D3 2 000 000 UI, vitamina E 10 000 UI, vitamina K3 2.5 g, Riboflavina 3.5 g, Cianocobalamina 10 mg, Acido pantoténico 5 g, Ácido Fólico 500 mg, Niacina 15 g, Manganeso 55 g, Zinc 45g, Hierro 35 g, Cobre 5 g, Yodo 1 g, Selenio 100 mg.

**Anexo 3.** Tratamiento T<sub>2</sub> (200mg/kg), 100 kg alimento + 0,020 % curcumina (20g)

<b>INSUMOS</b>	<b>%</b>
Maíz amarillo	58,68
Torta de soya	32,30
Aceite de palma	1,80
Carbonato de calcio	5,54
Fosfato dicalcico	1,20
Sal	0,30
Premix*	0,10
Linina	0,06
<b>Curcumina</b>	<b>0,020</b>
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Composición calculada</b>	
Em (Kcal/Kg)	2901
Proteína cruda (%)	20
Calcio (%)	2,5
Proteína disponible (%)	0,35
Lisina %	1,00
Metionina-cisteína %	0,70

(\*) Cada kg de premezcla contiene: vitamina A: 8000000 UI, vitamina D3 2 000 000 UI, vitamina E 10 000 UI, vitamina K3 2.5 g, Riboflavina 3.5 g, Cianocobalamina 10 mg, Acido pantoténico 5 g, Ácido Fólico 500 mg, Niacina 15 g, Manganeso 55 g, Zinc 45g, Hierro 35 g, Cobre 5 g, Yodo 1 g, Selenio 100 mg.

**Anexo 4.** Tratamiento T<sub>3</sub> (300mg/kg), 100 kg alimento + 0,030 % curcumina (30g)

<b>INSUMOS</b>	<b>%</b>
Maíz amarillo	58,67
Torta de soya	32,30
Aceite de palma	1,80
Carbonato de calcio	5,54
Fosfato dicalcico	1,20
Sal	0,30
Premix*	0,10
Linina	0,06
<b>Curcumina</b>	<b>0,030</b>
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Composición calculada</b>	
Em (Kcal/Kg)	2901
Proteína cruda (%)	20
Calcio (%)	2,5
Proteína disponible (%)	0,35
Lisina %	1,00
Metionina-cisteína %	0,70

(\*) Cada kg de premezcla contiene: vitamina A: 8000000 UI, vitamina D<sub>3</sub> 2 000 000 UI, vitamina E 10 000 UI, vitamina K<sub>3</sub> 2.5 g, Riboflavina 3.5 g, Cianocobalamina 10 mg, Acido pantoténico 5 g, Ácido Fólico 500 mg, Niacina 15 g, Manganeso 55 g, Zinc 45g, Hierro 35 g, Cobre 5 g, Yodo 1 g, Selenio 100 mg.

**Anexo 5.** Tratamiento T<sub>4</sub> (400mg/kg), 100 kg alimento + 0,040 % curcumina (40g)

<b>INSUMOS</b>	<b>%</b>
Maíz amarillo	58,66
Torta de soya	32,30
Aceite de palma	1,80
Carbonato de calcio	5,54
Fosfato dicalcico	1,20
Sal	0,30
Premix*	0,10
Linina	0,06
<b>Curcumina</b>	<b>0,040</b>
<b>Total</b>	<b>100</b>
<b>Composición calculada</b>	
Em (Kcal/Kg)	2901
Proteína cruda (%)	20
Calcio (%)	2,5
Proteína disponible (%)	0,35
Lisina %	1,00
Metionina-cisteína %	0,70

(\*) Cada kg de premezcla contiene: vitamina A: 8000000 UI, vitamina D<sub>3</sub> 2 000 000 UI, vitamina E 10 000 UI, vitamina K<sub>3</sub> 2.5 g, Riboflavina 3.5 g, Cianocobalamina 10 mg, Acido pantoténico 5 g, Ácido Fólico 500 mg, Niacina 15 g, Manganeso 55 g, Zinc 45g, Hierro 35 g, Cobre 5 g, Yodo 1 g, Selenio 100 mg.

## Anexo 6. Registro de producción de huevos según tratamientos

TABLA 1. REGISTRO DE PRODUCCIÓN DE HUEVOS SEGÚN TRATAMIENTOS									
<i>TRATAMIENTO 0 sin aditivo</i>									
Fecha	N° de huevos diarios							Total huevos semanal	N° de aves vivas
	L	M	M	J	V	S	D		
Jaula 1									
Jaula 2									
Jaula 3									
Jaula 4									
Jaula 5									
Jaula 6									
<i>TRATAMIENTO 1 con 100 mg/kg curcumina</i>									
Fecha	N° de huevos diarios							Total huevos semanal	N° de aves vivas
	L	M	M	J	V	S	D		
Jaula 1									
Jaula 2									
Jaula 3									
Jaula 4									
Jaula 5									
Jaula 6									
<i>TRATAMIENTO 2 con 200 mg/kg curcumina</i>									
Fecha	N° de huevos diarios							Total huevos semanal	N° de aves vivas
	L	M	M	J	V	S	D		
Jaula 1									
Jaula 2									
Jaula 3									
Jaula 4									
Jaula 5									
Jaula 6									
<i>TRATAMIENTO 3 con 300 mg/kg curcumina</i>									
Fecha	N° de huevos diarios							Total huevos semanal	N° de aves vivas
	L	M	M	J	V	S	D		
Jaula 1									
Jaula 2									
Jaula 3									
Jaula 4									
Jaula 5									
Jaula 6									
<i>TRATAMIENTO 4 con 400 mg/kg curcumina</i>									
Fecha	N° de huevos diarios							Total huevos semanal	N° de aves vivas
	L	M	M	J	V	S	D		
Jaula 1									
Jaula 2									
Jaula 3									
Jaula 4									
Jaula 5									
Jaula 6									

**Anexo 7.** Registro de peso de huevos según tratamientos

TABLA 2. REGISTRO DE PESO DE HUEVOS SEGÚN TRATAMIENTOS									
<i>TRATAMIENTO 0 sin aditivo</i>									
Fecha	Peso diario de huevos							Total peso huevos semanal	N° de aves vivas
	L	M	M	J	V	S	D		
Jaula 1									
Jaula 2									
Jaula 3									
Jaula 4									
Jaula 5									
Jaula 6									
<i>TRATAMIENTO 1 con 100 mg/kg curcumina</i>									
Fecha	Peso diario de huevos							Total peso huevos semanal	N° de aves vivas
	L	M	M	J	V	S	D		
Jaula 1									
Jaula 2									
Jaula 3									
Jaula 4									
Jaula 5									
Jaula 6									
<i>TRATAMIENTO 2 con 200 mg/kg curcumina</i>									
Fecha	Peso diario de huevos							Total peso huevos semanal	N° de aves vivas
	L	M	M	J	V	S	D		
Jaula 1									
Jaula 2									
Jaula 3									
Jaula 4									
Jaula 5									
Jaula 6									
<i>TRATAMIENTO 3 con 300 mg/kg curcumina</i>									
Fecha	Peso diario de huevos							Total peso huevos semanal	N° de aves vivas
	L	M	M	J	V	S	D		
Jaula 1									
Jaula 2									
Jaula 3									
Jaula 4									
Jaula 5									
Jaula 6									
<i>TRATAMIENTO 4 con 400 mg/kg curcumina</i>									
Fecha	Peso diario de huevos							Total peso huevos semanal	N° de aves vivas
	L	M	M	J	V	S	D		
Jaula 1									
Jaula 2									
Jaula 3									
Jaula 4									
Jaula 5									
Jaula 6									

**Anexo 8.** Registro de consumo de alimento según tratamientos

TABLA 3. REGISTRO DE CONSUMO DE ALIMENTO SEGÚN TRATAMIENTOS									
<i>TRATAMIENTO 0 sin aditivo</i>									
Fecha	Consumo diario de alimento							consumo semanal alimento	N° de aves vivas
	L	M	M	J	V	S	D		
Jaula 1									
Jaula 2									
Jaula 3									
Jaula 4									
Jaula 5									
Jaula 6									
<i>TRATAMIENTO 1 con 100 mg/kg curcumina</i>									
Fecha	Consumo diario de alimento							consumo semanal alimento	N° de aves vivas
	L	M	M	J	V	S	D		
Jaula 1									
Jaula 2									
Jaula 3									
Jaula 4									
Jaula 5									
Jaula 6									
<i>TRATAMIENTO 2 con 200 mg/kg curcumina</i>									
Fecha	Consumo diario de alimento							consumo semanal alimento	N° de aves vivas
	L	M	M	J	V	S	D		
Jaula 1									
Jaula 2									
Jaula 3									
Jaula 4									
Jaula 5									
Jaula 6									
<i>TRATAMIENTO 3 con 300 mg/kg curcumina</i>									
Fecha	Consumo diario de alimento							consumo semanal alimento	N° de aves vivas
	L	M	M	J	V	S	D		
Jaula 1									
Jaula 2									
Jaula 3									
Jaula 4									
Jaula 5									
Jaula 6									
<i>TRATAMIENTO 4 con 400 mg/kg curcumina</i>									
Fecha	Consumo diario de alimento							consumo semanal alimento	N° de aves vivas
	L	M	M	J	V	S	D		
Jaula 1									
Jaula 2									
Jaula 3									
Jaula 4									
Jaula 5									
Jaula 6									

## ANEXOS ESTADISTICOS

En esta sección se presentan los resultados complementarios del análisis estadístico aplicado a las variables productivas y de calidad del huevo. Para las variables porcentaje de postura, peso del huevo y consumo de alimento se utilizaron modelos lineales mixtos, considerando como efectos fijos el tratamiento, la semana y la interacción tratamiento × semana, y como efecto aleatorio la jaula. Para las variables de calidad del huevo evaluadas a los 30 y 60 días se emplearon modelos lineales mixtos con efectos de tratamiento, momento de evaluación y su interacción. La significancia estadística de los efectos se determinó mediante análisis de varianza tipo III, mientras que las comparaciones entre medias se realizaron mediante medias marginales estimadas con ajuste de Bonferroni.

### Anexo 9. Análisis de varianza del modelo lineal mixto para porcentaje de postura semanal

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>gl num</b>	<b>gl den</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Tratamiento	9246	2311.4	4	395	258.896	< 0.001
Semana	173104	11540.2	15	395	1292.579	< 0.001
Tratamiento × Semana	5709	95.2	60	395	10.658	< 0.001

NUM: numerador; DEN: denominador

Modelo lineal mixto con tratamiento, semana y su interacción como efectos fijos, y jaula como efecto aleatorio. Grados de libertad estimados con aproximación de Satterthwaite

### Anexo 10. Medias marginales estimadas del porcentaje de postura por tratamiento

<b>Tratamiento</b>	<b>Media ajustada (%)</b>	<b>EE</b>	<b>IC 95%</b>
T0	80.7	0.486	79.6 – 81.8
T1	81.5	0.486	80.4 – 82.6
T2	92.5	0.486	91.4 – 93.6
T3	83.8	0.486	82.7 – 84.9
T4	81.4	0.486	80.3 – 82.5

EE: error estándar; IC: intervalo de confianza

Medias marginales estimadas promediadas sobre las 16 semanas. T<sub>2</sub> presentó la media ajustada más alta

**Anexo 11.** Comparaciones múltiples del porcentaje de postura por tratamiento con ajuste de Bonferroni

<b>Comparación</b>	<b>Diferencia estimada</b>	<b>EE</b>	<b>gl</b>	<b>t</b>	<b>p ajustado</b>
T0 – T1	-0.832	0.431	395	-1.929	0.5445
T0 – T2	-11.818	0.431	395	-27.402	<0.0001
T0 – T3	-3.138	0.431	395	-7.277	<0.0001
T0 – T4	-0.703	0.431	395	-1.63	1
T1 – T2	-10.986	0.431	395	-25.473	<0.0001
T1 – T3	-2.306	0.431	395	-5.348	<0.0001
T1 – T4	0.129	0.431	395	0.299	1
T2 – T3	8.68	0.431	395	20.126	<0.0001
T2 – T4	11.115	0.431	395	25.772	<0.0001
T3 – T4	2.435	0.431	395	5.647	<0.0001

EE: error estándar; T: valor del estadístico t

Las diferencias significativas confirman la superioridad de T<sub>2</sub> respecto de todos los demás tratamientos

**Anexo 12.** Medias marginales estimadas del porcentaje de postura por tratamiento y semana

<b>Semana</b>	<b>T<sub>0</sub></b>	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>	<b>T<sub>3</sub></b>	<b>T<sub>4</sub></b>
1	20.20	20.80	25.40	24.90	21.10
2	53.80	56.80	77.90	61.70	57.30
3	61.00	63.50	90.20	67.10	64.00
4	67.00	69.20	97.30	72.00	70.10
5	73.50	76.00	98.40	79.30	77.50
6	85.30	84.70	98.90	88.10	86.60
7	89.90	87.40	97.50	91.90	88.20
8	90.70	88.70	98.70	92.80	89.10
9	91.10	92.40	99.40	94.60	92.40
10	92.10	93.70	100.00	93.60	94.00
11	92.60	93.70	100.00	95.40	93.90
12	90.60	94.50	100.00	95.20	94.60
13	95.60	94.90	100.00	96.00	93.40
14	95.80	95.50	97.00	96.20	93.70
15	95.80	96.00	99.40	96.20	92.60
16	95.90	96.30	100.00	96.20	93.70

Medias ajustadas del modelo mixto por tratamiento dentro de cada semana. EE común aproximado: 1.28

**Anexo 13.** Análisis de varianza del modelo lineal mixto para el peso del huevo

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>gl num</b>	<b>gl den</b>	<b>Valor F</b>	<b>p-valor</b>
Tratamiento	38.446	9.6114	4	395	113.5633	< 0.0001
Semana	194.213	12.9475	15	395	152.9816	< 0.0001
Tratamiento × Semana	30.892	0.5149	60	395	6.0834	< 0.0001

NUM: numerador; DEN: denominador; VALOR F = estadístico de prueba de Fisher

Modelo lineal mixto aplicado a la variable peso del huevo. Se evaluaron los efectos de tratamiento, semana y la interacción tratamiento × semana

**Anexo 14.** Medias marginales estimadas del peso promedio del huevo por tratamiento

<b>Tratamiento</b>	<b>Media ajustada (g)</b>	<b>EE</b>	<b>IC 95%</b>
T <sub>0</sub>	11.6	0.0386	11.5 – 11.7
T <sub>1</sub>	11.7	0.0386	11.7 – 11.8
T <sub>2</sub>	12.4	0.0386	12.3 – 12.5
T <sub>3</sub>	11.8	0.0386	11.8 – 11.9
T <sub>4</sub>	11.8	0.0386	11.7 – 11.8

EE: error estándar; IC: intervalo de confianza

T<sub>2</sub> presentó el mayor peso promedio ajustado del huevo

**Anexo 15.** Comparaciones múltiples del peso promedio del huevo por tratamiento con ajuste de Bonferroni

<b>Comparación</b>	<b>Diferencia estimada</b>	<b>EE</b>	<b>gl</b>	<b>t</b>	<b>p ajustado</b>
T <sub>0</sub> – T <sub>1</sub>	-0.17795	0.042	395	-4.238	0.0003
T <sub>0</sub> – T <sub>2</sub>	-0.82996	0.042	395	-19.765	<0.0001
T <sub>0</sub> – T <sub>3</sub>	-0.26443	0.042	395	-6.297	<0.0001
T <sub>0</sub> – T <sub>4</sub>	-0.18222	0.042	395	-4.339	0.0002
T <sub>1</sub> – T <sub>2</sub>	-0.65201	0.042	395	-15.527	<0.0001
T <sub>1</sub> – T <sub>3</sub>	-0.08649	0.042	395	-2.06	0.4008
T <sub>1</sub> – T <sub>4</sub>	-0.00427	0.042	395	-0.102	1
T <sub>2</sub> – T <sub>3</sub>	0.56552	0.042	395	13.468	<0.0001
T <sub>2</sub> – T <sub>4</sub>	0.64774	0.042	395	15.426	<0.0001
T <sub>3</sub> – T <sub>4</sub>	0.08222	0.042	395	1.958	0.5094

EE: error estándar; T: valor del estadístico t

T<sub>2</sub> difirió significativamente de todos los demás tratamientos.

**Anexo 16.** Análisis de varianza del modelo lineal mixto para el consumo del alimento

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	gl num	gl deno	Valor F	p-valor
Tratamiento	85.54	21.385	4	400	51.0716	< 0.0001
Semana	605.75	40.383	15	400	96.4418	< 0.0001
Tratamiento × Semana	64.26	1.071	60	400	2.5578	< 0.0001

NUM: numerador; DEN: denominador

**Anexo 17.** Medias marginales estimadas del consumo de alimento por tratamiento

Tratamiento	Media		
	ajustada (g/ave/día)	EE	IC 95%
T <sub>0</sub>	26.46	0.066	26.32 – 26.59
T <sub>1</sub>	25.9	0.066	25.77 – 26.03
T <sub>2</sub>	25.15	0.066	25.02 – 25.28
T <sub>3</sub>	25.67	0.066	25.54 – 25.80
T <sub>4</sub>	25.7	0.066	25.56 – 25.83

EE: error estándar; IC: intervalo de confianza

El mayor consumo ajustado correspondió a T<sub>0</sub> y el menor a T<sub>2</sub>

**Anexo 18.** Comparaciones múltiples del consumo de alimento por tratamiento con ajuste de Bonferroni

Comparación	Diferencia estimada	EE	gl	t	p ajustado
T <sub>0</sub> – T <sub>1</sub>	0.552	0.0934	395	5.91	<0.0001
T <sub>0</sub> – T <sub>2</sub>	1.3089	0.0934	395	14.013	<0.0001
T <sub>0</sub> – T <sub>3</sub>	0.7825	0.0934	395	8.378	<0.0001
T <sub>0</sub> – T <sub>4</sub>	0.7594	0.0934	395	8.13	<0.0001
T <sub>1</sub> – T <sub>2</sub>	0.7569	0.0934	395	8.104	<0.0001
T <sub>1</sub> – T <sub>3</sub>	0.2305	0.0934	395	2.468	0.1401
T <sub>1</sub> – T <sub>4</sub>	0.2074	0.0934	395	2.221	0.2695
T <sub>2</sub> – T <sub>3</sub>	-0.5264	0.0934	395	-5.635	<0.0001
T <sub>2</sub> – T <sub>4</sub>	-0.5495	0.0934	395	-5.883	<0.0001
T <sub>3</sub> – T <sub>4</sub>	-0.0231	0.0934	395	-0.248	1

EE: error estándar; T: valor del estadístico t

El tratamiento T<sub>2</sub> consumió significativamente menos alimento que T<sub>0</sub>, T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>.

**Anexo 19.** Análisis de varianza de variables de calidad del huevo

<b>Variable</b>	<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>gl num</b>	<b>gl den</b>	<b>F valor</b>	<b>p valor</b>
Peso de huevo	Tratamiento	1.373	0.34325	4	45	0.2725	0.8942
	Evaluación	1.6434	1.64341	1	45	1.3048	0.2594
	Tratamiento × evaluación	5.1905	1.29762	4	45	1.0303	0.4021
Diámetro de huevo	Tratamiento	130.39	32.597	4	45	5.547	0.001
	Evaluación	280.5	280.498	1	45	47.7327	<0.0001
	Tratamiento × evaluación	183.44	45.86	4	45	7.8041	<0.0001
Longitud de huevo	Tratamiento	125.83	31.458	4	50	11.8467	<0.0001
	Evaluación	276.28	276.276	1	50	104.0422	<0.0001
	Tratamiento × evaluación	40.38	10.095	4	50	3.8017	0.0089
Diámetro de yema	Tratamiento	4.8449	1.2112	4	50	0.6831	0.607
	Evaluación	4.9364	4.9364	1	50	2.784	0.1015
	Tratamiento × evaluación	3.7268	0.9317	4	50	0.5255	0.7175
Altura de yema	Tratamiento	14.1057	3.5264	4	50	0.5466	0.7023
	Evaluación	17.3666	17.3666	1	50	2.6917	0.1072
	Tratamiento × evaluación	8.8647	2.2162	4	50	0.3435	0.8473
Altura de albúmina	Tratamiento	38.803	9.7007	4	50	10.0019	<0.0001
	Evaluación	6.64	6.64	1	50	6.8461	0.0117
	Tratamiento × evaluación	19.631	4.9077	4	50	5.06	0.0017
Luminosidad (L*)	Tratamiento	19.756	4.9391	4	45	2.0564	0.1025
	Evaluación	12.322	12.3216	1	45	5.1302	0.0284
	Tratamiento × evaluación	14.33	3.5824	4	45	1.4916	0.2207
Enrojecimiento (a*)	Tratamiento	24.1458	6.0364	4	45	3.4849	0.0146
	Evaluación	2.7864	2.7864	1	45	1.6086	0.2112

Amarillez (b*)	Tratamiento × evaluación	4.5057	1.1264	4	45	0.6503	0.6296
	Tratamiento Evaluación	376.73	94.183	4	45	1.8056	0.1444
Peso de yema	Tratamiento × evaluación	10.26	10.259	1	45	0.1967	0.6595
	Tratamiento Evaluación	78.15	19.538	4	45	0.3746	0.8255
Peso de clara	Tratamiento × evaluación	11.1689	2.79222	4	45	7.5735	0.00009
	Tratamiento Evaluación	0.2124	0.21242	1	45	0.5761	0.4518
Peso de cáscara	Tratamiento × evaluación	6.3127	1.57817	4	45	4.2805	0.0051
	Tratamiento Evaluación	2.5884	0.64709	4	45	0.8196	0.5195
Peso de cáscara	Tratamiento × evaluación	0.1316	0.1316	1	45	0.1667	0.685
	Tratamiento Evaluación	4.5496	1.13739	4	45	1.4407	0.2362
Peso de cáscara	Tratamiento × evaluación	4.7077	1.17692	4	45	3.6053	0.0124
	Tratamiento Evaluación	0.3154	0.31537	1	45	0.9661	0.3309
Peso de cáscara	Tratamiento × evaluación	8.989	2.24725	4	45	6.8842	0.0002

NUM: numerador; DEN: denominador

Se muestran las variables con salida estadística visible en el archivo R. Para anexos, esta tabla resume adecuadamente los efectos principales y la interacción entre tratamiento y momento de evaluación.

**Anexo 20.** Medias marginales estimadas de la altura de albúmina por tratamiento y momento de evaluación

<b>Evaluación</b>	<b>T<sub>0</sub></b>	<b>T<sub>1</sub></b>	<b>T<sub>2</sub></b>	<b>T<sub>3</sub></b>	<b>T<sub>4</sub></b>
30 días	4.85	7.06	7.15	7.39	8.8
60 días	7.59	7.97	7.5	6.86	8.65

EE común = 0.402; IC 95% disponible en la salida original.

La altura de albúmina mostró efecto significativo de tratamiento, evaluación y su interacción.