

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE ZOOTECNIA**



**“PERFORMANCE PRODUCTIVA, CALIDAD INTERNA Y EXTERNA  
DEL HUEVO EN CODORNICES ALIMENTADAS CON INULINA EN  
DIETAS NORMALES Y BAJAS EN CALCIO”**

**TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ZOOTECNISTA**

**ALEJANDRA RAQUEL CORONADO IBARRA**

**LIMA-PERÚ**

**2022**












---

**La UNALM es la titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación  
(Art. 24. Reglamento de Propiedad Intelectual)**

## Document Information

<b>Analyzed document</b>	Tesis 2022 Abril 2022, 16.pdf (D133778783)
<b>Submitted</b>	2022-04-16 19:32:00
<b>Submitted by</b>	Otto Angelo Zea Mendoza
<b>Submitter email</b>	ottozea@lamolina.edu.pe
<b>Similarity</b>	9%
<b>Analysis address</b>	ottozea.unalm@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

<b>W</b>	URL: <a href="https://www.redalyc.org/journal/3586/358662621011/html/">https://www.redalyc.org/journal/3586/358662621011/html/</a> Fetched: 2021-07-17 01:07:21		<b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="http://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/download/2492/1200">http://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/download/2492/1200</a> Fetched: 2022-04-16 19:32:53		<b>2</b>
<b>W</b>	URL: <a href="http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S2007-90282019000300523">http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S2007-90282019000300523</a> Fetched: 2022-01-20 00:23:29		<b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/32115/Documento_completo.pdf?sequence=1">http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/32115/Documento_completo.pdf?sequence=1</a> Fetched: 2022-01-23 19:11:00		<b>4</b>
<b>W</b>	URL: <a href="http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S2224-61852017000200016">http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=S2224-61852017000200016</a> Fetched: 2022-01-20 00:23:28		<b>8</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://docplayer.es/15652832-Revision-inulina-en-algunos-derivados-carnicos.html">https://docplayer.es/15652832-Revision-inulina-en-algunos-derivados-carnicos.html</a> Fetched: 2022-04-16 19:33:14		<b>1</b>
<b>SA</b>	<b>TESIS_ REVISION II _Andrea Macas.docx</b> Document TESIS_ REVISION II _Andrea Macas.docx (D111428748)		<b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.scielo.br/j/rn/a/fmvMR8gndqhBSNYQV3bz4zQ/?lang=es">https://www.scielo.br/j/rn/a/fmvMR8gndqhBSNYQV3bz4zQ/?lang=es</a> Fetched: 2021-11-06 04:32:58		<b>10</b>
<b>SA</b>	<b>CarlosRojas-NelsonDuchi.docx</b> Document CarlosRojas-NelsonDuchi.docx (D87913709)		<b>5</b>
<b>SA</b>	<b>JOSE MARTINEZ REVISION.docx</b> Document JOSE MARTINEZ REVISION.docx (D86610123)		<b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/download/4714/4090">https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/download/4714/4090</a> Fetched: 2021-09-07 21:57:51		<b>1</b>

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE ZOOTECNIA**

**“PERFORMANCE PRODUCTIVA, CALIDAD INTERNA Y  
EXTERNA DEL HUEVO EN CODORNICES ALIMENTADAS CON  
INULINA EN DIETAS NORMALES Y BAJAS EN CALCIO”**

Presentada por:

**ALEJANDRA RAQUEL CORONADO IBARRA**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO ZOOTECNISTA**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

---

Mg.Sc. Marcial Cumpa Gavidia  
Presidente

---

Mg.Sc. Víctor Vergara Rubín  
Miembro

---

Mg.Sc. Pedro Ciriaco Castañeda  
Miembro

---

Ph.D. Otto Zea Mendoza  
Asesor

---

Ph.D. Carlos Vílchez Perales  
Co Asesor

## DEDICATORIA

*Quiero dedicar este trabajo especialmente a Dios, mi guía y fortaleza espiritual, que cada día me enseña a valorar a las personas que me acompañan y a apreciar la vida aún más.*

*A mis Padres: Raquel Ibarra y Alejandro Coronado, por ser mi mayor soporte y mi más grande motivación, son mis primeros maestros y los más sabios. Los amo*

*A mi hermano, Diego Coronado por su confianza y empuje para ingresar a la universidad, por estar presente celebrando los triunfos pero también estar en los desaciertos.*

*A mis familiares, docentes y amigos que creyeron en mí y me ayudaron durante mi etapa universitaria.*

*A los que ya no están físicamente pero me enseñaron con sus experiencias lecciones de vida: Angel Coronado, Aurelio Ibarra, R. Jair Ibarra (Negrito), Rodolfo Olortegui y C.N.J.T. Los recuerdo con nostalgia y cariño.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por darme la capacidad y las herramientas para lograr mis metas, por poner a las personas adecuadas en mi camino y por permitirme ver los frutos de mi esfuerzo.

A mis padres y a mi hermano, por su apoyo incondicional para convertirme en Ingeniera Zootecnista.

A mi asesor, el Ph.D. Otto Zea, quien con sus conocimientos, paciencia y motivación me guió en la investigación, pero también se convirtió en un ejemplo a seguir y un gran amigo. Gracias por los consejos de vida.

Al Ph.D Carlos Vílchez, por su orientación y revisión en la elaboración de mi tesis como co-asesor, por las instalaciones y equipos prestados. Asimismo, por ser cabeza del Círculo de Investigación en Avicultura la cual me encaminó en esta rama.

A los miembros del jurado: Mg.Sc. Víctor Vergara, Mg.Sc. Pedro Ciriaco, Mg.Sc. Marcial Cumpa por sus indicaciones y sugerencias para mejorar la investigación.

Al equipo que conforma la Granja de Aves por permitirme realizar mi trabajo de investigación en sus instalaciones y a las personas que aún en pandemia pudieron ayudarme en la etapa experimental, principalmente a Alan Jiménez, Carlos Chávez y Mauricio García.

A todos aquellos amigos y profesores que han formado parte de este proceso, especialmente a Danitza Fierro, César Ciprian, Alexander Huaranga y al Ph.D. Fritz Trillo.

A mi alma mater, la Universidad Nacional Agraria La Molina, por formarme como profesional, por las oportunidades brindadas y por haber inculcado en mí el espíritu de cultivar al hombre y al campo.

# ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1 Prebióticos.....	3
2.2 La inulina y su uso como prebiótico .....	4
2.3 Metabolismo del calcio .....	6
2.4 El calcio en animales de postura .....	7
2.5 Calidad de huevo.....	9
2.5.1. Generalidades del huevo de codorniz .....	10
2.6 Efecto de los prebióticos en el metabolismo del calcio en animales .....	13
2.6.1 Mecanismo de acción de los prebióticos en la absorción de calcio .....	14
2.6.2 Efecto de la inulina en la mineralización y morfometría ósea.....	17
2.6.3 Efecto de la inulina sobre la calidad del huevo.....	18
III. METODOLOGÍA.....	20
3.1 Lugar y duración .....	20
3.2 Instalaciones .....	20
3.3 Materiales y equipos.....	20
3.4 Animales experimentales .....	21
3.5 Tratamientos.....	21
3.6 Dietas experimentales .....	22
3.7 Manejo de los animales .....	22
3.8. Mediciones de parámetros productivos.....	24
3.9. Evaluación de la calidad de huevo .....	25
3.9.1. Calidad externa del huevo.....	25
3.9.2. Calidad interna del huevo .....	27
3.10 Diseño estadístico .....	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	31
4.1 Efecto de los niveles de inulina en dietas normales y bajas en calcio sobre el comportamiento productivo de codornices de postura.....	31
4.2. Efecto de los niveles de inulina en dietas normales y bajas en calcio sobre la calidad externa del huevo de codorniz de postura .....	35
4.3. Efecto de los niveles de inulina en dietas normales y bajas en calcio sobre la calidad	

interna del huevo de codorniz de postura.....	37
V. CONCLUSIONES.....	42
VI. RECOMENDACIONES.....	43
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	44
VIII. ANEXOS.....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición porcentual y valor nutricional de las dietas experimentales .....	23
Tabla 2: Efecto de los niveles de inulina en dietas normales y bajas en calcio sobre el comportamiento productivo de codornices de postura .....	32
Tabla 3: Efecto de los niveles de inulina en dietas normales y bajas en calcio sobre la calidad externa del huevo de codorniz de postura .....	36
Tabla 4: Efecto de los niveles de inulina en dietas normales y bajas en calcio sobre la calidad del huevo de codorniz de postura (diámetro de albúmen acuoso y denso, diámetro de yema, peso de albumen, peso de yema, altura de albumen y yema, color de yema).....	39
Tabla 5: Efecto de los niveles de inulina en dietas normales y bajas en calcio sobre la calidad interna del huevo de codorniz de postura (Unidades Haugh, índice de yema, índice de albumen, relación yema: albumen, porcentaje de albumen, porcentaje de yema).....	40



## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Porcentaje de postura .....	61
Anexo 2: Masa de huevo .....	62
Anexo 3: Conversión alimenticia .....	63
Anexo 4: Consumo de alimento .....	64
Anexo 5: Peso de huevo .....	65
Anexo 6: Mortalidad semanal y acumulada .....	66
Anexo 7: Medidas de calidad de cáscara de huevos de codorniz .....	67
Anexo 8: Medidas de calidad interna de huevos de codorniz .....	68
Anexo 9: Retribución económica del alimento .....	69

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>AA:</b>	Altura de albumen
<b>AAD:</b>	Ancho de albumen denso
<b>AAT:</b>	Ancho de albumen total
<b>AH:</b>	Ancho de huevo
<b>ASH:</b>	Área superficial del huevo
<b>AY:</b>	Altura de yema
<b>CY:</b>	Color de yema
<b>DAD:</b>	Diámetro de albumen denso
<b>DAT:</b>	Diámetro de albumen total
<b>DY:</b>	Diámetro de yema
<b>GC:</b>	Grosor de cáscara
<b>GE:</b>	Gravedad específica
<b>IA:</b>	Índice de albumen
<b>IFDH:</b>	Índice de la forma del huevo
<b>IY:</b>	Índice de yema
<b>LAD:</b>	Largo de albumen denso
<b>LAT</b>	Largo de albumen total
<b>LH:</b>	Largo de huevo
<b>PA:</b>	Peso de albumen
<b>PAL:</b>	Porcentaje de albumen
<b>PCUS:</b>	Peso de cáscara por unidad superficial
<b>PEC:</b>	Peso de cáscara
<b>PH:</b>	Peso de huevo
<b>POC:</b>	Porcentaje de cáscara
<b>PY:</b>	Peso de yema
<b>PYE:</b>	Porcentaje de yema
<b>RYA:</b>	Relación yema: albumen
<b>UH:</b>	Unidades Haugh

## RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la adición de inulina en dietas con niveles normales y bajos en calcio sobre la performance productiva, la calidad interna y externa del huevo en codornices de postura de 10 semanas de edad. Sesenta y cuatro codornices de la subespecie *Coturnix coturnix japonica*, fueron distribuidas en cuatro tratamientos con cuatro repeticiones y 4 animales por repetición. Los tratamientos fueron: T1, dieta basal con niveles normales de calcio (3.16%) sin inulina; T2, dieta basal con niveles normales de calcio (3.16%) con inulina (0.5%); T3, dieta basal con niveles bajos de calcio (2.37%) sin inulina, y T4, dieta basal con niveles bajos de calcio (2.37%) con inulina (0.5%). Los principales parámetros de producción fueron registrados. Al final del experimento se colectaron huevos por cada tratamiento para evaluar la calidad interna y externa. Los datos fueron analizados bajo un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 2 x 2, considerando dos niveles de calcio (2.37 y 3.16%) y dos niveles de inulina (0.0 y 0.5%), y se utilizó el test de Tukey para la comparación de medias. En parámetros productivos no hubo diferencia significativa entre el tratamiento bajo en calcio con inulina y el tratamiento con nivel normal de calcio sin inulina y así mismo el nivel de calcio tuvo efecto sobre el consumo de alimento. En calidad externa del huevo, la inulina tuvo influencia sobre el índice de forma del huevo, siendo mayor con un valor de 0.5% de inulina. En calidad interna del huevo, se tuvieron menores valores en el diámetro de yema con un nivel de 2.37 % de calcio. En conclusión, con la adición de inulina al 0.5 % en dietas con niveles bajos de calcio, se obtienen parámetros de producción similares a dietas con niveles normales de calcio.

**Palabras clave:** Parámetros productivos, calidad, codorniz, prebiótico, cáscara, yema

## ABSTRACT

The objective of study was to evaluate the effect of adding inulin to diets with normal and low calcium levels on productive performance, external and internal egg quality in 10-week-old laying quail. Sixty-four laying quail belonging to the subspecies *Coturnix coturnix japonica* were used, distributed in four treatments with four repetitions and 4 animals per repetition. Each group received one of the following treatments: T1, basal diet with normal calcium levels (3.16%) without inulin; T2, basal diet with normal calcium levels (3.16%) with inulin (0.5%); T3, low calcium basal diet (2.37%) without inulin, and T4, low calcium basal diet (2.37%) with inulin (0.5%). The main production parameters were recorded. At the end of experiment, eggs were collected for each treatment to evaluate the internal and external quality. Data were analyzed under a completely randomized design (DCA) with a 2 x 2 factorial arrangement, considering two levels of calcium (2.37 and 3.16%) and two levels of inulin (0.0 and 0.5%), and it was used Tukey's test for comparison of means. Results showed that in productive parameters that there was no significant difference between low calcium treatment with inulin and treatment with normal level calcium without inulin and calcium level had an effect on feed consumption. In external egg quality, inulin had an influence on the egg shape index, being higher with a value of 0.5% inulin. In egg internal quality there were lower values in yolk diameter with a level of 2.37% of calcium. In conclusion, with the addition of 0.5% inulin in diets with low calcium levels, production parameters similar to diets with normal calcium levels are obtained.

**Keywords:** Production parameters, quality, quail, prebiotic, shell, yolk

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la crianza de codornices de postura viene cobrando cada vez más interés debido al bajo costo que implica iniciar con un negocio de producción de huevos de esta especie y a su rusticidad, razón por la cual, es fundamental mantenerlas en un buen estado de salud (Acuña & Cristante, 2016). La puesta de huevos es un proceso natural en las aves; sin embargo, les exige una demanda alta de calcio durante la formación del huevo, haciéndolas más susceptibles a presentar problemas óseos cuando la absorción del mineral es deficiente, así como también a producir cáscaras débiles (Nys, 2017; Bain *et al.*, 2016). La disminución de huevos comerciales por mala calidad de cáscara ocasiona pérdidas económicas en la industria avícola, siendo actualmente uno de sus principales problemas (Alfonso *et al.*, 2021; Inca, 2016).

Los prebióticos son aditivos fibrosos que han sido estudiados como posibles reemplazantes de los antibióticos promotores de crecimiento. Pero otra de sus propiedades que llama la atención es su influencia en la absorción del calcio. Algunos trabajos realizados en aves, que utilizaron prebióticos han demostrado un efecto positivo en los parámetros productivos y salud ósea (Shang *et al.*, 2019). Sin embargo, otros autores no encontraron tal efecto benéfico (Zea *et al.* 2019). En esa misma línea, algunas investigaciones señalan a la inulina como el prebiótico que tiene mejor efecto en el metabolismo del calcio, mientras que otros estudios evidencian que el mejor efecto se da en dietas deficientes del macromineral (Lavanda *et al.*, 2011; Houshmand *et al.*, 2011).

Esta característica de los prebióticos amerita ser corroborada en nuevos estudios experimentales ya que a pesar de que existe evidencia del uso de prebióticos en aves y otras especies, al respecto, hay poca información en nuestro medio sobre la influencia de la inulina en el metabolismo del calcio de codornices de postura y sus efectos en el desempeño productivo, calidad externa e interna del huevo. A causa de ello, el aditivo es poco usado en la dieta de codornices de postura para ese fin. Por tanto, el presente trabajo brindará información sobre el efecto de la inulina en dietas normales y bajas en calcio

sobre la performance, calidad externa e interna del huevo de codorniz, debido a la importancia que significaría tener un aditivo que estimule la absorción del mineral en condiciones donde la absorción normal en el intestino delgado no sea suficiente. Asimismo, usar a la codorniz como animal modelo para futuras investigaciones en aves ponedoras poco estudiadas, en aves ponedoras de edad avanzada de producción o en el ser humano considerando el potencial uso de un aditivo que tenga influencia en el metabolismo del calcio para que pueda ser usado en el tratamiento de la osteoporosis.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Prebióticos

Se definen como ingredientes alimenticios no digestibles que influyen de forma beneficiosa al hospedero mediante la estimulación selectiva del crecimiento y actividad de una o un número limitado de bacterias benéficas en el intestino, otorgando un efecto positivo en el organismo (García *et al.*, 2012). Es decir, ingredientes selectivamente fermentables que modifican la microbiota intestinal, diferentes a los probióticos que son microorganismos vivos, los que administrados en cantidades adecuadas traen beneficios a la salud (Lavanda *et al.*, 2011).

Todos los prebióticos son clasificados como fibra, pero no se cumple que toda fibra sea considerada un prebiótico. La fibra alimentaria se define como aquella que se compone de lignina y aquellos polisacáridos de los vegetales resistentes a la hidrólisis de las enzimas digestivas y que no son absorbidos en el intestino delgado (García & Velasco, 2007), los cuales al llegar al colon sirven como sustrato para los microorganismos que habitan en él, produciendo energía, sustratos metabólicos y micronutrientes para el organismo del animal. Así pues, la única diferencia entre fibra prebiótica y fibra alimentaria se encuentra en que los prebióticos estimulan el crecimiento selectivo de especies beneficiosas del microbiota intestinal, además de realizar las actividades antes mencionadas para la fibra dietética (Lamsal, 2012).

Para que un compuesto sea considerado en la dieta como prebiótico debe desempeñar las siguientes particularidades: (Villanueva, 2017).

- No debe ser susceptible a hidrólisis o ser absorbido en el tracto gastrointestinal superior (esófago, estómago y duodeno).
- Ser fermentado selectivamente por bacterias beneficiosas de la microbiota intestinal
- Debe proveer al organismo que lo consume beneficios en la salud. Según Khramtsov *et al.* (2018), de acuerdo a su estructura química tenemos los siguientes prebióticos:

- De naturaleza glucídica: Monosacáridos (tagatosa, ramnosa, arabinosa), oligosacáridos (lactulosa, galacto-oligosacáridos, lactosacarosa, fructo-oligosacáridos, pecto-oligosacáridos, isomalto-oligosacáridos, manano-oligosacáridos, xilooligosacáridos, gentio-oligosacáridos, gluco-oligosacáridos, soja y otros); polisacáridos (inulina, pectinas, almidón resistente, quitasanos); alcoholes de azúcar (Lactitol, sorbitol, maltitol).
- De naturaleza proteica: péptidos (en particular de la lactoferrina)
- Otros: Lactobiónicos ácidos, polifenoles

Entre las funciones que se destacan de algunos prebióticos, como los fructooligosacáridos (FOS) se señala una mejora en los índices de la salud intestinal al cambiar positivamente la ecología microbiana intestinal, además intervienen en la estimulación del sistema inmune por Swanson *et al.* (2002). Igualmente, Wursch & Pi-Sunyer (1997) demostraron que los prebióticos intervienen en funciones fisiológicas, como regular los niveles de glucosa, el metabolismo lipídico y mejoran la absorción de minerales haciéndolos más disponibles en el organismo.

En relación a la mejora en la absorción de minerales demostrada por Aggett *et al.* (2003) se conoce que el incremento en la biodisponibilidad de minerales se da principalmente por la disminución en el pH luminal y el incremento en la concentración de minerales ionizados en el intestino grueso. Esto trae como consecuencia, el aumento de la solubilidad, así como la difusión activa y pasiva de minerales a través de las células intestinales (Holloway *et al.*, 2007).

## **2.2 La inulina y su uso como prebiótico**

La inulina es el nombre con el que se designa a una familia de glúcidos complejos (polisacáridos), compuestos de cadenas moleculares de fructosa, se considera por tanto un fructosano o compuesto formado por una mezcla de oligómeros y polímeros de unidades de fructosa. Presenta la particularidad de ser muy heterogénea en su grado de polimerización (Lara *et al.*, 2017).

Químicamente, los fructanos de tipo inulina, son un material lineal de carbohidratos polidispersos consistente principalmente, si es que no exclusivamente, de enlaces  $\beta$  (2-1)



fructosil-fructosa (Whisner & Castillo, 2017). Al final de la cadena está presente una unidad de glucosa a través de un enlace tipo sacarosa (Lopez *et al.*, 2003). Por tanto, la inulina es un término genérico que cubre todos los fructanos lineales de tipo  $\beta$  (2:1). Desde un punto de vista estructural/polimérico (lineal), la inulina puede ser considerada como una cadena principal de polioxietileno a los que están unidos los restos de fructosa, que forman una estructura helicoidal. Las cadenas de fructosa tienen la particularidad de terminar en una unidad de glucosa unida por un enlace  $\alpha$ -(1- 2) (residuo  $\beta$ -D-glucopiranosil), pero también el monómero terminal de la cadena puede corresponder a un residuo de  $\beta$ -D-fructopiranosil (Barclay *et al.*, 2010).

Los fructanos tipo inulina tienen una serie de efectos beneficiosos cuando se incluyen en la dieta, tanto en el hombre como en los animales, sobre la composición y actividad de la microbiota intestinal, la producción de heces, la absorción de Ca y otros minerales, la inmunidad y resistencia a infecciones y la homeostasis lipídica. Además, estos carbohidratos también reducen el riesgo de determinadas enfermedades como las infecciones intestinales (Trushina *et al.*, 2005).

Por otro lado, se ha postulado que los prebióticos, y más precisamente los fructanos, podrían afectar al desarrollo intestinal, tanto a nivel macroscópico (longitud del intestino), como microscópico (tamaño y densidad de vellosidades y microvellosidades) (Ortiz *et al.*, 2011). De esta forma, mediante el uso de prebióticos como los fructanos, la capacidad que tiene el intestino para absorber alimento, y para digerirlo determinada por parámetros tales como: longitud del intestino, tamaño, densidad y disposición de las vellosidades intestinales, y tamaño y densidad de las microvellosidades de los enterocitos, se verá mejorada.

Algunos investigadores han señalado que los prebióticos de cadena corta, como los FOS que contienen 2-8 enlaces por molécula de sacárido, son fermentados más rápidamente en el lado derecho del colon, brindando alimento a las bacterias de esa zona. Los prebióticos de cadena larga, como la inulina, de 9 - 64 enlaces por molécula de sacárido, son fermentados con mayor lentitud, alimentando preferentemente a las bacterias del lado izquierdo del colon. Los FOS enriquecidos con inulina alimentan las bacterias de ambos lados del colon (Falony *et al.*, 2009).

### 2.3 Metabolismo del calcio

La absorción de calcio en el intestino se da a través de un proceso saturable y dependiente de energía o transcelular y de un proceso pasivo o paracelular (Christakos *et al.*, 2003). El primero se da en condiciones donde la concentración de calcio es baja, por lo que se necesita de una fuente energética que ayude a movilizar el mineral en contra de un gradiente electroquímica. El Ca luminal entra a la célula por los canales de calcio que se ubican en la membrana apical, en este lugar el nutriente es tomado por una proteína transportadora intracelular llamada calbindina (CaBP) y posteriormente es liberado por extrusión por una ATPasa a través de la membrana basolateral de los enterocitos (Mineo *et al.*, 2001). De esta forma, se produce absorción neta de  $\text{Ca}^{2+}$  desde el lumen intestinal hasta el compartimiento extracelular. Esto ocurre principalmente en el duodeno y yeyuno superior y se absorbe cerca del 20 % del mineral (Christakos *et al.*, 2003; Coxam, 2005).

La segunda vía, es no saturable y el proceso ocurre a lo largo del intestino delgado y grueso. Es independiente de la dieta y de regulaciones fisiológicas, siendo únicamente afectada por la concentración de calcio del lumen (Weaver, 2005). Por medio de este transporte se absorbe cerca del 80 % del mineral a través de las uniones estrechas entre las células de la mucosa (Peng *et al.*, 2003; Cashman, 2003). El movimiento de  $\text{Ca}^{2+}$  a través de las uniones herméticas celulares es un proceso pasivo que ocurre cuando el calcio iónico difusible que alcanza la luz del intestino delgado es normal o alto. Por tanto, cuando las sales de calcio son más susceptibles de disociarse a  $\text{Ca}^{2+}$  difusible es cuando el aporte de calcio por esta vía es más alto (Quesada & Sosa, 2011).

En el proceso de regulación del metabolismo del calcio en vertebrados la vitamina D3 desempeña una función primordial y necesita estar biológicamente activa, por lo que debe ser metabolizada en el organismo a productos más polares. Esto se produce cuando es transportada por la sangre al hígado y es hidroxilada [25(OH)-vitamina D3], y luego pasa al riñón donde sufre una segunda hidroxilación para convertirse en la forma hormonalmente activa: 1,25-dihidroxicolecalciferol o calcitriol. Esta composición le permitirá controlar ambas rutas de absorción de calcio (Russo De Boland, 2005).

La principal acción de la vitamina D consiste en elevar la absorción de calcio y fósforo en el intestino. Este órgano estimula el reclutamiento de los canales de calcio pre sintetizados

hasta el borde en cepillo del enterocito. Así como también, tiende a inducir la expresión de las proteínas transportadoras de calcio o calbindinas, cuya función consiste en el paso de calcio a través del enterocito. Además, tiene la función de facilitar la entrada de calcio a la circulación desde la zona basolateral de la célula del intestino, a través de la bomba ATP que depende de vitamina D (Valero & Hawkins, 2007).

Como consecuencia, un aumento de calcio en la dieta producirá una disminución de los procesos transcelulares saturables y se utilizará con mayor proporción los procesos paracelulares no saturables. Contrariamente, si el consumo de calcio es menor en la dieta, se incrementará la regulación de calcio por medio de procesos transcelulares y menor será por procesos paracelulares. Se asume entonces que, cuando el calcio en dieta es deficiente los mecanismos transcelulares o activos se tornan más importantes (Quesada & Sosa, 2011).

Factores como la edad del ave, son causantes de una reducción en la absorción de calcio, pues a medida que el animal envejece la actividad de la enzima 25-hidroxicolecalciferol 1- $\alpha$  hidroxilasa decrece generando que la concentración plasmática de la 1,25-dihidroxicolecalciferol sea menor. Otro ejemplo, sería los días en que las ponedoras no forman la cáscara del huevo, durante ese tiempo el consumo de calcio disminuye pues no es necesario un nivel alto, estudios demostraron que al ocurrir ello, la eficiencia de la absorción también se reduce. Sin embargo, durante la formación de cáscara se demandaría una gran cantidad de energía para el transporte del mineral, y se utilizaría en mayor cantidad procesos activos (Aker & Avelar, 2009).

#### **2.4 El calcio en animales de postura**

El calcio es un mineral básico en el alimento destinado a aves ponedoras, pues participa de forma activa en el mantenimiento, producción de huevos y formación de la cáscara. Paralelamente, su ubicación en el esqueleto tiene relevancia, debido a que el 99 % de este mineral forma parte de los huesos y pico. Además, dentro del organismo del ave, interviene en la coagulación de la sangre, en la constricción y relajación de los vasos sanguíneos, transmisión de los impulsos nerviosos, contracción de los músculos, secreción de hormonas, entre otras funciones (Chipao, 2014).

La concentración del calcio iónico dentro del organismo de la codorniz se ve alterada en mayor proporción durante la formación de la cáscara del huevo, ya que se requiere una absorción alta del mineral en el proceso. A causa de ello, el animal debe usar todos los mecanismos que tenga a su disposición para poder cubrir con la demanda del mineral (Suárez & Quintanilla, 2012). En gallinas, el cascarón pesa 5 a 6 g y contiene cerca de 2 g de Ca, mientras que el esqueleto pesa aproximadamente 2 kg y contiene cerca de 20 g de calcio (Jara & Canelo, 2010). Por lo mencionado anteriormente, el cascarón se encuentra formado casi totalmente por carbonato de calcio, pues representa el 95 % de su composición, mientras que el resto de la estructura son membranas y compuestos orgánicos.

El útero de las aves es el lugar donde se forma la cáscara, y esta actividad no se da a una tasa constante, sino que al comienzo la velocidad con la cual se va produciendo el cascarón es menor y alcanza su máxima velocidad en su fase intermedia, para luego nuevamente disminuir (Manetti, 2019). Durante el proceso de formación de la cáscara se requiere la extracción de calcio a partir de la sangre de forma constante ya que el útero no puede almacenarlo. Con tal motivo, la renovación del macromineral en la sangre debe darse cada 12 horas para lograr un depósito de 150 mg de calcio en la cáscara (Villanueva, 2017).

En caso de que no hubiera otra fuente de calcio disponible y tomando en cuenta que la formación del cascarón se da en horas de oscuridad, donde el consumo de alimento es bajo, la única reserva que el animal tendría para suplir con la necesidad del mineral, sería la médula ósea (Correa, 1999). Como consecuencia, si tenemos una alta intensidad en la postura, se requerirá un mayor aporte de calcio y si el tiempo de esta actividad es prolongado menor será la calidad del huevo; puesto que, gallinas de mayor edad producen huevos de mayor tamaño y la cantidad de carbonato de calcio solicitado para la producción puede no ser suficiente (García *et al.*, 2001). Se debe tomar en cuenta entonces, que las únicas dos fuentes de obtención del mineral para el organismo, es por medio del alimento y la procedente de los huesos.

Si el nivel de calcio es normal en la ración para ponedoras, entonces el 80 % del calcio necesario para la formación de la cáscara vendrá del alimento, mientras que el otro 20 % será adquirido de los huesos del ave. Pero, si se tiene un bajo nivel de calcio en la ración el hueso aportaría entre 30 a 40 % y en dietas deficientes de este mineral, el esqueleto sería la

principal fuente de calcio (Gonzalez, 2012). Siendo ese el caso, la gallina ponedora desarrolla osteoporosis, afectando su resistencia ósea y causando problemas de bienestar animal en la industria del huevo (Wistedt *et al.*, 2019).

## **2.5 Calidad de huevo**

La calidad de huevo es un término general que se refiere al conjunto de normas internas y externas que se asignan a los huevos (Kofi & Eichie, 2019). Varias de estas reglas se fundamentan en medidas subjetivas, mientras que otras se basan en una medida más cuantitativa. También, la calidad es determinada por criterios específicos que reflejan propiedades morfológicas, químicas, físicas, organolépticas y puntos microbiológicos (Roa, 2015).

Los huevos tienen que ser uniformes en color, tamaño y forma. La cáscara debe ser lisa, limpia y libre de grietas. El peso, la forma y el color del huevo son factores que influyen en la categorización, el costo, la preferencia de los clientes y en la función de eclosión. Esta apreciación constituye una influencia notable en el valor comercial y en las posibilidades de incubación (King'ori, 2011).

De otro lado, los defectos en la calidad del huevo, como las quebraduras, suciedades en cáscara, manchas de sangre y carne, decoloración de cáscara, entre otros, representan para la industria avícola uno de los más grandes inconvenientes en la actualidad, pues cerca del 10% de los huevos elaborados no cumplen con los estándares de calidad, por lo cual no llegan al consumidor, costándole a la industria varios millones de dólares por año (Inca, 2016).

El valor de la calidad de cáscara radica según Chipao (2014), en el hecho de que no menos del 6 al 8% de los huevos producidos, aun cuando son operados y transportados correctamente se rompen, ocasionando pérdidas económicas a los integrantes que conforman la cadena de producción avícola, como lo son los productores de huevos de mesa y los productores de huevos para incubación. El desarrollo del embrión depende mucho de la solidez de la cáscara, debido a que le otorga la protección necesaria contra infecciones y a que evita que el huevo pierda agua, además de intervenir en la formación del esqueleto del embrión siendo una reserva importante de calcio (Lavelin *et al.*, 2000).

Del mismo modo, Pavlovski *et al.* (2012) sostienen que los huevos para consumo se encuentran vulnerables frente a las perturbaciones que existen en su producción y comercialización, haciéndolos propensos a las rupturas y al agrietamiento, teniéndose una disminución en las ganancias monetarias. Muchos estudios se han realizado con el fin de menguar los daños. No obstante, Halls (2005), señala que, a pesar de las mejoras obtenidas en la calidad de cáscara mediante la manipulación de los factores nutricionales, ambientales y genéticos, todavía la incidencia de huevos rotos es alta.

Por otra parte, es importante destacar, que no solo la calidad se refleja en la consistencia de la cáscara sino también guarda relación con la higiene del huevo, es decir, huevos con mayor grosor de cáscara, están menos expuestos a contaminación por bacterias (Chipao, 2014).

Además, la estructura del cascarón no es simple, está compuesta por diferentes capas, por lo que el proceso de su formación ocupa cerca del 80 % del tiempo que se utiliza en la formación total del huevo. En este sentido, la cáscara es altamente susceptible a alteraciones en su calidad, durante su pasaje en el oviducto, pues este período abarca entre 18 a 20 horas en las cuales la ponedora recibe estímulos externos que influyen sobre su producción (Hunton, 1995).

Los defectos más comunes que se encuentran en los huevos son los cascarones débiles, a causa de la falta de absorción de calcio, que ocurre cuando la ponedora se encuentra en el tercio final de su postura y es muy vieja, o el alimento ofrecido no cuenta con el nivel adecuado de calcio. Sin embargo, también se puede producir cuando el ave pasa por un periodo de estrés, ya sea por altas temperaturas, alta densidad o por enfermedad (Rodas, 2004).

### **2.5.1. Generalidades del huevo de codorniz**

Los huevos de codorniz se distinguen por presentar manchas pequeñas de diseño irregular a lo largo del cascarón, siendo estos pigmentos de origen genético (Nys & Sauveur, 2004). El peso del huevo fluctúa extensamente, pudiendo variar de acuerdo a la edad de postura. Así, por ejemplo, en el trabajo de Hegab & Hanafy, (2019) se encontró un peso de huevo de 13.73 gramos en codornices de 18 a 20 semanas de edad. Asimismo, posee una forma

ovoide con un diámetro transversal de 2.41 cm y un diámetro longitudinal de 3.25 cm aproximadamente (Cornelio, 2020).

Nutricionalmente, contiene 158 calorías de energía, 74.6% agua, 13.1% proteína, 11.2% grasa, y 1.1% ceniza total. Dentro del contenido mineral tenemos 0.59 mg de calcio, 220 mg de fósforo y 3.8 mg de hierro; mientras que el contenido de vitaminas es 300 UI incluyendo 0.12 mg de vitamina B1, 0.85 mg de vitamina B2 y 0.10 mg de ácido nicotínico (Villanueva, 2017). Presentan similar estructura los huevos de gallina, es decir, están conformados por una cáscara (10.2%), clara (46.1%), yema (42.3%) y una membrana (1.4%); no obstante, en el caso de los huevos de gallina, la proporción entre la clara (58%) y la yema (31%) es diferente (Perez & Perez, 1974).

La cáscara es la parte externa del huevo, que actúa como barrera protectora separando el contenido interno del huevo con el medio ambiente que lo rodea, previniendo su contaminación con bacterias y otros patógenos, cumpliendo también un rol de envase para esta importante fuente de nutrientes a nivel comercial. Se encuentra constituida por 94 % de carbonato de calcio con pequeñas cantidades de carbonato de magnesio, fosfato de calcio y demás materiales orgánicos incluyendo proteínas. Posee millones de poros que posibilita al huevo respirar, permitiendo el intercambio gaseoso entre la parte interior hacia el exterior (Arenas, 2016 & Cornelio, 2020).

Desde adentro hacia afuera, la cáscara de huevo comprende las membranas de la cáscara, y la cáscara verdadera que incluye la capa mamilar, la capa empalizada, la capa vertical y la cutícula (Hamilton, 1986, Ketta, & Tůmová, 2016; Hincke *et al.*, 2008). Las membranas de la cáscara son fibras entrelazadas que están organizadas morfológicamente en laminas o capas internas y externas que encierran el albumen. Los sitios de nucleación específicos en la superficie externa de la capa externa de la membrana, atraen sales de Ca e inician así la formación de la capa mamilar (Hincke *et al.* 2012). Los problemas que ocurran en esta capa resultarán en una mala organización de la estructura de la cáscara y en una debilidad de su resistencia (Parsons, 1982).

Sobre la capa mamilar se desarrolla la capa empalizada, la cual es considerada la capa principal del cascarón al ser la más gruesa. Comprende alrededor de 200  $\mu\text{m}$  de espesor en donde los cristales de calcita crecen con un aspecto largo y perpendicularmente a la

superficie. Seguidamente, se encuentra la capa vertical, cuya estructura cristalina tiene mayor densidad que la capa empalizada (Hincke *et al.* 2012). Por encima de la capa vertical, encontramos la cutícula que es una capa orgánica que cubre la superficie exterior de la cáscara del huevo; sin embargo, presenta una distribución irregular por lo que no toda la cáscara es cubierta. Asimismo, cumple una función protectora previniendo la entrada de microorganismos patógenos al contener sustancias antimicrobianas como la lisozima y la ovotransferrina, y permite el intercambio gaseoso; es decir, la salida de CO<sub>2</sub> y de vapor de agua y entrada de O<sub>2</sub> (Rose & Hincke, 2009; Kusuda *et al.* 2011).

Otro de los compartimentos que presenta el huevo de codorniz, es la clara o también denominada albumen (Baykalir *et al.* 2020; Starck, 2021; Romanoff & Romanoff, 1949). Cumple un rol importante como amortiguador, protegiendo al embrión cuando es sometido a choques bruscos, así como también, desempeña funciones relacionadas a la incubación (Bissoni, 1993). Su estructura está compuesta por cuatro capas, denominadas: la externa fluida, densa, interna fluida y chalazas.

La proporción que ocupan cada una depende de factores como la raza, condiciones ambientales, tamaño del huevo y nivel de producción (Cornelio, 2020). Además, se caracteriza por su alto contenido de proteínas, aminoácidos esenciales como la leucina (1139.0 mg 100g<sup>-1</sup>), valina (869.5 mg 100g<sup>-1</sup>) y lisina (790.0 mg 100g<sup>-1</sup>); y aminoácidos no esenciales como el ácido aspártico (1488.0 mg 100g<sup>-1</sup>), alanina (739.0 mg 100g<sup>-1</sup>) y serina (665.5 mg 100g<sup>-1</sup>), siendo estas concentraciones obtenidas del trabajo de Tungjaroenchai *et al.* (2013).

La yema consiste en una dispersión de partículas en una fase acuosa o plasma que contienen los huevos, cuyo color varía entre amarillo oscuro a anaranjado intenso (Cornelio, 2020). En ella se encuentran varias vitaminas, lípidos y minerales, y por esta razón, es considerada una parte nutricionalmente muy valiosa. Así, por ejemplo, Tungjaroenchai *et al.* (2013), al evaluar huevos de codornices de diferentes mercados locales de Tailandia, obtuvieron las siguientes concentraciones en la yema: ácido linoleico (2.58 g 100g<sup>-1</sup>), ácido docosahexaenoico (0,50 g 100g<sup>-1</sup>) y ácido araquidónico (0.44 g 100g<sup>-1</sup>) siendo los ácidos grasos esenciales en mayor proporción, mientras que, en ácidos grasos no esenciales principalmente se obtuvo, ácido oleico (8.84 g 100g<sup>-1</sup>), ácido palmítico (5.13 g 100g<sup>-1</sup>) y ácido esteárico (2.03 g 100g<sup>-1</sup>).



Asimismo, las concentraciones de vitaminas liposolubles fueron: vitamina E (tocoferol, 5920.0  $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ), vitamina A (717.0  $\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$ ) y vitamina D (1.14  $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ ). Por otra parte, como minerales esenciales estos autores reportaron un mayor porcentaje de nitrógeno (6.36 %), comparado con el calcio, magnesio, fósforo y potasio. Con respecto a los minerales traza la mayor concentración fue de hierro (116.0  $\text{mg L}^{-1}$ ) y zinc (70.6  $\text{mg L}^{-1}$ ) y en menor concentración manganeso y cobre.

## **2.6 Efecto de los prebióticos en el metabolismo del calcio en animales**

El uso de prebióticos en dietas ofrecidas a animales en algunos casos ha traído beneficios en el metabolismo y en la absorción de minerales como el calcio. Prueba de ello, son los ensayos desarrollados en ratas, en donde la utilización de dichos aditivos no sólo incrementa la absorción de calcio sino además estimula su deposición en el hueso (Houshmand *et al.*, 2011). Asimismo, en otros estudios utilizando gallinas ponedoras, se observó una relación entre la absorción adicional de calcio con la mejora de los parámetros productivos y la calidad del huevo, añadiendo prebióticos en la alimentación (Shang *et al.*, 2019).

Se conoce que el metabolismo y la absorción de los minerales es regulada por controles homeostáticos, de manera que la biodisponibilidad del calcio aparentemente sería más notoria en animales que exijan un aumento en sus requerimientos del nutriente, como, por ejemplo, en condiciones deficientes del mineral, luego de una extracción o pérdida de algún órgano involucrado en el metabolismo del calcio, o en etapas de vida en donde la absorción del mineral se reduce. Al respecto, existen estudios que indican un mayor efecto de los prebióticos cuando los animales se encuentran en situaciones con bajos niveles de nutrientes.

Así, por ejemplo, Kashimura *et al.* (1996), evaluaron el efecto de los oligómeros basados en isomaltulosa (IBO) utilizados como prebióticos en 4 grupos de ratas, los grupos que fueron suplementados con 3 % de IBOs presentaron mayores valores de calcio, magnesio y fósforo en la tibia. Sin embargo, el mejor resultado se dio en las ratas alimentadas con dietas parcialmente deficientes de calcio y el aditivo.

Por su parte, Ohta *et al.* (1998), evaluaron la influencia del FOS en ratas gastrectomizadas, concluyendo que la inclusión del aditivo, no solo mejora la absorción intestinal de calcio, sino que también sirven para mantener la homeostasis local del calcio en el intestino al aumentar los niveles de calbindina (CaBP) mucoso en el intestino grueso. Sugiriendo que, posiblemente el prebiótico aumentó de forma más efectiva el valor de la CaBP en el colon, y a causa de ello, la absorción de calcio fue mayor que en ratas normales. Asimismo, la adición del FOS evitó que se produzca osteopenia posgastrectomía.

### **2.6.1 Mecanismo de acción de los prebióticos en la absorción de calcio**

Aún se desconoce el mecanismo de acción de los prebióticos, pero a raíz de lo observado en las investigaciones, autores como Roberfroid (2005) & Levrat *et al.* (1991), plantearon algunas hipótesis. Una de ellas se apoya en el hecho de que los prebióticos provocan fermentaciones microbianas en el intestino, causando una elevación en la concentración de metabolitos como los AGCC, a su vez esto originaría un descenso en el pH, induciendo un aumento del transporte activo y la absorción pasiva de los minerales por medio del epitelio intestinal.

Mientras que la otra, se fundamenta en el crecimiento de la microbiota en el colon ascendente y posiblemente en partes más distales, ocasionada por la inulina, esto traería algunas modificaciones en el intestino que facilitarían la absorción mineral. No obstante, otros autores señalan que el mecanismo de acción de los prebióticos sobre el metabolismo de los minerales puede ser explicado mediante tres teorías (Zea *et al.*, 2019).

La primera se sostiene en los efectos que tienen los prebióticos sobre la producción de ácidos grasos volátiles. Se sabe que una de las sustancias resultantes de la fermentación por bacterias cecales, son los ácidos grasos volátiles (AGV). Particularmente, en el caso de las aves, la concentración de AGV es alta en el ciego, y está constituida por propionato, butirato y en mayor medida por acetato. Siendo la concentración de 125 nM en pollos y 70 nM en gansos (Cashman, 2003).

Sin embargo, cuando se añade prebióticos en la dieta de estos animales, las sustancias prebióticas que logran evitar la digestión y que no son absorbidas en el intestino delgado, pasan al intestino grueso y mediante la intervención de la microbiota que habita en el

ciego, son tomadas como sustratos para la formación de los AGCC, principalmente acetato, propionato y butirato, además de ácidos orgánicos como el lactato (Cashman, 2003).

Ello conlleva, al aumento de los niveles de AGV, conduciendo a una reducción del pH luminal en el intestino grueso, que a su vez causa un incremento de la cantidad de calcio soluble, principalmente en el ciego. De modo que, una mayor solubilidad del calcio, también podría generar un incremento en el transporte paracelular del mineral en la parte distal del intestino delgado y anterior del grueso (van den Heuvel *et al.* 1999). Asimismo, una mayor cantidad de AGV, intervendría también en la ruta transcelular, modificando el intercambio de  $H^+$  por  $Ca^{2+}$  luminal, favoreciendo la absorción del nutriente (Coxam, 2005).

La segunda teoría, señala que al añadir prebióticos en la alimentación animal se producen cambios morfológicos en el intestino y en el número de proteínas de transporte de calcio, conocidas como calbindinas (CaBP). Al respecto, Sakuma (2002) menciona que la ingesta de oligofruktanos disminuye la cantidad de CaBP en el intestino delgado; sin embargo, las eleva en el intestino grueso. Asimismo, Scholz-Ahrens & Schrezenmeir (2002), en su investigación describen que ciertos prebióticos estarían influyendo el transporte transcelular no saturable de calcio, modificando la síntesis intracelular del receptor de vitamina D y la CaBP. No obstante, los mismos autores también sugieren, que el mecanismo que regula la cantidad de proteínas transportadoras de calcio podría ser la síntesis aumentada de componentes bioactivos como el butirato y posiblemente ciertas poliaminas, debido a la ingesta de prebióticos.

Las sustancias prebióticas también inducirían un aumento en la proliferación de células epiteliales a causa del crecimiento de los niveles de AGCC, ocasionando cambios tróficos en el colon, resultando en una mayor área de absorción mineral (Lobo *et al.*, 2009). Esto fue evidenciado en algunos trabajos hechos en animales, en donde se observó un aumento de la profundidad de las criptas y de sus bifurcaciones, así como también, una mayor densidad de células epiteliales (Ladislav & Hannelore, 2005; Scholz-Ahrens & Schrezenmeir, 2002). De igual forma, Cashman (2003), reportó cambios morfológicos en el intestino relacionado a una mayor absorción de calcio luego del consumo de prebióticos.

La tercera teoría expone la influencia de los prebióticos en la absorción de los minerales a través de su interacción con el sistema inmune (Zea *et al.*, 2019). Al respecto, se han realizado investigaciones en animales de laboratorio, animales de compañía y de producción (Ortiz *et al.*, 2011). Los resultados que se obtuvieron a nivel intestinal, indican un aumento del número y la actividad de los macrófagos, así como un incremento de la expresión de las moléculas del complejo mayor de histocompatibilidad II (MHC II) en las células presentadoras de antígeno; sin embargo, no se observó aumento en la actividad de las células asesinas naturales (NK), en los nódulos mesentéricos, ni en las placas de Peyer, concluyendo que el sistema inmune innato del intestino puede mejorar con el consumo de fructanos y, como consecuencia, la respuesta primaria del hospedador a la infección se vería beneficiada (Field *et al.*, 1999; Quagliana *et al.*, 2003; Trushina *et al.*, 2005).

En un estudio *in vitro*, Babu *et al.* (2012) evaluaron el efecto de un fructooligosacárido enriquecido con inulina en la expresión de genes inflamatorios en macrófagos de pollos, sugiriendo que FOS-inulina tiene la capacidad de modular el sistema inmune, así como también mejorar la eliminación de *Salmonella enteritidis* y disminuir la activación de la inflamación. Por otra parte, Mireles *et al.* 2005 demostraron que la respuesta inflamatoria aguda altera la homeostasis del hueso y la respuesta humoral inmune en pollos de engorde. Por lo tanto, una modificación del microbioma mediante la inclusión de prebióticos causaría una disminución en los procesos de inflamación obteniéndose resultados positivos sobre la reabsorción y mineralización ósea (Zea *et al.*, 2019).

En esa línea, algunos investigadores sugieren que de forma directa los prebióticos podrían interaccionar con las células inmune mediante receptores de carbohidratos (Lomax & Calder, 2008). Mientras que, de forma indirecta, las sustancias prebióticas estarían regulando positivamente la microbiota intestinal ocasionando un incremento de las concentraciones de AGCC, los cuales se unirían a los receptores de las células inmunes de los tejidos linfoides del intestino. Asimismo, Sanderson (2007). menciona que el butirato puede alterar la expresión génica de las células epiteliales y esto a su vez cambiar la señalización de la célula epitelial al sistema inmunológico de la mucosa.

## 2.6.2 Efecto de la inulina en la mineralización y morfometría ósea

Los oligosacáridos no digeribles (ONDs) como la inulina, vienen siendo estudiados por su capacidad para intervenir en el metabolismo de algunos minerales como el calcio (McCabe *et al.*, 2015). Por esta razón, varios investigadores consideran a estos prebióticos como los aditivos más prometedores para mejorar la salud ósea tanto en animales como en humanos (Cashman 2003). Uno de los estudios que corroboran la eficacia de estas sustancias, fue el realizado por Coudray *et al.* (2003), quienes al alimentar a ratas de laboratorio con dietas que contenían oligofruktosa, inulina y una mezcla de ambas, obtuvieron como resultado un aumento en la fermentación, la absorción y la retención intestinal de Mg, mientras que, solo la dieta que contenía la mezcla de oligofruktosa e inulina evidenció una diferencia significativa en el aumento de la absorción de Ca, elevando un 25% su retención en el hueso.

Años más tarde, Coudray *et al.* (2005) evaluaron el efecto del tiempo de consumo de la inulina sobre la absorción de minerales, encontrando que, en un período corto de consumo el prebiótico influye tanto en dietas con alto o bajo nivel de calcio. Sin embargo, en períodos más prolongados se incrementaba significativamente la absorción de calcio en los grupos de ratas que recibieron una baja concentración dietética del mineral, llegando a la conclusión que la absorción de calcio se ve influenciado negativamente por los niveles de ingesta del mineral, y en casos de baja ingesta, la inulina resultaría por tanto importante.

Otro estudio realizado en ratas, conducido por Weaver *et al.* (2010) reportaron que la introducción de inulina, FOS y otras fibras dietéticas, produjeron buenos resultados en la densidad, grosor cortical y fuerza del hueso. También observaron que el contenido de calcio femoral y la fortaleza del hueso a la ruptura tenían una alta correlación con el peso del ciego, lo que sugeriría que este órgano tiene un rol importante en la capacidad de absorción del calcio.

No obstante, un hecho que llamo la atención en los investigadores de este estudio, fue que a pesar de conocerse la relación positiva que tiene la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) con la absorción de calcio, no necesariamente una mayor producción de AGCC, generaría una mayor absorción del mineral, puesto que, en el experimento la inulina originó una cantidad mayor de AGCC que el otro aditivo utilizado (dextrina); sin embargo, esta última tuvo una mayor concentración de calcio en el fémur.

Por otra parte, en un ensayo realizado por Ortiz *et al.* (2009) con 240 pollos de carne y diferentes niveles de inulina (0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 %), encontraron que, si bien la dieta con inulina incrementó la concentración de ceniza y calcio en el tibiotarso, no tuvo ningún efecto en el peso, largo y ancho del hueso. Asimismo, Świątkiewicz *et al.* (2010), suplementando gallinas Bovans Brown con inulina, corroboraron que la resistencia a la rotura ósea era mucho mayor. Por el contrario, Świątkiewicz *et al.* (2011) usando fructanos prebióticos para evaluar el rendimiento, los parámetros biomecánicos y geométricos de los huesos del tibiotarso y fémur en pollos de engorde, no tuvieron efectos estadísticamente significativos en dichos parámetros.

### **2.6.3 Efecto de la inulina sobre la calidad del huevo**

En la actualidad, la utilización de prebióticos es considerada una opción natural para aumentar la salud y la productividad de varios animales de granja. Diferentes ensayos han demostrado mejorar el rendimiento de aves ponedoras con la introducción de inulina. Un ejemplo de ello, es el estudio realizado por Park & Park (2012) quienes investigaron los efectos dietéticos del oligosacárido de inulina microcapsulado (INO) que se fabrica a partir de la alcachofa de Jerusalén, hallando una mejora en la producción de huevos, las Unidades Haugh, el grosor de cáscara y la resistencia a la rotura en los tratamientos que contenían (0.20, 0.25 y 0.30 %) de inulina. Además, el nivel de colesterol de los huevos de gallinas ponedoras suplementadas con INO fue menor con respecto al control.

Asimismo, Chen & Chen (2004) manifestaron que la adición de oligofruktosa e inulina promueve la salud de las aves y mejora la calidad de la cáscara del huevo. Debido a que, en su investigación, reportaron mejoras en el porcentaje de peso de la cáscara de huevo, el peso total de la cáscara de huevo y la fuerza de la cáscara de huevo en los grupos de gallinas White Leghorn de 57 semanas de edad alimentadas con dietas que contenían uno de los prebióticos.

En otra investigación, utilizando seis niveles de inulina (0.00, 0.10, 0.50, 1.00, 1.50 y 2.00%) por cuatro semanas, Shang *et al.* (2010) encontraron que la suplementación del prebiótico en gallinas de postura, reducía la concentración y contenido de colesterol del huevo, además de disminuir la cantidad de bacterias de tipo coliforme y el pH del intestino,

siendo el menor nivel de estas bacterias y pH, usando 2.0% de inulina. Por otro lado, la suplementación con un nivel de inulina al 2.0% parece no haber tenido efectos negativos sobre el porcentaje de postura, el peso del huevo, la ingesta de alimentos, y la eficiencia de conversión alimenticia, grosor de cáscara y las unidades Haugh comparadas con el grupo control.

También, Chen *et al.* (2005), quienes al evaluar la adición de inulina al 1.0 % en las dietas de gallinas ponedoras de la línea White Leghorn de 57 semanas de edad, reportaron un incremento en la producción de huevos en un 10.73%, asimismo, el peso del huevo se elevó en un 10.96% en comparación con el grupo control, sin embargo, no logró retrasarse la pérdida de la calidad del huevo a causa del paso del tiempo. El almacenamiento prolongado causó disminución en la altura del albumen y en las unidades Haugh, el prebiótico no pudo evitar la pérdida de la humedad del interior del huevo.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Lugar y duración**

El trabajo experimental y el sacrificio de los animales se llevó a cabo en las instalaciones de la Granja de Aves de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). El procesamiento de las muestras se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigación en Nutrición y Alimentación de Aves (LINAA) de la UNALM. El período experimental tuvo una duración de seis semanas más un período previo de acostumbamiento de dos semanas.

#### **3.2 Instalaciones**

Las aves se dispusieron en dos baterías móviles de cinco pisos, hechas de alambre galvanizado. Cada piso constó de cinco jaulas individuales con un comedero de metal y un bebedero automático plástico tipo copa por jaula. Cada piso, contaba también con una rejilla para la recepción de huevos y una fuente de metal para la colección de excreta. Asimismo, con el fin de proporcionar las mejores condiciones de crianza, se colocaron cortinas para evitar corrientes de aire fuertes por las noches, mientras que, durante el día, facilitaban la ventilación e iluminación natural.

#### **3.3 Materiales y equipos**

Durante el periodo de crianza, se utilizaron escobillas, escobas, detergente y trapos para la limpieza del galpón, las jaulas, los comederos, bebederos y fuentes de excreta. Se desinfectaron las jaulas antes y después del experimento, con amonio cuaternario empleando una mochila pulverizadora. Para la toma de datos se utilizaron cuadernos, bolígrafos y una laptop. Para la recolección de huevos, se usaron bandejas plásticas porta huevos transparentes.



Se trabajó con una balanza electrónica con capacidad de 1 kg para el pesado del alimento y sus residuos, conocer el peso del huevo y sus componentes (cáscara, yema, albumen). Para medir el largo y ancho del huevo, diámetro del albumen total y denso, diámetro de la yema, altura del albumen denso, altura de yema y grosor de cáscara, se hizo uso de un vernier electrónico con capacidad máxima de 15 cm y una aproximación de 0.05 mm. Para la valoración de la escala de color de yema se manejó el abanico DSM YolcFan. Para la prueba de gravedad específica del huevo se utilizaron 7 baldes de 20 litros de capacidad, además de un densímetro para la comprobación de la medida de densidad del contenido del balde.

### **3.4 Animales experimentales**

Se emplearon 64 codornices hembras pertenecientes a la subespecie *Coturnix coturnix japonica*, de 10 semanas de edad. Las aves fueron distribuidas al azar en 4 tratamientos de 16 codornices cada una. Cada tratamiento constó de 4 repeticiones con 4 codornices por cada repetición. La unidad experimental estuvo conformada por cuatro jaulas con una codorniz en cada jaula.

### **3.5 Tratamientos**

Los tratamientos a evaluar fueron los siguientes:

- Tratamiento 1 (T1): Dieta con 3.16 % de calcio y 0.0 % de inulina
- Tratamiento 2 (T2): Dieta con 3.16 % de calcio y 0.5 % de inulina
- Tratamiento 3 (T3): Dieta con 2.37 % de calcio y 0.0 % de inulina
- Tratamiento 4 (T4): Dieta con 2.37 % de calcio y 0.5% de inulina

Los niveles de inulina de 0.5% son tomados del trabajo de Shang *et al.* (2010). Los niveles bajos de calcio fueron determinados en un porcentaje menor en 25% al nivel normal de calcio como se realizó en otra investigación (Houshmand *et al.*, 2011). El producto de inulina fue Orafti®Synergy1, obtenido de la Empresa Deltagen, el cual es una combinación de un 92% de inulinas de diferente grado de polimerización (GP) de cadena largas (GP  $\geq$  10; 50%) y cortas conocidas como oligofructosas (GP 3-9; 50%) y un 8% de glucosa, fructosa y sacarosa.

### **3.6 Dietas experimentales**

Las dietas experimentales fueron formuladas de acuerdo a los requerimientos nutricionales de las Tablas Brasileñas para aves y cerdos de Rostagno (2017) para codornices en la etapa de postura usando el programa Mixit 2.0. La preparación de las dietas se realizó en la Planta de Alimentos Balanceados del Programa de Investigación y Proyección Social en Alimentos, de la Facultad de Zootecnia de la UNALM. El alimento y el agua se suministraron a libre disposición del animal. La composición y valor nutricional calculado de la dieta basal se muestra en la Tabla 1.

### **3.7 Manejo de los animales**

Durante la etapa experimental se trató de evitar el estrés en los animales, por esta razón, durante los primeros días se suministró complejo B en el agua de bebida (0.5 g/L), junto con cloro (0.1 ml/L) y vinagre (1ml/L). Posteriormente, el agua de bebida fue sanitizada con cloro y vinagre, en las proporciones mencionadas anteriormente, durante el resto de la crianza. El alimento era ofrecido durante las primeras horas de la mañana, aproximadamente 30 g/ave, según el tratamiento al que pertenecían, y el orden de suministro era de forma aleatoria conducida, es decir, a las 8 am, si se empezaba con T1R1, el siguiente debería ser distinto al T1, con el fin de no favorecer a las aves de un único tratamiento, y el agua era ofrecida ad libitum a través de bebederos automáticos tipo copa.

Los huevos eran recogidos y pesados de acuerdo a los tratamientos, y colocados en recipientes de plásticos, por último, se limpiaba el galpón y se revisaba el estercolero con la finalidad de detectar posibles sangrados, diarreas de las aves o huevos en fáfara. Al encontrar aves muertas, se realizaba la necropsia en el momento, para evitar un mal diagnóstico por la descomposición del animal.

**Tabla 1: Composición porcentual y valor nutricional de las dietas experimentales**

	Tratamientos <sup>1</sup>			
	T1	T2	T3	T4
Maíz, %	56.663	56.140	60.880	60.370
Torta de soya, %	30.710	30.750	29.920	29.959
Carbonato de calcio, %	7.290	7.290	5.220	5.210
Aceite vegetal, %	2.994	3.059	1.640	1.704
Fosfato dicálcico, %	1.091	1.091	1.084	1.084
Sal común, %	0.365	0.360	0.364	0.364
DL Metionina, %	0.358	0.358	0.353	0.353
HCL Lisina, %	0.220	0.220	0.236	0.236
Cloruro de colina 60, %	0.100	0.100	0.100	0.100
Premezcla vitaminas + minerales **	0.100	0.100	0.100	0.100
Inulina, %	0.000	0.500	0.000	0.500
L treonina, %	0.041	0.041	0.043	0.043
L triptófano, %	0.028	0.028	0.029	0.029
Antioxidante, %	0.020	0.020	0.020	0.020
Secuestrante, %	0.020	0.020	0.020	0.020

**Valor Nutricional (Calculado)**

Energía metabolizable, kcal kg <sup>-1</sup>	2800	2800	2800	2800
Proteína bruta, %	19.00	19.00	19.00	19.00
Fibra cruda, %	2.70	2.74	2.70	2.74
Calcio, %	3.16	3.16	2.37	2.37
Fósforo disponible, %	0.33	0.33	0.33	0.33
Lisina disponible, %	1.11	1.11	1.11	1.11
Metionina disponible, %	0.64	0.64	0.64	0.64
Met + Cis disponible, %	0.91	0.91	0.91	0.91
Treonina disponible, %	0.68	0.68	0.68	0.68
Triptófano disponible, %	0.23	0.23	0.23	0.23
Sodio, %	0.16	0.16	0.16	0.16

<sup>1</sup> T1: dieta basal (control), T2: dieta basal con inulina (0.5%), T3: dieta baja en calcio (2.37%) sin inulina, T4: dieta baja en calcio (2.37%) con inulina (0.5%).

\*\* Vitamina A, 12 000 000 UI; Vitamina D, 2 500 000 UI; Vitamina E, 30 000 UI; Vitamina B<sub>2</sub>, 5 500 g; Vitamina B<sub>6</sub>, 3 000; Vitamina B<sub>12</sub>, 0.015 g; Vitamina K<sub>3</sub>, 3 g; Vitamina B<sub>9</sub>, 1g; Vitamina B<sub>3</sub>, 30 g; Vitamina B<sub>5</sub>, 11 g; Vitamina B<sub>8</sub>, 0.15 g; Zinc, 45g; Hierro, 80 g; Manganeso, 65 g; Cobre, 8 g; Yodo, 1 g; Selenio, 0.15 g; excipientes 1 000 g.

<sup>2</sup> T3 y T4: Dietas con niveles bajos en calcio que no comprometen negativamente la salud del ave.

### **3.8. Mediciones de parámetros productivos**

#### **a. Porcentaje de postura**

Diariamente se registró la cantidad de huevos recogidos según el tratamiento y repetición con el fin de estimar el porcentaje de postura al final de cada semana. Este valor fue determinado según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Postura/ave/observada} = \frac{\text{N}^\circ \text{ Total de huevos puestos} \times 100}{\text{N}^\circ \text{ Total de codornices en postura}}$$

#### **b. Masa de huevos**

Se obtuvo multiplicando la cantidad de huevos producidos por tratamiento y repetición por el peso promedio del mismo.

$$\text{Masa de huevos (kg)} = \text{N}^\circ \text{ de huevos} * \text{peso promedio del huevo}$$

#### **c. Peso de huevo**

Se obtuvo dividiendo el peso total de los huevos entre el total de los huevos puestos según el tratamiento y repetición, con ello se calculó un peso promedio para cada una unidad experimental.

$$\text{Peso promedio del huevo} = \frac{\text{Masa total del huevo}}{\text{Total de huevos producidos}}$$

#### **d. Consumo de alimento**

El alimento ofrecido a las codornices fue pesado antes de suministrarlo, con el fin de llevar un control de la cantidad que se proveía a las aves a lo largo de la semana.

Al final de los 7 días, se pesaba el alimento que sobraba en los comederos, para obtener el consumo neto por unidad experimental, según tratamiento y repetición de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo de alimento semanal (g)} = \text{alimento ofrecido} - \text{alimento residual}$$

La suma total de los consumos semanales durante la etapa experimental nos arrojó el consumo acumulado.

### e. **Conversión alimentaria**

Se calculó la conversión alimenticia para cada semana y para el tiempo total del experimento (conversión alimenticia acumulada), según tratamiento y repetición.

Los valores se hallaron usando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Conversión Alimenticia semanal} = \frac{\text{Consumo acumulado semanal (Kg)}}{\text{Masa de huevos semanal (kg)}}$$

$$\text{Conversión Alimenticia acumulada} = \frac{\text{Consumo acumulado (kg)}}{\text{Masa de huevos acumulada (kg)}}$$

### f. **Mortalidad**

El porcentaje de mortalidad fue calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Mortalidad} = \frac{\text{N}^\circ \text{ Aves muertas por tratamiento} \times 100}{\text{N}^\circ \text{ inicial de aves por tratamiento}}$$

## 3.9. **Evaluación de la calidad de huevo**

### 3.9.1. **Calidad externa del huevo**

Los huevos fueron rotulados de acuerdo al número de tratamiento, repetición y unidad experimental. Se procedió a registrar en un cuaderno el peso de cada huevo de acuerdo a su código de origen, asimismo se anotó el largo y ancho del mismo, que fue medido con un vernier. Seguidamente, se prepararon los baldes con las densidades adecuadas para evaluar la gravedad específica de cada uno de los huevos, para lo cual se utilizó un densímetro. Una vez, obtenido los valores de la gravedad específica, los huevos fueron lavados y secados. Posteriormente, se separaron las cáscaras del contenido interno del huevo (albumen y yema). Las cáscaras fueron lavadas removiendo las membranas internas y retirando los residuos de albumen, inmediatamente, fueron puestas en bandejas porta huevos y se guardaron en el laboratorio durante tres días, luego de este periodo las cáscaras se encontraban secas y se procedió a realizar las mediciones con la ayuda de un vernier y una balanza.

**a. Peso de huevo**

Se midió según tratamiento y repetición, pesando el huevo directamente con una balanza.

**b. Largo de huevo**

Se midió colocando las patas externas del vernier sobre los polos del huevo, eligiendo la zona más extensa.

**c. Ancho de huevo**

Se determinó ubicando las patas externas del vernier sobre el ecuador del huevo, midiendo la zona más extensa.

**d. Grosor de cáscara**

Se determinó el espesor con ayuda de un vernier en tres puntos del ecuador del huevo. El promedio aritmético de estos valores se consideró como el espesor del cascarón.

**e. Gravedad específica**

Se introdujeron los huevos en diferentes soluciones salinas con densidades de 1.050, 1.055, 1.060, 1.065, 1.070, 1.075, 1.080, 1.085, 1.090, y 1.095, empezando con la solución más baja y terminando en la más alta. El huevo que flotaba se ubicó en la cubeta marcada con la densidad específica correspondiente. Los huevos de mejor calidad flotaron en soluciones con densidades más altas y se hundieron en soluciones menos densas, puesto que cuanto mayor grosor tenga la cáscara, mayor densidad tendrá el huevo (Álvarez, 2015).

**f. Índice de la forma del huevo**

Se calculó empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de Forma (\%)} = \frac{\text{Ancho de huevo (mm)} \times 100}{\text{Largo de huevo (mm)}}$$

**g. Área superficial del huevo**

Se calculó empleando la siguiente fórmula:

$$ASH = 3.9782 \times W^{0.75056}$$

Donde

ASH: Área superficial del huevo (cm<sup>2</sup>)

W: Peso de huevo (g).

#### **h. Peso de cáscara por unidad superficial**

Se estimó utilizando la siguiente fórmula:

$$PCUS \text{ (mg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{Peso de cáscara (mg)}}{\text{ASH (cm}^2\text{)}}$$

Donde

PCUS: Peso de cáscara por unidad superficial (mg/cm<sup>2</sup>)

ASH: Área superficial del huevo (cm<sup>2</sup>).

#### **i. Porcentaje de cáscara**

Se calculó empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de cáscara (\%)} = \frac{\text{Peso de cáscara (g)} \times 100}{\text{Peso de huevo (g)}}$$

### **3.9.2. Calidad interna del huevo**

El contenido interno del huevo fue pesado empleando una balanza de electrónica con precisión (0.01 g). Inmediatamente después, se midieron el largo y ancho del albumen (denso y acuoso) con las mordazas externas del micrómetro electrónico, mientras que, la altura del albumen denso fue medida con la varilla de profundidad del mismo instrumento.

Posteriormente se realizó la separación de la yema con el albumen, para determinar los pesos individuales de ambas sustancias. Luego de este proceso, se pudo tomar la medida de la altura de yema con la varilla de profundidad del vernier, y, por último, se realizó la evaluación del color de la yema de acuerdo a la escala de valores del abanico DSM YolkFan.

**a. Peso de albumen**

Se midió según tratamiento y repetición, pesando el albumen total (acuoso y denso), directamente con una balanza, previamente separado de la yema.

**b. Largo de albumen total**

Se determinó el valor colocando las patas externas de un vernier de lado a lado, midiendo la porción más extensa.

**c. Ancho de albumen total**

Se determinó dibujando una línea perpendicular imaginaria al largo del albumen total, midiendo la porción más extensa.

**d. Largo de albumen denso**

Se identificó la parte más espesa del albumen, seguidamente se colocaron las patas externas de un vernier sobre ella de lado a lado, midiendo la porción más extensa.

**e. Ancho de albumen denso**

Se determinó dibujando una línea perpendicular imaginaria al largo del albumen denso, midiendo la porción más extensa.

**f. Altura de albumen**

Se determinó colocando la varilla de profundidad del micrómetro sobre dos puntos del albumen, que no estuvieran muy cerca a la yema.

**g. Peso de Yema**

Para su determinación previamente se separó la yema de la clara y luego se pesó con una balanza de precisión.

**h. Largo de Yema**

Se midió colocando las mordazas del micrómetro en los extremos más distantes de la yema.



**i. Ancho de Yema**

Se calculó dibujando una línea perpendicular imaginaria a la medición del largo de yema, colocando las patas del micrómetro en los extremos más distantes de la yema.

**j. Altura de Yema**

Se determinó utilizando la varilla de profundidad del micrómetro, leyendo la medida cuando la regla del vernier tocaba la parte distal de la yema.

**k. Color de Yema**

Para evaluar el color de la yema se utilizó el colorímetro de DSM Yolk Color. La paleta se sostenía por encima de la yema, sin tocarla y situándose de forma vertical por debajo de la yema, de tal manera que las puntas de las aspas del colorímetro señalaban la yema, de esta manera se observaba el color y se comparaban a que escala pertenecía.

**l. Índice de Albumen:**

Se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Índice de albumen (\%)} = \frac{\text{HA (mm)}}{[\text{LAD (mm)} + \text{AAD (mm)}] / 2} \times 100$$

En donde:

HA: Altura de albumen (mm), LAD: Largo de albumen denso (mm) y AAD: Ancho de albumen denso (mm).

**m. Porcentaje de Albumen:**

Se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Porcentaje de albumen (\%)} = \frac{\text{Peso de albumen (g)}}{\text{Peso de huevo (g)}} \times 100$$

**n. Unidades Haugh:**

Se calculó de la siguiente manera:

$$\text{UH} = 100 \times \log (\text{H} - 1.7 \text{W}^{0.37} + 7.6)$$

En donde: UH = Unidad Haugh, H = Altura de albumen (mm) y W = Peso del huevo (g)

**o. Índice de Yema:**

Se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Índice de yema (\%)} = \frac{\text{HY (mm)}}{[\text{LY (mm)} + \text{AY (mm)}] / 2} \times 100$$

En donde: HY: Altura de yema (mm), LY: Largo de yema (mm) y AY: Ancho de yema (mm).

**p. Porcentaje de Yema:**

Se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Porcentaje de Yema (\%)} = \frac{\text{Peso de yema (g)}}{\text{Peso de huevo (g)}} \times 100$$

**q. Diámetro de Yema**

Se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Diámetro de Yema (mm)} = \frac{\text{Largo de yema} + \text{Ancho de yema}}{2}$$

**r. Relación Yema: Albumen:**

$$\text{Relación Yema: Albumen} = \frac{\text{Peso de Yema (g)}}{\text{Peso de albumen (g)}}$$

### 3.10 Diseño estadístico

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial 2 x 2. Los factores fueron dos niveles de calcio (2.37 y 3.16%) y dos niveles de inulina (0 y 0.2%), con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento. El análisis de varianza se llevó a cabo usando el programa Statistical Analysis System (SAS, 2000) y la comparación de medias se realizó utilizando la prueba de Tukey. El modelo estadístico que se empleó fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha*\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Donde:  $\mu$  = media general,  $\alpha_i$  = efecto de la i-ésimo nivel de calcio,  $\beta_j$  = efecto del j-ésimo nivel de inulina,  $(\alpha*\beta)_{ij}$  = efecto de la interacción calcio por inulina y  $\varepsilon_{ij}$  = error experimental.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Efecto de los niveles de inulina en dietas normales y bajas en calcio sobre el comportamiento productivo de codornices de postura

En la Tabla 2 se muestran los resultados del efecto de los niveles de inulina en dietas normales y bajas en calcio sobre el comportamiento productivo de codornices de postura. En los Anexos 1,2,3,4,5 y 6, se presentan los valores de los tratamientos durante las seis semanas de evaluación, de los parámetros porcentaje de postura, masa de huevo, conversión alimenticia, consumo de alimento, peso de huevo y porcentaje de mortalidad, respectivamente. Al efectuarse el análisis de varianza y la comparación de medias con la prueba de Tukey, no se encontró interacción ( $p>0.05$ ) entre los dos factores en ninguna de las variables evaluadas.

La falta de diferencia significativa entre los tratamientos puede atribuirse a que el tiempo de suministro de inulina pudo no ser el suficiente, ya que, en otras investigaciones, como el realizado por Coudray *et al.* (2005) señalan que, en ratas alimentadas con diferentes niveles de calcio e inulina, se encontraban efectos favorables para las dietas normales en calcio con inulina cuando los estudios presentaban una duración corta (17 días). No obstante, el mismo autor señala que en las mismas circunstancias de dietas con inulina y diferentes niveles de calcio, pero con un período mayor de tiempo (40 días), si existe interacción entre la inulina y el nivel de calcio, siendo favorable a las dietas bajas en calcio con inulina. Se sugiere por tanto que el efecto de las dietas bajas en calcio e inulina sobre los parámetros productivos pueden ser dependientes de la duración del estudio.

A pesar de no haberse encontrado diferencia estadística para las interacciones calcio e inulina, se puede observar que T3 (bajo en calcio sin inulina) tuvo los resultados menos favorables en los parámetros porcentaje de postura, peso de huevo, consumo y conversión

**Tabla 2: Efecto de los niveles de inulina en dietas normales y bajas en calcio sobre el comportamiento productivo de codornices de postura**

Tratamientos	Niveles de calcio (%)	Inulina (%)	Porcentaje de postura (%)	Peso promedio del huevo (g)	Consumo total de alimento (g)	Conversión alimenticia Acumulada (g)	Masa de huevo (g)	Mortalidad (%)
T1	3.16	0.0	87.80 <sup>a</sup>	11.78 <sup>a</sup>	4533.23 <sup>a</sup>	2.70 <sup>a</sup>	1679.89 <sup>a</sup>	6.25 <sup>a</sup>
T2	3.16	0.5	82.69 <sup>a</sup>	11.93 <sup>a</sup>	4182.42 <sup>a</sup>	2.65 <sup>a</sup>	1576.45 <sup>a</sup>	6.25 <sup>a</sup>
T3	2.37	0.0	81.30 <sup>a</sup>	11.53 <sup>a</sup>	4911.07 <sup>a</sup>	3.21 <sup>a</sup>	1529.23 <sup>a</sup>	6.25 <sup>a</sup>
T4	2.37	0.5	87.75 <sup>a</sup>	11.53 <sup>a</sup>	4586.89 <sup>a</sup>	2.82 <sup>a</sup>	1627.06 <sup>a</sup>	6.25 <sup>a</sup>
Efecto inulina		0.0	84.55 <sup>a</sup>	11.65 <sup>a</sup>	4722.20 <sup>a</sup>	2.96 <sup>a</sup>	1604.60 <sup>a</sup>	6.25 <sup>a</sup>
		0.5	85.22 <sup>a</sup>	11.73 <sup>a</sup>	4384.70 <sup>a</sup>	2.74 <sup>a</sup>	1601.80 <sup>a</sup>	6.25 <sup>a</sup>
Efecto calcio	3.16		85.24 <sup>a</sup>	11.85 <sup>a</sup>	4357.80 <sup>a</sup>	2.68 <sup>a</sup>	1628.20 <sup>a</sup>	6.25 <sup>a</sup>
	2.37		84.52 <sup>a</sup>	11.53 <sup>a</sup>	4749.00 <sup>b</sup>	3.02 <sup>a</sup>	1578.10 <sup>a</sup>	6.25 <sup>a</sup>
<b>Probabilidad</b>								
Efecto del nivel de inulina			0.8847	0.7535	0.0505	0.2979	0.9816	1.0000
Efecto del nivel de calcio			0.8763	0.1975	0.0270	0.1443	0.6821	1.0000
Efecto de la interacción inulina por calcio			0.2256	0.7535	0.9331	0.3076	0.4150	1.0000

<sup>1</sup> T1: dieta basal con niveles normales de calcio (3.16%) y sin inulina, T2: dieta basal con niveles normales de calcio (3.16%) y con inulina (0.5%), T3: dieta basal con niveles bajos de calcio (2.37%) y sin inulina, T4: dieta basal con niveles bajos de calcio (2.37%) y con inulina (0.5%).

<sup>2</sup> Valores son el promedio de cuatro repeticiones (cuatro aves por repetición) por tratamiento.

<sup>a,b</sup> Superíndices diferentes dentro de filas indican diferencia estadística (p<0.05)

alimenticia. Al respecto, Chipao (2014) menciona que una de las causas de baja postura es el insuficiente consumo de calcio. Por otro lado, Costa *et al.* (2010) reportaron una disminución en la producción de huevos en las aves que recibieron alimento que contenía 2.2 % de Ca con respecto a las aves alimentadas con dietas con 2,6 y 3.4 % Ca pero no obtuvo diferencias significativas. También, Torres (2019), señala que una menor ingesta de nutrientes disminuye la masa de huevos.

Por otra parte, se puede observar que entre T1, dieta con niveles normales de calcio y sin inulina y T4, dieta con niveles bajos de calcio y con inulina; existe una semejanza estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ) y que numéricamente existe una tendencia a diferenciarse de los otros dos tratamientos, aunque en estas condiciones no logró ser estadísticamente significativo. En el caso que no existiera una influencia del prebiótico sobre los parámetros, se esperaría una tendencia de valores más cercanos entre T3 y T4, al ser dietas bajas en calcio, pero esa tendencia se da entre T1 y T4. Estos resultados estarían implicando que las dietas bajas en calcio con inulina (T4) resultan similares a las dietas con niveles normales en calcio y sin inulina (T1) pero con tendencia a ser diferentes con T3 (baja en calcio y sin inulina), por lo cual, aparentemente habría un efecto benéfico de la inulina, que estaría provocando que las codornices aún en condiciones deficientes del mineral, logren mantener una producción similar a las aves que consumen dietas con niveles apropiados de calcio según las tablas de nutrición.

Por otro lado, al evaluar el efecto del calcio, independientemente del nivel de inulina utilizado, se obtuvo una influencia significativa ( $p < 0.05$ ), hallándose que en niveles de 2.37 % del mineral se produce un mayor consumo de alimento por parte de las aves. Esto, indicaría que al ofrecer dietas bajas en calcio como fue el caso de T3 y T4, las aves tienden a buscar reservas que ayuden a alcanzar sus exigencias nutricionales y puedan mantener su metabolismo y producción. Lo que concuerda con Hurtado *et al.* (2017) los cuales mencionan que las aves regulan su consumo de alimento para satisfacer los requerimientos solicitados para la máxima producción, y, además, el consumo de calcio está relacionado con el desempeño de las aves y con la formación de la cáscara.

De igual forma, De Toledo *et al.* (2007) señalan que las aves con dietas bajas en calcio, al inicio presentan un consumo mayor de alimento con el fin de tener mayores reservas para la producción. Asimismo, Buendía & Adama (2019) señalan que dietas bajas en calcio

incrementan el consumo del alimento y del agua, en comparación con los animales que tienen una dieta adecuada en calcio.

Mientras que, para el caso de los niveles de inulina, independientemente del nivel de calcio utilizado, se halló una tendencia alta a presentar diferencia estadística significativa ( $p = 0.0505$ ), teniéndose un menor consumo en las dietas con 0.5% del prebiótico. Posiblemente esto se deba a la naturaleza del prebiótico, al ser una fibra soluble entra en contacto con el agua y forma soluciones viscosas, las cuales enlentecen el vaciamiento gástrico y aumenta su distensión prolongando la sensación de saciedad, haciendo que el consumo disminuya (Escudero & Gonzáles, 2006).

Con respecto a los demás parámetros no se hallaron diferencias significativas por el efecto de la inulina. Este resultado concuerda con lo obtenido por Pérez *et al.* (2014), quienes usando tres niveles de inulina (2.0, 4.0 y 6.0 %) en el agua de bebida de gallinas ponedoras observaron una reducción en el consumo de alimento, pero no percibieron ningún cambio en el peso de huevo entre los tratamientos. Asimismo, Shang *et al.* (2010) tampoco encontraron diferencias significativas entre tratamientos evaluando seis niveles de inulina (0.00, 0.10, 0.50, 1.00, 1.50 y 2.00%) en gallinas de postura durante cuatro semanas de crianza.

Finalmente, los valores obtenidos con respecto a la performance productiva se encuentran dentro del promedio. Así, por ejemplo, Delgado (2014) menciona que la codorniz japónica tiene un consumo promedio de 25 a 30 gramos/día, una conversión alimenticia de 3.35 a 4.17, llegando alcanzar conversiones entre 4.28 a 4.35 en algunos estudios, un porcentaje de postura del 80 %, peso promedio de huevo entre los 10.53 a 11.75 gramos y una baja mortalidad.

A pesar de ello, se esperaba que la dieta T2, normal en calcio y con prebiótico, tuviera mejores resultados en relación a las demás, como lo obtuvo Shang *et al.* (2019) en gallinas ponedoras utilizando 15g/kg de inulina en la dieta, donde se obtuvo una mejora en el peso promedio del huevo en un 2.54%, la masa del huevo en un 5.76% y la tasa de puesta en un 3.09%, y una disminución en la tasa de conversión alimenticia en un 3.61% en comparación con el control.

#### **4.2. Efecto de los niveles de inulina en dietas normales y bajas en calcio sobre la calidad externa del huevo de codorniz de postura**

Los resultados de las medidas de calidad externa (peso de huevo, largo de huevo, ancho de huevo), calidad de cáscara (peso de cáscara, grosor de cáscara, gravedad específica) e indicadores (índice de la forma del huevo, área superficial del huevo, peso de cáscara por unidad superficial y porcentaje de cáscara) se presentan en la Tabla 3 y en el Anexo 7. Al efectuarse el análisis de varianza y la prueba de Tukey no se encontró efecto significativo ( $p > 0.05$ ) en la interacción entre los niveles de calcio y los niveles de inulina en las variables evaluadas.

Sin embargo, al evaluar el efecto de la inulina, independientemente del nivel de calcio utilizado, se obtuvo una mejora en el largo e índice de la forma del huevo (IFDH) con dietas con niveles de 0.5% de inulina. Los huevos que pertenecían a T2 y T4, eran ligeramente menos alargados ( $p = 0.0694$ ) y tenían valores más altos de IFDH ( $p < 0.05$ ). Esta mejora, en ambas medidas puede deberse al resultado de una mayor absorción de minerales, así como lo menciona Kocaoğlu (2011), al obtener una mejor calidad externa del huevo en codornices alimentadas con mananoligosacáridos.

Estos resultados concuerdan con los reportados por Chen & Chen (2004) quienes informaron que la suplementación de oligofruktosa o inulina al 1.0 % en la dieta aumentó significativamente el porcentaje de cáscara de huevo y la resistencia a la rotura de la cáscara de huevo.

También, Abdelqader *et al.* (2013) obtuvieron un efecto beneficioso en las dietas suplementadas con inulina (0.10%) en la calidad de la cáscara y la retención del calcio en gallinas de edad avanzada de producción. Asimismo, otros investigadores mencionan que la resistencia a la fractura es altamente dependiente del IFDH, necesiéndose una mayor fuerza para romper los huevos que tienen valores más altos del índice, es decir, existe una correlación positiva entre ambas medidas, siendo un parámetro útil en la evaluación de calidad de cáscara (Arenas, 2016).

**Tabla 3: Efecto de los niveles de inulina en dietas normales y bajas en calcio sobre la calidad externa del huevo de codorniz de postura**

Tratamientos	Niveles de calcio (%)	Inulina (%)	PH (g)	LH (mm)	AH (mm)	PEC (g)	GC (mm)	GE (u)	IFDH (%)	ASH (cm <sup>2</sup> )	PCUS (mg/cm <sup>2</sup> )	POC (%)
T1 <sup>1</sup>	3.16	0.0	11.79 <sup>a</sup>	33.03 <sup>a</sup>	25.44 <sup>a</sup>	0.92 <sup>a</sup>	0.28 <sup>a</sup>	1.075 <sup>a</sup>	77.02 <sup>a</sup>	25.35 <sup>a</sup>	36.29 <sup>a</sup>	7.80 <sup>a</sup>
T2	3.16	0.5	11.86 <sup>a</sup>	32.34 <sup>a</sup>	25.65 <sup>a</sup>	0.90 <sup>a</sup>	0.32 <sup>a</sup>	1.075 <sup>a</sup>	79.31 <sup>a</sup>	25.46 <sup>a</sup>	35.35 <sup>a</sup>	7.59 <sup>a</sup>
T3	2.37	0.0	11.43 <sup>a</sup>	32.45 <sup>a</sup>	25.27 <sup>a</sup>	0.89 <sup>a</sup>	0.28 <sup>a</sup>	1.070 <sup>a</sup>	77.87 <sup>a</sup>	24.76 <sup>a</sup>	35.95 <sup>a</sup>	7.79 <sup>a</sup>
T4	2.37	0.5	11.08 <sup>a</sup>	31.65 <sup>a</sup>	25.09 <sup>a</sup>	0.86 <sup>a</sup>	0.29 <sup>a</sup>	1.073 <sup>a</sup>	79.27 <sup>a</sup>	24.19 <sup>a</sup>	35.55 <sup>a</sup>	7.76 <sup>a</sup>
Efecto inulina	--	0.0	11.61 <sup>a</sup>	32.74 <sup>a</sup>	25.35 <sup>a</sup>	0.91 <sup>a</sup>	0.28 <sup>a</sup>	1.073 <sup>a</sup>	77.45 <sup>b</sup>	25.06 <sup>a</sup>	36.12 <sup>a</sup>	7.80 <sup>a</sup>
	--	0.5	11.47 <sup>a</sup>	32.00 <sup>a</sup>	25.37 <sup>a</sup>	0.88 <sup>a</sup>	0.30 <sup>a</sup>	1.074 <sup>a</sup>	79.29 <sup>a</sup>	24.83 <sup>a</sup>	35.45 <sup>a</sup>	7.68 <sup>a</sup>
Efecto calcio	3.16	--	11.82 <sup>a</sup>	32.68 <sup>a</sup>	25.54 <sup>a</sup>	0.91 <sup>a</sup>	0.30 <sup>a</sup>	1.075 <sup>a</sup>	78.17 <sup>a</sup>	25.40 <sup>a</sup>	35.82 <sup>a</sup>	7.70 <sup>a</sup>
	2.37	--	11.25 <sup>a</sup>	32.05 <sup>a</sup>	25.18 <sup>a</sup>	0.88 <sup>a</sup>	0.28 <sup>a</sup>	1.071 <sup>a</sup>	78.57 <sup>a</sup>	24.48 <sup>a</sup>	35.75 <sup>a</sup>	7.78 <sup>a</sup>
<b>Probabilidad</b>												
Efecto del nivel de inulina			0.6336	0.0694	0.9302	0.3671	0.2160	0.6110	0.0458	0.6237	0.6303	0.7372
Efecto del nivel de calcio			0.0612	0.1151	0.0685	0.2140	0.3891	0.1432	0.6268	0.0616	0.8851	0.8613
Efecto de la interacción inulina por calcio			0.4667	0.8723	0.3014	0.9269	0.5477	0.6110	0.5859	0.4671	0.7705	0.7172

<sup>1</sup> T1: dieta basal con niveles normales de calcio (3.16%) y sin inulina, T2: dieta basal con niveles normales de calcio (3.16%) y con inulina (0.5%), T3: dieta basal con niveles bajos de calcio (2.37%) y sin inulina, T4: dieta basal con niveles bajos de calcio (2.37%) y con inulina (0.5%).

<sup>2</sup> Valores son el promedio de cuatro repeticiones (cuatro aves por repetición) por tratamiento.

<sup>3</sup> PH: Peso de huevo; LH: largo de huevo; AH: ancho de huevo; PEC: peso de cáscara; GC: Grosor de cáscara; GE: Gravedad específica; IFDH: Índice de la forma del huevo; ASH: Área superficial del huevo; PCUS: Peso de cáscara por unidad superficial; POC: Porcentaje de cáscara.

<sup>a,b</sup> Superíndices diferentes dentro de filas indican diferencia estadística (p<0.05)



Los valores obtenidos con respecto al índice de la forma del huevo se encuentran dentro del promedio. Así, Flores (2019) menciona que los huevos de codorniz con índice de forma normal deben ser superiores al 70% mientras que, por debajo de ese valor, estaría indicando un mal manejo nutricional e higiénico, lo que conllevaría a cáscaras más débiles y con mayor riesgo a la rotura. En esa misma línea, Degollado (2018), afirma que huevos con IFDH menores a 72 % son considerados alargados o agudos, mientras que mayores a 72 se consideran normales o estándar, además se sugiere que a mayor IFDH, mayor será su resistencia a la rotura; sin embargo, dicha característica depende de la etapa reproductiva, la alimentación y las condiciones ambientales en las que se encuentra expuesta la codorniz.

Para las demás características e indicadores no hubo diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) con la adición de inulina, lo que concuerda con Yildiz *et al.* (2006) quienes no hallaron efectos positivos usando inulina (0.5%) en dietas de gallinas ponedoras, sobre la calidad de cáscara del huevo. De igual forma, Pérez *et al.* (2014), no encontraron influencia de la inulina en la cáscara del huevo, adicionando el prebiótico en el agua de bebida en gallinas ponedoras. La falta de efecto en la cáscara utilizando prebióticos en la dieta, según Kocaoğlu (2011) puede atribuirse a varios factores como diferencias en la composición química de los ingredientes de la dieta, diferencias en los niveles y contenidos principales de los prebióticos utilizados en la dieta, la adaptación y la selectividad de la microbiota y factores de estrés.

Con respecto, al efecto del calcio, no hubo efectos significativos ( $p > 0.05$ ) en las medidas de calidad externa y de cáscara del huevo. Lo que concuerda con De Souza *et al.* (2016), en donde usando cinco niveles de calcio (2.95, 3.25, 3.50, 3.85, 4.15%) en dietas de codornices de postura, no observaron diferencias significativas entre los tratamientos. Asimismo, Kadam *et al.* (2006), tampoco obtuvieron efectos positivos sobre el grosor de cáscara y peso de cáscara utilizando cuatro niveles de calcio (2.50, 2.75, 3.00 y 3.25 %), en la dieta de codornices de postura.

#### **4.3. Efecto de los niveles de inulina en dietas normales y bajas en calcio sobre la calidad interna del huevo de codorniz de postura**

Los resultados de las medidas (diámetro de albumen acuoso y denso, diámetro de yema, peso de albumen, peso de yema, altura de albumen y yema, color de yema) e indicadores de calidad interna (Unidades Haugh, índice de yema, índice de albumen, relación yema:

albumen, porcentaje de albumen, porcentaje de yema) se presentan en las Tablas 4 y 5, y en el Anexo 8. Al efectuarse el análisis de varianza y la comparación de medias con la prueba de Tukey, no se encontró interacción ( $p > 0.05$ ) entre los niveles de calcio e inulina para las variables evaluadas.

Algunas investigaciones realizadas en humanos, roedores y algunas aves, han encontrado un efecto positivo sobre la absorción de calcio al administrar prebióticos (Corzo *et al.*, 2015; Lavanda, 2011, Roberfroid, 2005 & Levrat *et al.* 1991). Sin embargo, en algunos casos esa mayor solubilidad de minerales y por ende mejor absorción de calcio al adicionar un prebiótico no logra percibirse en el animal a un nivel macro (Świątkiewicz *et al.*, 2011). Esto podría deberse de acuerdo a Shang *et al.* (2010) a diferencias en la especie, el tipo de achicoria o la fuente de inulina

Por otra parte, como efectos simples, se tuvieron menores valores en el diámetro de yema con un nivel de 2.37 % de calcio, asemejándose con lo publicado por Costa *et al.* (2010) quien al evaluar el efecto de diferentes niveles de calcio (2.2, 2.6, 3.0, 3.4 y 3.8%) en las dietas de codornices japonesas de 45 a 57 semanas de edad, encontraron un incremento en el peso de la yema usando niveles más altos del macromineral. Mientras que, para las demás características e indicadores no se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0.05$ ), lo que concuerda con trabajos como el de Ribeiro *et al.* (2016), donde no hallaron diferencias significativas sobre el peso de albumen, porcentaje de yema y porcentaje de albumen usando dos niveles de calcio (2.90 y 3.80 %) en dietas de codornices de postura de 48 semanas de edad. Tampoco, De Souza *et al.* (2016) trabajando con codornices no obtuvieron ninguna influencia sobre el porcentaje de albúmina con niveles crecientes de calcio (2.95, 3.25, 3.5, 3.85, 4.15%).

**Tabla 4: Efecto de los niveles de inulina en dietas normales y bajas en calcio sobre la calidad del huevo de codorniz de postura (diámetro de albúmen acuoso y denso, diámetro de yema, peso de albúmen, peso de yema, altura de albúmen y yema, color de yema)**

Tratamientos	Niveles de calcio (%)	Inulina (0.5%)	Peso de huevo (g)	Diámetro de albúmen acuoso (mm)	Diámetro de albúmen denso (mm)	Diámetro de yema (mm)	Peso de albúmen (g)	Peso de yema (g)	Altura de albúmen (mm)	Altura de yema (mm)	Color de yema
T1 <sup>1</sup>	3.16	0.0	11.79 <sup>a</sup>	71.31 <sup>a</sup>	41.48 <sup>a</sup>	24.93 <sup>a</sup>	6.43 <sup>a</sup>	4.00 <sup>a</sup>	4.36 <sup>a</sup>	8.55 <sup>a</sup>	4.11 <sup>a</sup>
T2	3.16	0.5	11.86 <sup>a</sup>	68.53 <sup>a</sup>	41.04 <sup>a</sup>	25.01 <sup>a</sup>	6.16 <sup>a</sup>	4.45 <sup>a</sup>	3.81 <sup>a</sup>	9.64 <sup>a</sup>	4.00 <sup>a</sup>
T3	2.37	0.0	11.43 <sup>a</sup>	65.84 <sup>a</sup>	40.92 <sup>a</sup>	23.96 <sup>a</sup>	6.24 <sup>a</sup>	3.86 <sup>a</sup>	4.08 <sup>a</sup>	9.12 <sup>a</sup>	4.44 <sup>a</sup>
T4	2.37	0.5	11.08 <sup>a</sup>	66.12 <sup>a</sup>	41.72 <sup>a</sup>	23.99 <sup>a</sup>	5.94 <sup>a</sup>	3.88 <sup>a</sup>	4.28 <sup>a</sup>	8.90 <sup>a</sup>	4.00 <sup>a</sup>
Efecto inulina		0.0	11.61 <sup>a</sup>	68.57 <sup>a</sup>	41.20 <sup>a</sup>	24.44 <sup>a</sup>	6.33 <sup>a</sup>	3.93 <sup>a</sup>	4.22 <sup>a</sup>	8.83 <sup>a</sup>	4.27 <sup>a</sup>
		0.5	11.47 <sup>a</sup>	67.32 <sup>a</sup>	41.38 <sup>a</sup>	24.50 <sup>a</sup>	6.05 <sup>a</sup>	4.16 <sup>a</sup>	4.04 <sup>a</sup>	9.27 <sup>a</sup>	4.00 <sup>a</sup>
Efecto calcio	3.16		11.82 <sup>a</sup>	69.92 <sup>a</sup>	41.26 <sup>a</sup>	24.97 <sup>a</sup>	6.29 <sup>a</sup>	4.22 <sup>a</sup>	4.08 <sup>a</sup>	9.09 <sup>a</sup>	4.05 <sup>a</sup>
	2.37		11.25 <sup>a</sup>	65.98 <sup>a</sup>	41.32 <sup>a</sup>	23.98 <sup>b</sup>	6.09 <sup>a</sup>	3.87 <sup>a</sup>	4.18 <sup>a</sup>	9.01 <sup>a</sup>	4.22 <sup>a</sup>
<b>Probabilidad</b>											
Efecto del nivel de inulina			0.6336	0.6627	0.9110	0.8881	0.4161	0.3609	0.4664	0.4261	0.2908
Efecto del nivel de calcio			0.0612	0.1841	0.9723	0.0263	0.5559	0.1818	0.6834	0.8690	0.5111
Efecto de la interacción inulina por calcio			0.4667	0.5960	0.7047	0.9526	0.9538	0.3967	0.1430	0.2381	0.5111

<sup>1</sup> T1: dieta basal con niveles normales de calcio (3.16%) y sin inulina, T2: dieta basal con niveles normales de calcio (3.16%) y con inulina (0.5%), T3: dieta basal con niveles bajos de calcio (2.37%) y sin inulina, T4: dieta basal con niveles bajos de calcio (2.37%) y con inulina (0.5%).

<sup>2</sup> Valores son el promedio de cuatro repeticiones (cuatro aves por repetición) por tratamiento.

<sup>a,b</sup> Superíndices diferentes dentro de filas indican diferencia estadística (p<0.05)

**Tabla 5: Efecto de los niveles de inulina en dietas normales y bajas en calcio sobre la calidad interna del huevo de codorniz de postura (Unidades Haugh, índice de yema, índice de albumen, relación yema: albumen, porcentaje de albumen, porcentaje de yema)**

Tratamientos	Niveles de calcio (%)	Inulina (0.5%)	Unidades Haugh (UH)	Índice de yema (%)	Índice de Albumen (%)	Relación yema: albumen	Porcentaje de albumen (%)	Porcentaje de yema (%)
T1 <sup>1</sup>	3.16	0.0	88.79 <sup>a</sup>	34.30 <sup>a</sup>	10.51 <sup>a</sup>	0.62 <sup>a</sup>	54.54 <sup>a</sup>	33.93 <sup>a</sup>
T2	3.16	0.5	85.52 <sup>a</sup>	38.54 <sup>a</sup>	9.28 <sup>a</sup>	0.72 <sup>a</sup>	51.94 <sup>a</sup>	37.52 <sup>a</sup>
T3	2.37	0.0	87.46 <sup>a</sup>	38.06 <sup>a</sup>	9.97 <sup>a</sup>	0.62 <sup>a</sup>	54.59 <sup>a</sup>	33.77 <sup>a</sup>
T4	2.37	0.5	88.88 <sup>a</sup>	37.10 <sup>a</sup>	10.26 <sup>a</sup>	0.65 <sup>a</sup>	53.61 <sup>a</sup>	35.02 <sup>a</sup>
Efecto inulina		0.0	88.13 <sup>a</sup>	36.18 <sup>a</sup>	10.24 <sup>a</sup>	0.62 <sup>a</sup>	54.57 <sup>a</sup>	33.85 <sup>a</sup>
		0.5	87.20 <sup>a</sup>	37.82 <sup>a</sup>	9.77 <sup>a</sup>	0.69 <sup>a</sup>	52.77 <sup>a</sup>	36.27 <sup>a</sup>
Efecto calcio	3.16		87.15 <sup>a</sup>	36.42 <sup>a</sup>	9.90 <sup>a</sup>	0.67 <sup>a</sup>	53.24 <sup>a</sup>	35.72 <sup>a</sup>
	2.37		88.17 <sup>a</sup>	37.58 <sup>a</sup>	10.11 <sup>a</sup>	0.64 <sup>a</sup>	54.10 <sup>a</sup>	34.39 <sup>a</sup>
<b>Probabilidad</b>								
Efecto del nivel de inulina			0.5016	0.4022	0.6191	0.4405	0.4576	0.2937
Efecto del nivel de calcio			0.4863	0.5904	0.8786	0.5205	0.6925	0.5420
Efecto de la interacción inulina por calcio			0.1400	0.2043	0.4123	0.8033	0.7590	0.5850

<sup>1</sup>T1: dieta basal con niveles normales de calcio (3.16%) y sin inulina, T2: dieta basal con niveles normales de calcio (3.16%) y con inulina (0.5%), T3: dieta basal con niveles bajos de calcio (2.37%) y sin inulina, T4: dieta basal con niveles bajos de calcio (2.37%) y con inulina (0.5%).

<sup>2</sup>Valores son el promedio de cuatro repeticiones (cuatro aves por repetición) por tratamiento.

<sup>a,b</sup> Superíndices diferentes dentro de filas indican diferencia estadística (p<0.05)

En relación, al efecto de la inulina independientemente del nivel de calcio no se halló diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) sobre las demás características e indicadores de calidad interna del huevo, lo que concuerda con Pérez *et al.* (2014), quienes no encontraron ninguna influencia en el peso de la albúmina al agregar tres niveles de inulina (2.0, 4.0 y 6.0 %) en el agua de bebida de gallinas ponedoras. Asimismo, Shang *et al.* (2010) probando diferentes niveles de inulina en gallinas de postura de 50 semanas de edad durante 4 semanas de crianza, no encontraron efectos positivos sobre las Unidades Haugh. Análogamente, Chen *et al.*, (2005) tampoco hallaron efecto del uso de inulina y oligofructosa sobre las Unidades Haugh, en diferentes temperaturas y tiempo de análisis en gallinas ponedoras de 57 semanas de edad. Estos resultados contrastan con los reportados por Park & Park (2012) al evaluar diferentes niveles de inulina (0.00, 0.20, 0.25 y 0.30 %) en gallinas Hy-Line Brown de 29 semanas de edad, quienes tuvieron una mejora significativa en las Unidades Haugh, siendo mayor con las dosis de 0.25 y 0.30%

Finalmente, al comparar los resultados de este estudio con otras investigaciones, se comprueba que las medidas de calidad interna se encuentran dentro del rango promedio aceptable en la especie lo que implica una buena calidad interna. Así, por ejemplo, los valores de las Unidades Haugh oscilaron entre 85.52 a 88.88, exhibiendo un valor de frescura muy bueno y siendo similar a lo reportado por Siadati *et al.* (2018) lo cual fue 86.82-89.92. Asimismo, la altura de albumen, índice de yema e índice de albumen en esta prueba fueron 3,81- 4.36 mm, 34.30-38.06% y 9.28-10.51%, respectivamente; hallándose valores similares en las pruebas experimentales de Kocaoğlu (2011) y Siadati *et al.* (2018).

## V. CONCLUSIONES

Bajo las condiciones del presente estudio se concluye:

1. Los parámetros productivos de dietas con niveles bajos en calcio y con inulina fueron similares a dietas con niveles normales en calcio y sin inulina.
2. El nivel de calcio bajo incrementa significativamente el consumo de alimento.
3. La inulina tuvo influencia significativa sobre el índice de forma del huevo.
4. El nivel de calcio tuvo influencia significativa sobre el diámetro de yema.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Bajo las condiciones del presente experimento se recomienda:

1. Evaluar el efecto de la inulina a diferentes niveles sobre los parámetros productivos en aves de postura durante las últimas semanas de producción.
2. Realizar un nuevo estudio que determine el efecto de la inulina sobre la calidad de huevos con diferentes tiempos de conservación.
3. Medir el efecto de la inulina en dietas bajas y normales en calcio por un mayor período de tiempo.
4. Efectuar más pruebas que ayuden a esclarecer el efecto de la inulina en la absorción del calcio, como las mediciones de morfometría ósea y morfometría intestinal.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abdelqadera A., Fataftaha A. & Das G. (2013). Effects of dietary *Bacillus subtilis* and inulin supplementation on performance, eggshell quality, intestinal morphology and microflora composition of laying hens in the late phase of production. *Animal Feed Science and Technology* 179 (2013) 103– 111. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.11.003>
- Acuña R. & Cristanto L. (2016). Análisis de la rentabilidad económica y social de la producción de huevos de codornices de la ciudad de Chiclayo. Tesis de Pregrado. Universidad Señor de Sipán. Recuperada de: [https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/2251/TESIS\\_ORIGINAL.pdf?sequence=1](https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/2251/TESIS_ORIGINAL.pdf?sequence=1)
- Aggett, P.; Agostoni, C.; Axelsson, I.; Edwards, C.; Goulet, O.; Hernell, O.; Koletzko, B.; Lafeber, H.; Jean, L.; Kim, F.; Rigo, J.; Szajewska, H. & Weaver, T. (2003). Nondigestible carbohydrates in the diets of infants and young children: a commentary by the ESPGHAN Committee on Nutrition. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 36 (3): 329-337. doi: 10.1097 / 00005176-200303000-00006
- Aker C. & Avelar J. (2009). Metabolito de vitamina D3(25-OH-D3) en la producción avícola. Proyecto especial. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Recuperada de: <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/432>
- Alfonso C., Benavides C., De los Mozos J., Dominguez N., Sanchez E., Garcia I., & Rodriguez B. (2021). Relationship between Bone Quality, Egg Production and Eggshell Quality in Laying Hens at the End of an Extended Production Cycle (105 Weeks). *Animals*, 11(3), 623. doi:10.3390/ani11030623



- Álvarez, N.F. (2015). Identificación de la calidad de cáscara de huevo fértil e incidencia en el porcentaje de nacimiento mediante la determinación de peso específico en reproductoras pesadas líneas Cobb Avian48. Tesis de Pregrado. Universidad Cooperativa de Colombia. Recuperada de <http://repository.ucc.edu.co/handle/20.500.12494/68>
- Arenas, C. Z. (2016). Caracterización de la calidad de cáscara de huevo blanco en planteles avícolas comerciales en Chile y su relación con determinados factores de producción. Tesis de Pregrado. Universidad de Chile. Recuperada de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/140676>
- Babu U.S., Sommers, K., Harrison, L.M., Balan, K.B. (2012). Effects of fructooligosaccharide-inulin on Salmonella-killing and inflammatory gene expression in chicken macrophages. *Vet Immunol Immunop.* 149:92–96. doi: 10.1016/j.vetimm.2012.05.003
- Bain, M. M., Nys, Y., & Dunn, I. C. (2016). Increasing persistency in lay and stabilising egg quality in longer laying cycles. What are the challenges?. *British poultry science*, 57(3), 330-338.
- Barclay T., Ginic-Markovic M., Cooper P. & Petrovsky N. (2010). Inulin - a versatile polysaccharide with multiple pharmaceutical and food chemical uses. *J.Excipients and Food Chem.* 1 (3): 27-50
- Baykalir, Y., & Aslan, S. (2020). Correlaciones fenotípicas entre los rasgos de calidad del huevo, el pH de la albúmina y los niveles de ovoalbúmina en cuatro variedades de codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*). *GSC Ciencias Biológicas y Farmacéuticas.* 10(3): 069-075.
- Bissoni E. (1993). Crianza de la Codorniz. Primera edición. Editorial Albatros. Buenos Aires-Argentina. 112pp
- Buendía, M.A. & Adama E. (2019). Comparación económica entre la piedra caliza y la conchilla en la dieta de pollos de engorde. *Rev. Natura, Eco.* 4(1): 53-58.

- Cashman, K. (2003). Prebiotics and calcium bioavailability. *Curr. Issues intest. Microbiol.* 4: 21-32. Recuperado de : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12691259/>
- Chávez, I.; Sánchez, D.; Galindo, J.; Ayala, M.; Duifhuis, T. & Ly, J. (2019). Efecto de oligofruktosa de agave en dietas de gallinas ponedoras en la producción de huevos. *Revista MVZ Córdoba*, 24(1): 7108-7112. doi: <https://doi.org/10.21897/rmvz.1522>
- Chen YC, Nakthong C & Chen TC. (2005) Improvement of laying hen performance by dietary prebiotic chicory oligofruktose and inulin. *Int J Poult Sci.* 2005;4(2):103–108. doi: <http://dx.doi.org/10.3923/ijps.2005.103.108>
- Chen, Y.C., & Chen, T.C. (2004). Mineral utilization in layers as influenced by dietary oligofruktose and inulin. *International Journal of Poultry Science*,3(7); 442-445 doi: 10.3923/ijps.2004.442.445
- Chipao, F. R. (2014). Efecto del fosfato dicálcico y harina de huesos sobre la producción y la calidad del huevo de codorniz de dos diferentes edades (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2382>
- Christakos S., Barletta F., Huening M., Dhawan P., Liu Y., Porta A., & Peng X. (2003). Vitamin D target proteins: function and regulation. *J Cell Biochem.* 88(2):238-44. doi: 10.1002/jcb.10349.
- Cornelio J.Y. (2020). Caracterización molecular de la digestibilidad in vitro de aislados proteicos del huevo de codorniz. Tesis de pregrado. Universidad Estatal de Bolívar).
- Correa, H. J. (1999). Ritmos circadianos en el metabolismo del calcio en aves de postura. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 52(2): 643-656. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/23869>

- Corzo, N.; Alonso, J.; Azpiroz, F.; Calvo, M.; Cirici, M.; Leis, R.; Lombó, F.; Mateos, I.; Plou, F.; Ruas, P.; Rúperez, P.; Redondo, A.; Sanz, M. & Clemente, A. (2015). Prebióticos; concepto, propiedades y efectos beneficiosos. *Revista Nutrición Hospitalaria*, 31(1) :99-118. Recuperado de <http://www.aulamedica.es/nh/pdf/8715.pdf>
- Costa, C.H., Barreto, S.L., Gomes, P.C., Maia, G.V., Lipari, C.A & Hosoda L.H. (2010). Teores de cálcio em dietas para codornas japonesas no terço final de postura (45 a 57 semanas de idade). *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec* 62(5), 1225-1231. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-09352010000500027>
- Coudray, C.; Feillet, C.; Tressol, J.; Gueux, E.; Thien, S.; Jaffrelo, L.; Mazur, A. & Rayssiguier, Y. (2005). Stimulatory effect of inulin on intestinal absorption of calcium and magnesium in rats is modulated by dietary calcium intakes short- and long-term balance studies. *European Journal of nutrition*, 44(5): 293-302. doi: 10.1007/s00394-004-0526-7
- Coudray, C.; Tressol, J.; Gueux, E. & Rayssiguier, Y. (2003). Effect of inulin-type fructans of different chain length and type of branching on intestinal absorption and balance of calcium and magnesium in rats. *European Journal of nutrition*, 42(2): 91-98. doi: 10.1007/s00394-003-0390-x
- Coxam, V. (2005). Inulin-type fructans and bone health: state of the art and perspectives in the management of osteoporosis. *British Journal of Nutrition*, 93(1). doi:10.1079/bjn20041341
- De Souza D., Lima L., De Lemos M., Da Silva C., Pascoal T., Andrade C., Andrade I. & Kimie C. (2016). Quail performance and egg quality at the end of production fed with varying levels of calcium. *Ciências Agrárias* 37(4): 2395-2406. DOI: 10.5433/1679-0359.2016v37n4Supl1p2395
- De Toledo, S.L., Pereira, C.A., Umigi, R. T., Da Rocha, T.C., De Araujo, M.S., Silva, C.S. & Torres, R. D. (2007). Determinação da exigência nutricional de cálcio de codornas japonesas na fase inicial do ciclo de produção. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 36(1). DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516->

- Degollado K. M. (2018). Efecto de la inclusión de moringa oleifera Lam. en dietas de codorniz, sobre postura, utilización de energía, proteína metabolizable y calidad de huevo. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León. Recuperada de <http://eprints.uanl.mx/15792/1/1080289859.pdf>
- Delgado, E.G. (2014). Efecto de tres niveles de harina de sangre avícola en la dieta sobre el comportamiento productivo de la codorniz (*Coturnix coturnix japonica*) en postura. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2383>
- DSM. (2014). DSM guidelines for egg yolk pigmentation with carophyll. DSM Bright science. Brighter living.
- Escudero E. & González P. (2006). La fibra dietética. Revista Nutrición Hospitalaria, 21(2): 61-72. Recuperada de [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0212-16112006000500007](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112006000500007)
- Falony G., Calmeyn T., & Frédéric, L. (2009). Coculture Fermentations of Bifidobacterium Species and Bacteroides thetaiotaomicron Reveal a Mechanistic Insight into the Prebiotic Effect of Inulin-Type Fructans. Applied and Environmental Microbiology. 75: 7-13. DOI: 10.1128/AEM.02649-08
- Field, C. J., McBurney, M. I., Massimino, S., Hayek, M. G., & Sunvold, G. D. (1999). The fermentable fiber content of the diet alters the function and composition of canine gut associated lymphoid tissue. Veterinary Immunology and Immunopathology, 72(3-4), 325–341. doi:10.1016/s0165-2427(99)00148-8
- Flores J.G. (2019). Evaluación de la calidad del huevo en codornices japonesas (*Coturnix coturnix japonica*) a diferentes días de conservación en el CIPCA. Tesis pregrado. Universidad Estatal Amazónica. Recuperado de: <http://201.159.223.17/handle/123456789/586>

- García H., Morales L., Ávila G. & Sánchez R. (2001). Mejoramiento de la calidad del cascarón con 25 hidroxicolecalciferol [25-(OH) D3] en dietas de gallinas de primero y segundo ciclos. *Vet Mex.* 32(3):167-174.
- García, P. & Velasco, G. (2007). Evolución en el conocimiento de la fibra. *Revista Nutrición Hospitalaria*, 22 (2): 20-25. Recuperado de <http://scielo.isciii.es/pdf/nh/v22s2/fisiologia3.pdf>
- García, Y.; López, G.; Bocourt, R.; Rodríguez, Z. & Savón, L. (2012). Los prebióticos en la alimentación de animales monogástricos. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 46(3):231-236. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193025294001>
- Gonzalez C. (2012). Evaluación del empleo de dos fuentes de vitamina D3 en la dieta de gallinas ponedoras comerciales durante las etapas de levante y finalizando el ciclo productivo. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/59482>
- Halls, A. (2005). Egg formation and eggshell quality in layers. *Nutrifax: Nutrition news and information update*. Shur Gain, Nutreco Canada Inc.
- Hamilton, R. M. G. (1986). The microstructure of the hen's egg shell-a short review. *Food Structure*, 5(1), 13.
- Hegab, I. M., & Hanafy, A. M. (2019). Effect of egg weight on external and internal qualities, physiological and hatching success of Japanese quail eggs (*Coturnix coturnix japonica*). *Brazilian Journal of Poultry Science*, 21.
- Hincke, M. T., Nys, Y., Gautron, J., Mann, K., Rodriguez-Navarro, A. B., & McKee, M. D. (2012). The eggshell: structure, composition and mineralization. *Front Biosci*, 17(1), 1266-1280.
- Hincke, M. T., Wellman-Labadie, O., McKee, M. D., Gautron, J., Nys, Y., & Mann, K. (2008). Biosynthesis and structural assembly of eggshell components. *Egg bioscience and biotechnology*, 97-128

- Holloway, L., Moynihan, S., Abrams, S.A., Kent, K., Hsu, A.R. & Friedlander, A. L. (2007). Effects of oligofructoseenriched inulin on intestinal absorption of calcium and magnesium and bone turnover markers in postmenopausal women. *Br. J. Nutr.* 97:365
- Houshmand, M., Azhar, K., Zulkifli, I., Bejo, MH., Meimandipour, A., & Kamyab, A. (2011). Effects of non-antibiotic feed additives on performance, tibial dyschondroplasia incidence and tibia characteristics of broilers fed low-calcium diets. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.* 95: 351–358. doi:10.1111/j.1439-0396.2010.01061.x.
- Hunton, P. (1995). Understanding the Architecture of the Egg Shell. *World's Poult. Sci. J.*, 51: 141-147.
- Hurtado, V.L., Guevara, J.F. & Forero, D.J. (2017). Níveis de cálcio para codornas em postura. *Orinoquia* 21(2): 46-50. Doi: <http://dx.doi.org/10.22579/20112629.417>.
- Inca J. S. (2016). Validación de ecuaciones de predicción de la calidad de huevo en gallinas de última fase productiva. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2816>
- Jara Zúñiga, P. A. (2005). Estudio Comparativo de la Calidad, Propiedades Biológicas y Físicas del huevo de 6 especies de Aves Domésticas (Gallinas, Codorniz, Pato, Pavo, Ganso y Paloma) y sus Alternativas de Industrialización (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Jara, W. & Canelo, D. (2010). La Conchuela en la Alimentación de las Aves. *MV Rev. de Cien. Vet.* 26(1): 3-8. Recuperado de <http://repebis.upch.edu.pe/articulos/rev.cienc.veter/v26n1/a1.pdf>
- Jibaja D. (2011). Niveles de calcio en la producción de huevos de codorniz (*Coturnix coturnix japonica*). Tesis de grado. Universidad técnica estatal de Quevedo. Recuperado de <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2201>

- Kadam M., Mandal A., Elangovan A. & Kaur S. (2006). Response of laying japanese quail to dietary calcium levels at two levels of energy. *The Journal of Poultry Science* 43: 351-356. DOI: 10.5433/1679-0359.2016v37n4Supl1p2395
- Kashimura, J.; Kimura, M. & Itokawa, Y. (1996). The Effects of Isomaltulose-Based Oligomers Feeding and Calcium Deficiency on Mineral Retention in Rats. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 42(1), 69–76. doi:10.3177/jnsv.42.69
- Ketta, M., & Tůmová, E. (2016). Eggshell structure, measurements, and quality-affecting factors in laying hens: a review. *Czech Journal of Animal Science*, 61(7), 299-309.
- Khramtsov, A.; Ryabtseva, S.; Budkevich, R.; Akhmedova, V.; Rodnaya, A.; & Marugina, E. (2018). Prebiotics as functional food ingredients: terminology, choice and comparative evaluation criteria, classification. *Voprosy pitaniia*, 87 (1): 5–17. doi: 10.24411 / 00428833-2018-10001.
- King'ori, A.M. (2011). Review of factors that influence egg fertility and hatchability in poultry. *International Journal of Poultry Science*. 10: 483-492.
- King'ori, A.M. (2012). Poultry egg external characteristics: egg weight, shape and shell colour. *Res. Journal of Poultry Science*. 5: 14-17.
- Kocaoğlu G. B. (2011). Effects of probiotic and prebiotic (mannanoligosaccharide) supplementation on performance, egg quality and hatchability in quail breeders .*Ankara Üniv Vet Fak Derg*, 58, 27-32. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/58b8/6af0ec5392af8e774a6fcfe706a46262cadb.pdf>
- Kofi J. & Eichie F. (2019). Egg quality of two layer strains as influenced by extended storage periods and storage temperatures. *Livestock Research for Rural Development* 31 (9). Recuperado de: <http://www.lrrd.org/lrrd31/9/jhagan31145.html>

- Kusuda, S., Iwasawa, A., Doi, O., Ohya, Y., & Yoshizaki, N. (2011). Diversity of the cuticle layer of avian eggshells. *The journal of poultry science*, 48, 119–124.
- Ladislav, R., & Hannelore, D. (2005). Mechanisms underlying the effects of inulin-type fructans on calcium absorption in the large intestine of rats. *Bone*, 37(5): 728–735. doi:10.1016/j.bone.2005.05.015
- Lamsal B. P. (2012). Production, health aspects and potential food uses of dairy prebiotic galactooligosaccharides. *J Sci Food Agric*.92(10): 2020-2028. doi: 10.1002/jsfa.5712
- Lara, M.; Lara, P.; Julián, M.; Pérez, A. & Benítez, I. (2017). Avances en la producción de inulina. *Revista Tecnología Química*, 37(2): 353-361. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445551175005>
- Lavanda, I.; Saad, S.; Lobo, A. & Colli, C. (2011). Prebióticos y su efecto en la biodisponibilidad del calcio. *Revista de Nutrição*, 24(2):333-344. doi: 10.1590/S1415-52732011000200014
- Lavelin, I., Meiri, N. and Pines, M. (2000). New insight in eggshell formation. *Poultry Science*, 79: 1014-1017.
- Levrat, M.-A., Rémésy, C., & Demigné, C. (1991). High Propionic Acid Fermentations and Mineral Accumulation in the Cecum of Rats Adapted to Different Levels of Inulin. *The Journal of Nutrition*, 121(11), 1730–1737. doi:10.1093/jn/121.11.1730
- Lomax, A. R., & Calder, P. C. (2008). Prebiotics, immune function, infection and inflammation: a review of the evidence. *British Journal of Nutrition*, 101(05), 633. doi:10.1017/s0007114508055608
- Lopez M. G., Mancilla M.N & Guillermo Mendoza D.G. (2003). Molecular structures of fructans from *Agave tequilana* Weber var. azul *J Agric Food Chem* 51(27):7835-40. doi: 10.1021/jf030383v.



- Manetti F. (2019). Caracterización de la calidad de la yema, la clara y la cáscara de huevo blanco en planteles avícolas comerciales en Chile. Tesis de pregrado. Universidad de Chile. Recuperada de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170640>
- McCabe, L.; Britton, R. & Parameswaran, N. (2015). Prebiotic and Probiotic Regulation of Bone Health: Role of the Intestine and its Microbiome. *Curr Osteoporos Rep.* 13(6): 363–371. doi:10.1007/s11914-015-0292-x
- Mineo, H., Hara, H., Kikuchi, H., Sakurai, H., & Tomita, F. (2001). Various Indigestible Saccharides Enhance Net Calcium Transport from the Epithelium of the Small and Large Intestine of Rats In Vitro. *The Journal of Nutrition*, 131(12), 3243–3246. doi:10.1093/jn/131.12.3243
- Mireles, A. J., Kim, S. M., & Klasing, K. C. (2005). An acute inflammatory response alters bone homeostasis, body composition, and the humoral immune response of broiler chickens. *Poultry Science*, 84(4), 553–560. doi:10.1093/ps/84.4.553
- Nys, Y. & Sauveur, B. (2004). Nutritional Value of eggs. *INRA Prod. Anim.* 17 (5): 385–393.
- Nys, Y. (2017). Laying hen nutrition: optimising hen performance and health, bone and eggshell quality. *Achieving sustainable production of eggs 2*: 47-74.
- Ohta, A.; Motohashi, K. & Sakai, M. (1998). Dietary Fructooligosaccharides Increase Calcium Absorption and Levels of Mucosal Calbindin-D9k in the Large Intestine of Gastrectomized Rats. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*. 33(10), 1062–1068. doi:10.1080/003655298750026769
- Ortiz, D.L.; Rodríguez, M.L.; Alzueta, C.; Rebolé, A., Treviño, J. (2009). Effect of inulin on growth performance, intestinal tract sizes, mineral retention and tibial bone mineralization in broiler chickens. *Brit. Poult. Sci.* 50(3):325-332.
- Ortiz, L.; Velasco, S.; Rodríguez, M.; Rebolé, A. & Alzueta, C. (2011). Los prebióticos tipo inulina en la alimentación aviar. *Revista Complutense de Ciencias*

Veterinarias, 5:103-119. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/259140370\\_Los\\_prebioticos\\_tipo\\_inulina\\_en\\_alimentacion\\_aviar\\_II\\_Efectos\\_sistemicos](https://www.researchgate.net/publication/259140370_Los_prebioticos_tipo_inulina_en_alimentacion_aviar_II_Efectos_sistemicos)

- Park, S. & Park, B. (2012). Effect of feeding inulin oligosaccharides on cecum bacteria, egg quality and egg production in laying hens. *African Journal of Biotechnology* Vol. 11(39), pp. 9516-9521. DOI: 10.5897/AJB12.525
- Parsons, A. H. (1982). Structure of the eggshell. *Poultry Science*, 61(10), 2013-2021. <https://doi.org/10.3382/ps.0612013>
- Pavlovski, Z., Škrbić, Z., Lukić, M., Vitorović, D., Lilić, S. and Petričević, V. (2012). Shell quality – everlasting problema in the today poultry science. *Biotechnology in Animal Husbandry* 28 (3), p. 392-404.
- Peng, J.B.; Brown, E. M.; & Hediger, M. A. (2003). Apical Entry Channels in Calcium-Transporting Epithelia. *Physiology*, 18(4): 158–163. doi:10.1152/nips.01440.2003
- Perez & Perez, F. (1974). *Coturnicultura, Tratado de Cría y Explotación Industrial de Codornices*. 2da. Edición Científico – Médica. Madrid. 375 p.
- Pérez, L.J., Orozco, J.R. & García, C. (2014). Quail egg yield and quality of the *Coturnix coturnix* response to the addition level of agave inulin to the drinking water. *Italian Journal of Animal Science* 13 (2): 127-129. Doi: <https://doi.org/10.4081/ijas.2014.2981>
- Quagliana, K.; Nelson, P. & Buddington, R. (2003). Dietary oligofructose and inulin modulate immune functions in mice. *Nutr. Res.* 23: 257-267. [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(02\)00516-X](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(02)00516-X)
- Quesada G. J. & Sosa H. M. (2011). Nutrición y osteoporosis. Calcio y vitamina D. *Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral*, 3(4):165-182. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3609/360933653005.pdf>

- Ribeiro, C., Barreto, S., Reis, R., Muniz, J., Viana, G., Ribeiro Junior, V. & DeGroot, A. (2016). The Effect of Calcium and Available Phosphorus Levels on Performance, Egg Quality and Bone Characteristics of Japanese Quails at End of the Egg-Production Phase. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 18(spe): 33–40. doi:10.1590/1806-9061-2015-0014
- Roa, M.M. (2015). Alimentación en granjas de coturnicultura con microorganismos eficientes, como Probiótico en Esmeraldas - 2014. Tesis de grado. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Recuperado de: <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/475>
- Roberfroid, M. B. (2005). Introducing inulin-type fructans. *British Journal of Nutrition*, 93(S1), S13. doi:10.1079/bjn20041350
- Rodas, D. (2004). Proyecto de factibilidad de cría, producción y comercialización de huevos de codorniz (*Coturnix coturnix japonica*), en la provincia de Pichincha. Tesis Pregrado. Universidad de San Francisco de Quito. Recuperada de <https://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/189>
- Romanoff, A. L., & Romanoff, A. J. (1949). *The avian egg*. Publisher: New York : John Wiley & Sons, Inc. : London: Chapman & Hall.
- Rose, M. L., & Hincke, M. T. (2009). Protein constituents of the eggshell: eggshell-specific matrix proteins. *Cellular and molecular life sciences*, 66(16), 2707-2719.
- Rostagno, H.R. (2017). *Tablas brasileñas para aves y cerdos. Composición de alimentos y requerimientos nutricionales (4ta ed.)*. Minas Gerais. Brasil: Universidad Federal de Viçosa.
- Russo De Boland, A. J. (2005). Acción de la vitamina D en intestino. *Actualizaciones en Osteología*, 1: 34-39. Recuperado de [http://osteologia.org.ar/files/pdf/rid5\\_art8.pdf](http://osteologia.org.ar/files/pdf/rid5_art8.pdf)

- Sakuma K. (2002). Molecular mechanism of the effect of fructooligosaccharides on calcium absorption. *Biosci Microflora*. 21:13-20. Recuperado de : [https://www.jstage.jst.go.jp/article/bifidus1996/21/1/21\\_1\\_13/article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/bifidus1996/21/1/21_1_13/article/-char/ja/)
- Sanderson, I. R. (2007). Dietary Modulation of GALT. *The Journal of Nutrition*, 137(11), 2557S–2562S. doi:10.1093/jn/137.11.2557s
- Scholz-Ahrens, K., Açil, Y., & Schrezenmeir, J. (2002). Effect of oligofructose or dietary calcium on repeated calcium and phosphorus balances, bone mineralization and trabecular structure in ovariectomized rats. *British Journal of Nutrition*, 88(04), 365. doi:10.1079/bjn2002661
- Shang, H.; Hu, T.; Lu, I. & Wu, H. (2010). Effects of inulin on performance, egg quality, gut microflora and serum and yolk cholesterol in laying hens. *British Poultry Science* 51 (6): 791-796. doi: 10.1080/00071668.2010.531005
- Shang, H.; Zhao, J.; Dong, X.; Guo, Y.; Zhang, H.; Cheng, J. & Zhou, H. (2019). Inulin improves the egg production performance and affects the cecum microbiota of laying hens. *International Journal of Biological Macromolecules*. 155:1599-1609. doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.11.137
- Siadati, S. A., Ebrahimnezhad, Y., Salehi Jouzani, G., & Shayegh, J. (2018). Evaluation of the probiotic potential of some native *Lactobacillus* strains on the laying performance and egg quality parameters of Japanese quails. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 8(4), 703-712.
- Starck, J. M. (2021). Morphology of the avian yolk sac. *Journal of Morphology*, 282(7), 959-972.
- Suárez G. & Quintanilla J. (2012). Niveles de calcio en la calidad del huevo de codorniz (*Coturnix coturnix japonica*) en Santo Domingo de los Tsáchilas. Tesis de pregrado. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Recuperada de <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2503>

- Swanson, K.; Grieshop, C.; Flickinger, E.; Bauer, L.; Chow, J.; Wolf, B.; Garleb, K. & Fahey, G. (2002). Fructooligosaccharides and *Lactobacillus acidophilus* modify gut microbial populations, total tract nutrient digestibilities and fecal protein catabolite concentrations in healthy adult dogs. *The Journal of nutrition*, 132(12):3721-31. doi: 10.1093/jn/132.12.3721
- Świątkiewicz, S.; Koreleski, J. & Arczewska, A. (2010). Effect of organic acids and prebiotics on bone quality in laying hens fed diets with two levels of calcium and Phosphorus. *Acta Veterinaria Brno*, 79(2): 185-193. doi: 10.2754/avb201079020185
- Świątkiewicz, S.; Koreleski, J. & Arczewska, A. (2011). Effect of inulin and oligofructose on performance and bone characteristics of broiler chickens fed diets with different levels of calcium and phosphorus. *British Poultry Science*, 52(4): 483-491. doi:10.1080/00071668.2011.602665
- Torres, N.M. (2019). Evaluación de cuatro niveles de harina de subproducto de aves en el alimento de las codornices en postura. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperada de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3970/torres-mejia-nancy-maribel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Trushina, E.N., Martynova, E.A., Nikitiuk, D.B., Mustafina, O.K. & Baigarin, E.K. (2005). The influence of dietary inulin and oligofructose on the cell-mediated and humoral immunity in rats. *Vopr. Pitan.* 74(3): 22-27. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16044837/>
- Tunsaringkarn, T., Tungjaroenchai, W., & Siriwong, W. (2013). Nutrient benefits of quail (*Coturnix coturnix japonica*) eggs. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(5), 1-8. [https://www.researchgate.net/profile/BerrinGueclue/publication/268424075\\_Effects\\_of\\_dietary\\_oil\\_sources\\_on\\_egg\\_quality\\_fatty\\_acid\\_composition\\_of\\_eggs\\_and\\_blood\\_lipids\\_in\\_laying\\_quail/links/55fd71de08ae07629e283692/Effects-of-dietary-oil-sources-on-egg-quality-fatty-acid-composition-of-](https://www.researchgate.net/profile/BerrinGueclue/publication/268424075_Effects_of_dietary_oil_sources_on_egg_quality_fatty_acid_composition_of_eggs_and_blood_lipids_in_laying_quail/links/55fd71de08ae07629e283692/Effects-of-dietary-oil-sources-on-egg-quality-fatty-acid-composition-of-)

- Valero, M. & Hawkins, F. (2007). Metabolismo, fuentes endógenas y exógenas de vitamina D. *Revista Española de Enfermedades Metabólicas Óseas*. 16(4): 63-70. doi: 10.1016/S1132-8460(07)73506-7
- Van Den Heuvel, E. G., Muys, T., van Dokkum, W., & Schaafsma, G. (1999). Oligofructose stimulates calcium absorption in adolescents. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 69(3), 544–548. doi:10.1093/ajcn/69.3.544
- Villanueva, R. I. (2017). Efecto de tres niveles de mananoligosacaridos en el comportamiento productivo de la codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica L.*) en la etapa final de postura Tesis de Pregrado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperada de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2962>
- Weaver, C. M. (2005). Inulin, oligofructose and bone health: experimental approaches and mechanisms. *British Journal of Nutrition*, 93(1). doi: 10.1079/bjn20041358
- Weaver, C.M., Martin, B.R., Story, J.A., Hutchinson, I., Sanders, L. (2010). Novel fibers increase calcium content and strength beyond efficiency of large intestine fermentation. *J. Agric Food Chem*. 58: 8952-8957. doi: 10.1021/jf904086d.
- Whisner, C., & Castillo, L. (2017). Prebiotics, Bone and Mineral Metabolism. *Calcified Tissue International*, 102(4): 443–479. doi:10.1007/s00223-017-0339-3
- Wistedt, A.; Ridderstråle, Y.; Wall, H. & Holm, L. (2019). Age-related changes in the shell gland and duodenum in relation to shell quality and bone strength in commercial laying hen hybrids. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 61(1):14. doi:10.1186/s13028-019-0449-1
- Wursch P. & Pi-Sunyer P. X. (1997). The role of viscous soluble fiber in the metabolic control of diabetes. *Diabetes Care*. 20(11): 1774-80. DOI: 10.2337/diacare.20.11.1774.

Yildiz, G., Sacakli, P. & Gungor, T. (2006) The effect of dietary Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) on performance, egg quality characteristics and egg cholesterol content in laying hens. Czech Journal of Animal Science 51: 349-354. Recuperado de <https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/52312.pdf>

Zea, O.; Huaranga, D.; Jiménez, L.; Pérez, C.; Serrano, J.; Meza, I.; Bernuy, N. & Vílchez, C. (2019). Efecto de cinco niveles de goma de tara sobre el comportamiento productivo, mineralización ósea y morfometría intestinal en pollos de carne. Revista De Investigaciones Veterinarias Del Perú, 30(2): 663-675. doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i2.16100>

## **VIII. ANEXOS**



**Anexo 1: Porcentaje de postura**

Tratamiento	Repetición	Semanas						Promedio
		1	2	3	4	5	6	
T1	1	92.86	96.43	100.00	92.86	96.43	96.43	<b>95.83</b>
	2	67.86	78.57	78.57	95.24	90.48	85.71	<b>82.74</b>
	3	75.00	82.14	85.71	82.14	75.00	85.71	<b>80.95</b>
	4	85.71	92.86	89.29	92.86	92.86	96.43	<b>91.67</b>
T2	1	92.86	96.43	92.86	92.86	92.86	92.86	<b>93.45</b>
	2	92.86	75.00	85.71	89.29	78.57	82.14	<b>83.93</b>
	3	92.86	96.43	96.43	85.71	71.43	75.00	<b>86.31</b>
	4	64.29	66.67	71.43	66.67	71.43	61.91	<b>67.06</b>
T3	1	96.43	92.86	78.57	96.43	85.71	89.29	<b>89.88</b>
	2	92.86	92.86	89.29	96.43	82.14	89.29	<b>90.48</b>
	3	75.00	82.14	89.29	90.48	76.19	66.67	<b>79.96</b>
	4	57.14	64.29	57.14	75.00	78.57	57.14	<b>64.88</b>
T4	1	78.57	89.29	96.43	85.71	96.43	92.86	<b>89.88</b>
	2	85.71	89.29	75.00	89.29	89.29	75.00	<b>83.93</b>
	3	100.00	89.29	90.48	90.48	76.19	95.24	<b>90.28</b>
	4	89.29	89.29	71.43	96.43	89.29	85.71	<b>86.91</b>

## Anexo 2: Masa de huevo

Tratamiento	Repetición	Semanas						Acumulada	Ave/d
		1	2	3	4	5	6		
T1	1	337.61	328.73	336.00	315.82	323.38	316.22	1957.76	11.65
	2	241.22	261.47	257.47	245.40	225.09	215.60	1446.26	9.97
	3	260.44	255.81	272.35	256.98	231.36	265.92	1542.86	9.18
	4	284.66	303.55	283.23	300.27	295.91	305.07	1772.69	10.55
T2	1	320.48	309.66	295.26	310.70	301.81	299.13	1837.03	10.93
	2	300.22	232.83	268.58	283.70	246.77	257.19	1589.29	9.46
	3	344.92	326.81	315.95	278.04	234.74	239.09	1739.54	10.35
	4	231.91	177.95	197.22	185.89	184.47	162.47	1139.92	8.59
T3	1	333.61	301.11	254.58	312.09	277.03	287.95	1766.38	10.51
	2	300.30	288.52	276.30	308.77	253.60	283.83	1711.32	10.19
	3	263.49	281.22	307.13	231.40	192.38	165.91	1441.53	9.75
	4	176.18	198.18	176.62	235.28	237.67	173.76	1197.69	7.13
T4	1	262.50	286.05	308.31	279.82	310.37	296.09	1743.14	10.38
	2	291.07	286.63	236.25	283.23	280.88	229.70	1607.75	9.57
	3	336.00	285.45	227.26	228.59	187.38	236.42	1501.09	10.68
	4	291.65	282.08	228.84	303.99	278.75	270.96	1656.27	9.86

### Anexo 3: Conversión alimenticia

Tratamiento	Repetición	Semanas						Acumulada	Ave/d
		1	2	3	4	5	6		
T1	1	2.27	2.44	2.31	2.46	2.48	2.45	2.40	2.40
	2	3.15	3.07	3.03	2.49	2.75	2.75	2.85	2.85
	3	2.98	3.03	2.94	2.97	3.39	2.84	3.02	3.02
	4	2.67	2.56	2.78	2.55	2.57	2.50	2.60	2.60
T2	1	2.34	2.44	2.42	2.42	2.32	2.39	2.39	2.39
	2	2.43	3.09	2.69	2.59	2.89	2.87	2.74	2.74
	3	2.03	2.15	2.24	2.55	3.09	3.01	2.45	2.45
	4	3.17	3.42	3.07	3.22	3.42	3.32	3.27	3.27
T3	1	2.52	2.79	3.28	2.69	3.03	2.91	2.85	2.85
	2	2.80	2.91	2.99	2.72	3.28	2.82	2.91	2.91
	3	3.19	2.98	2.70	2.68	3.25	3.69	3.04	3.04
	4	4.76	4.24	6.11	3.57	3.51	4.81	4.40	4.40
T4	1	3.13	2.88	2.64	2.79	2.44	2.54	2.72	2.72
	2	2.75	2.74	3.20	2.68	2.73	3.31	2.88	2.88
	3	2.50	2.94	2.77	2.74	3.34	2.62	2.80	2.80
	4	2.79	2.85	3.48	2.61	2.86	2.91	2.89	2.89

**Anexo 4: Consumo de alimento**

Tratamiento	Repetición	Semanas						Acumulado	Ave/d
		1	2	3	4	5	6		
T1	1	765.16	801.60	776.82	777.50	801.75	775.76	4698.59	27.97
	2	761.03	803.61	779.50	610.39	619.56	592.75	4166.84	28.42
	3	776.34	774.60	800.18	762.32	785.39	754.38	4653.21	27.70
	4	760.90	776.68	786.76	766.51	760.96	762.48	4614.29	27.47
T2	1	751.42	756.49	715.87	750.39	700.74	716.32	4391.23	26.14
	2	728.50	719.37	721.93	735.19	713.01	737.37	4355.37	25.92
	3	698.73	703.69	706.70	708.57	725.88	720.40	4263.97	25.38
	4	735.75	608.83	605.45	599.10	630.00	539.96	3719.09	28.06
T3	1	840.00	839.80	834.92	840.00	840.00	838.48	5033.20	29.96
	2	840.00	840.00	826.68	840.00	831.17	800.84	4978.69	29.64
	3	840.00	837.89	829.46	619.36	625.12	611.93	4363.76	29.66
	4	838.45	839.69	1080.00	840.00	834.80	835.69	5268.63	31.36
T4	1	820.99	823.18	812.79	779.85	756.98	752.13	4745.92	28.25
	2	799.08	785.44	756.75	759.73	765.86	760.01	4626.87	27.54
	3	840.00	840.00	630.00	627.17	625.60	619.38	4182.15	29.86
	4	812.94	804.53	796.40	793.60	796.57	788.56	4792.60	28.53

**Anexo 5: Peso de huevo**

Tratamiento	Repetición	Semanas						Promedio
		1	2	3	4	5	6	
T1	1	12.99	12.18	12.00	12.15	11.98	11.71	12.17
	2	12.70	11.89	11.70	12.27	11.85	11.98	12.06
	3	12.40	11.12	11.35	11.17	11.02	11.08	11.36
	4	11.86	11.68	11.33	11.55	11.38	11.30	11.52
T2	1	12.33	11.47	11.36	11.95	11.61	11.51	11.70
	2	11.55	11.09	11.19	11.35	11.22	11.18	11.26
	3	13.27	12.10	11.70	11.59	11.74	11.39	11.96
	4	12.88	12.71	13.15	13.28	12.30	12.50	12.80
T3	1	12.36	11.58	11.57	11.56	11.54	11.52	11.69
	2	11.55	11.10	11.05	11.44	11.03	11.35	11.25
	3	12.55	12.23	12.29	12.18	12.02	11.85	12.19
	4	11.01	11.01	11.04	11.20	10.80	10.86	10.99
T4	1	11.93	11.44	11.42	11.66	11.50	11.39	11.56
	2	12.13	11.47	11.25	11.33	11.24	10.94	11.39
	3	12.00	11.42	11.96	12.03	11.71	11.82	11.82
	4	11.67	11.28	11.44	11.26	11.15	11.29	11.35

**Anexo 6: Mortalidad semanal y acumulada**

Tratamiento	Repetición	Semanas						Total de Aves Muertas	Mortalidad Acumulada (%)
		1	2	3	4	5	6		
T1	1	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>6.25</b>
	2	0	0	0	1	0	0	<b>1</b>	
	3	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
	4	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
T2	1	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>6.25</b>
	2	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
	3	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
	4	0	1	0	0	0	0	<b>1</b>	
T3	1	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>6.25</b>
	2	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
	3	0	0	0	1	0	0	<b>1</b>	
	4	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
T4	1	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>6.25</b>
	2	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
	3	0	0	1	0	0	0	<b>1</b>	
	4	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	

**Anexo 7: Medidas de calidad de cáscara de huevos de codorniz**

Tratamiento	Repetición	PH	LH	AH	PEC	GC	GE	IFDH	ASH	PCUS	POC
T1	1	11.71	32.25	25.48	0.92	0.29	1.08	78.99	25.21	36.61	7.89
	2	11.84	33.00	25.67	0.92	0.28	1.07	77.78	25.42	36.31	7.80
	3	12.06	33.70	25.40	0.97	0.27	1.08	75.37	25.77	37.44	8.00
	4	11.54	33.15	25.20	0.88	0.28	1.07	76.02	24.94	35.28	7.63
T2	1	11.38	31.87	25.23	0.90	0.32	1.08	79.18	24.68	36.59	7.94
	2	10.97	31.83	24.97	0.89	0.38	1.07	78.43	24.01	36.94	8.09
	3	11.86	31.87	26.10	0.99	0.31	1.08	81.90	25.45	38.89	8.35
	4	13.23	33.80	26.30	0.82	0.25	1.07	77.81	27.64	29.49	6.16
T3	1	11.56	32.73	25.15	0.91	0.34	1.07	76.85	24.98	36.55	7.90
	2	11.23	31.68	25.33	0.87	0.28	1.07	79.95	24.43	35.74	7.78
	3	11.89	33.65	25.45	0.97	0.23	1.07	75.63	25.51	37.83	8.12
	4	11.02	31.75	25.15	0.81	0.25	1.07	79.21	24.09	33.42	7.31
T4	1	10.93	31.63	24.95	0.87	0.29	1.08	78.90	23.95	36.21	7.93
	2	10.84	31.50	24.88	0.86	0.28	1.07	78.97	23.79	36.15	7.94
	3	11.37	31.47	25.36	0.89	0.28	1.07	80.58	24.67	36.08	7.83
	4	11.19	31.99	25.17	0.83	0.30	1.07	78.67	24.37	34.18	7.44

PH: peso de huevo, LH: largo de huevo, AH: ancho de huevo, PEC: peso de cáscara, GC: grosor de cáscara, GE: gravedad específica, IFDH: índice de la forma del huevo, ASH: área superficial del huevo, PCUS: peso de cáscara por unidad superficial, POC: porcentaje de cáscara.

**Anexo 8: Medidas de calidad interna de huevos de codorniz**

Trat.	Rep.	LAT	AAT	DAT	LAD	AAD	DAD	AA	DY	PA	PY	AY	CY	UH	IY	IA	RYA	PAL	PYE	PH
T1	1	87.78	73.55	80.66	50.23	34.80	42.51	4.31	24.09	6.82	3.59	7.28	4.75	88.57	30.22	10.14	0.53	58.20	30.66	11.71
	2	81.80	59.60	70.70	43.23	37.10	40.17	4.03	24.92	7.09	3.35	7.15	3.67	86.85	28.69	10.03	0.47	59.88	28.29	11.84
	3	79.30	56.85	68.08	51.70	38.15	44.93	4.15	25.65	6.73	3.87	9.93	4.00	87.38	38.71	9.24	0.58	55.76	32.09	12.06
	4	75.50	56.05	65.78	41.50	35.10	38.30	4.95	25.05	5.06	5.17	9.85	4.00	92.16	39.32	12.92	1.02	43.85	44.80	11.54
T2	1	67.20	54.97	61.08	38.53	34.10	36.32	4.23	24.55	5.88	4.50	9.90	4.00	88.36	40.33	11.65	0.77	51.63	39.54	11.38
	2	75.07	57.23	66.15	41.30	34.10	37.70	4.18	25.15	5.46	4.21	9.10	4.33	88.40	36.18	11.09	0.77	49.80	38.38	10.97
	3	77.10	68.10	72.60	47.30	39.60	43.45	3.03	25.98	6.09	4.37	8.98	3.67	80.52	34.57	6.97	0.72	51.38	36.85	11.86
	4	78.45	70.15	74.30	49.20	44.20	46.70	3.78	24.35	7.21	4.70	10.58	4.00	84.26	43.45	8.09	0.65	54.46	35.53	13.23
T3	1	71.60	61.25	66.43	48.55	40.60	44.58	4.35	22.41	6.62	4.00	7.75	4.50	88.90	34.58	9.76	0.60	57.27	34.60	11.56
	2	74.93	62.10	68.51	44.18	37.35	40.76	3.96	23.80	5.75	4.15	10.06	4.25	86.92	42.27	9.72	0.72	51.16	36.95	11.23
	3	84.45	54.10	69.28	42.45	37.35	39.90	3.75	24.60	6.29	3.82	8.93	5.50	85.13	36.30	9.40	0.61	52.90	32.13	11.89
	4	63.50	54.80	59.15	41.45	35.40	38.43	4.28	25.03	6.30	3.48	9.73	3.50	88.92	38.87	11.14	0.55	57.17	31.58	11.02
T4	1	69.63	49.07	59.35	45.87	39.03	42.45	4.47	23.52	5.71	4.14	8.32	4.00	90.04	35.37	10.53	0.73	52.20	37.88	10.93
	2	73.13	63.43	68.28	43.05	38.58	40.81	4.19	23.85	6.00	3.38	8.34	4.00	88.56	34.97	10.27	0.56	55.32	31.18	10.84
	3	76.87	64.47	70.67	43.43	37.77	40.60	4.95	24.52	5.38	4.32	9.42	4.00	92.28	38.42	12.19	0.80	47.32	37.99	11.37
	4	73.33	59.00	66.16	47.58	38.43	43.00	3.51	24.08	6.65	3.68	9.51	4.00	84.23	39.49	8.16	0.55	59.38	32.89	11.19

LAT: Largo de albumen total, AAT: ancho de albumen total, DAT: diámetro de albumen total, LAD: largo de albumen denso, AAD: ancho de albumen denso, DAD: diámetro de albumen denso, AA: altura de albumen, DY: Diámetro de yema, PA: peso de albumen, PY: peso de yema, AY: altura de yema, CY: color de yema, UH: unidades Haugh, IY: índice de yema, IA: índice de albumen, RYA: relación yema: albumen, PAL: porcentaje de albumen, PYE: porcentaje de yema, PH: peso de huevo.



**Anexo 9: Retribución económica del alimento**

<b>TRATAMIENTOS</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
NIVEL DE CALCIO EN LA DIETA	3.16%	3.16%	2.37%	2.37%
NIVEL DE INULINA EN LA DIETA	0.00%	0.50%	0.00%	0.50%
<b>INGRESOS</b>				
Huevos producidos (Unid)	571	532	530	565
Peso de huevos producidos (kg):	6.72	6.31	6.12	6.51
Precio de huevos (s/.x kg)	S/10.00	S/10.00	S/10.00	S/10.00
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>S/67.20</b>	<b>S/63.10</b>	<b>S/61.20</b>	<b>S/65.10</b>
<b>EGRESOS</b>				
Alimento consumido (kg)	18.13	16.73	19.64	18.35
Precio de alimento (S/. x kg.)	S/2.10	S/2.25	S/2.02	S/2.17
<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>S/38.07</b>	<b>S/37.64</b>	<b>S/39.67</b>	<b>S/39.82</b>
<b>INGRESO NETO</b>	<b>S/29.13</b>	<b>S/25.46</b>	<b>S/21.53</b>	<b>S/25.28</b>
<b>Ganancia por Kg huevo</b>	<b>S/4.33</b>	<b>S/4.03</b>	<b>S/3.52</b>	<b>S/3.88</b>